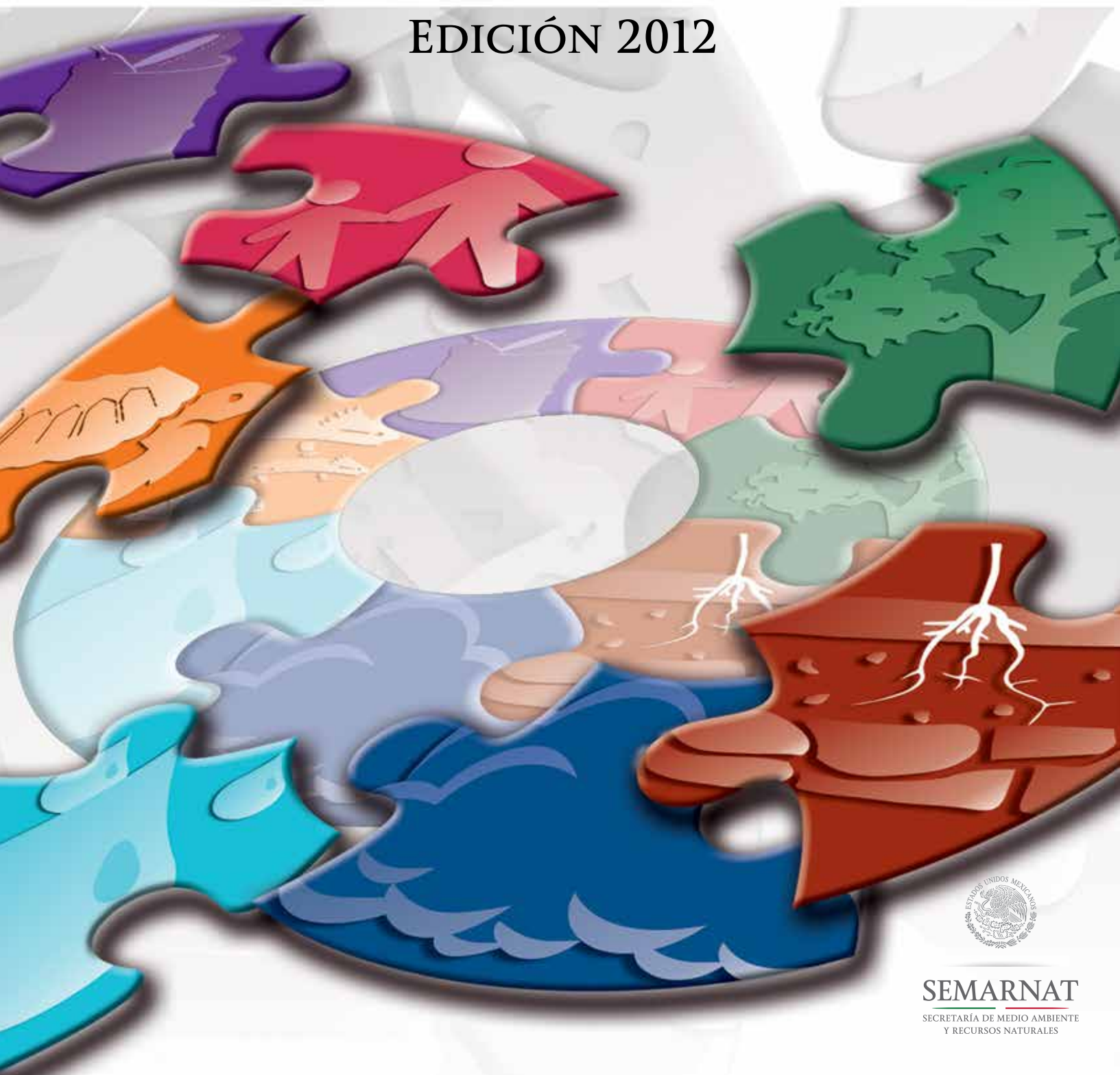


# INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES  
INDICADORES CLAVE Y DE DESEMPEÑO AMBIENTAL

EDICIÓN 2012



**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



# INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES  
INDICADORES CLAVE Y DE DESEMPEÑO AMBIENTAL

EDICIÓN 2012

INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO. COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES. INDICADORES CLAVE Y DE DESEMPEÑO AMBIENTAL. EDICIÓN 2012.

**DR © 2013, 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>

Impreso en México  
ISBN 978-607-8246-61-8

Cómo citar esta obra:  
Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.* México. 2013.

Ejemplar gratuito. Prohibida su venta.





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 e INDICADORES.** **Coordinación general:** Arturo Flores Martínez, César E. Rodríguez Ortega y Verónica E. Solares Rojas. **Integración y edición:** Ariadna Álvarez Murillo, Sergio Eric Daniel Barrios Monterde, Miguel Chipole Ibáñez, Mayra Adriana García Cerecedo, Teresa González Ruiz, Yasmin Esther Juárez Pastrana y Jorge Rodríguez Monroy. **Diseño gráfico:** Esperanza Martínez Vargas. **Desarrollo Web:** Rogelio Chávez Pérez. **COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES.** **Coordinación general:** Georgina Alcantar López. **Integración y edición:** Laura Almaguer Guevara, Fabiola Calderón García, Gabriela Carmona Huerta, Gerardo Cervantes Corte, Angélica Daza Zepeda, Adalberto Galván Flores, Francisco García Gómez, Lizzeth Guadalupe Romero de la O y José Marcelo Sánchez López.



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

<b>ABREVIATURAS</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XV</b>
<b>1. POBLACIÓN Y MEDIO AMBIENTE</b>	<b>1</b>
Población mundial	5
Población de México	7
Distribución geográfica de la población de México	10
<b>DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA</b>	<b>12</b>
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	13
Índice de Marginación (IM)	17
Pobreza	20
Población en zonas de riesgo ambiental	23
Economía y medio ambiente	24
<b>ACTIVIDADES HUMANAS Y AMBIENTE</b>	<b>29</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>35</b>
<b>2. ECOSISTEMAS TERRESTRES</b>	<b>39</b>
<b>LA VEGETACIÓN NATURAL Y EL USO DEL SUELO EN MÉXICO</b>	<b>41</b>
<b>CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO</b>	<b>51</b>
<b>PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO</b>	<b>63</b>
Deforestación	63
Alteración de bosques y selvas	66
Fragmentación	69
Degradación de matorrales	71
Otras amenazas a los ecosistemas terrestres	73
Incendios forestales	73
Plagas y enfermedades forestales	75
<b>FACTORES RELACIONADOS AL CAMBIO DE USO DEL SUELO</b>	<b>79</b>
Población	80
Crecimiento de la frontera agropecuaria	80
Urbanización	82

<b>USO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES</b>	<b>83</b>
Recursos forestales maderables	84
Existencias maderables nacionales	85
Producción forestal maderable	88
Recursos forestales no maderables	92
<b>CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS RECURSOS NATURALES</b>	<b>94</b>
Conservación de los ecosistemas terrestres y sus servicios ambientales	96
Uso sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas terrestres	98
Recuperación de los ecosistemas terrestres	101
Otros instrumentos indirectos de protección de los ecosistemas terrestres	108
Ordenamiento ecológico del territorio	108
La evaluación del impacto ambiental	112
<b>REFERENCIAS</b>	<b>116</b>
<b>3. SUELOS</b>	<b>119</b>
<b>SUELOS DE MÉXICO</b>	<b>120</b>
Agricultura y grupos de suelo	122
<b>LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO</b>	<b>122</b>
Erosión hídrica	131
Erosión eólica	133
Degradación química	135
Degradación física	137
Relación entre la degradación del suelo y la cobertura vegetal	141
<b>EL PROBLEMA DE LA DESERTIFICACIÓN</b>	<b>142</b>
Distribución de las tierras secas	144
Extensión de la desertificación	146
Conservación y recuperación de suelos	148
<b>REFERENCIAS</b>	<b>152</b>
<b>4. BIODIVERSIDAD</b>	<b>155</b>
<b>MÉXICO, UN PAÍS MEGADIVERSO</b>	<b>156</b>
<b>AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD</b>	<b>162</b>
Especies en riesgo	164



<b>PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD</b>	165
Áreas Naturales Protegidas (ANP)	172
Humedales Ramsar	184
Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma)	184
Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)	187
<b>REFERENCIAS</b>	188
<b>5. ATMÓSFERA</b>	<b>191</b>
<b>CALIDAD DEL AIRE</b>	193
Inventarios de emisiones	193
Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México	199
Normatividad y monitoreo de la calidad del aire	202
Calidad del aire en las ciudades del país	207
<b>CAMBIO CLIMÁTICO</b>	219
Emisiones antropogénicas de GEI	219
Emisiones mundiales	220
Emisiones nacionales	221
Concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera	224
Evidencias y consecuencias del cambio climático	226
Temperatura	226
Precipitación	228
Huracanes	230
Nivel del mar	230
Deshielos	233
El clima del futuro y sus consecuencias	235
Impactos futuros globales	235
Impactos futuros en México	237
Medidas para enfrentar el cambio climático	240
<b>OZONO ESTRATOSFÉRICO</b>	245
Consumo y concentración de SAO	247
Protección de la capa de ozono	249
<b>REFERENCIAS</b>	253
<b>6. AGUA</b>	<b>257</b>
<b>EL AGUA DULCE EN EL MUNDO</b>	258
Reservas de agua dulce	258
<b>DISPONIBILIDAD DEL AGUA</b>	259
Reservas regionales de agua y balance de agua nacional	259
Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua	260
Agua almacenada	263
Disponibilidad per cápita	264

Grado de presión	271
Extracción y usos consuntivos del agua	272
Volumen concesionado por uso consuntivo	272
Agua subterránea: intensidad de uso y acuíferos sobreexplotados	280
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>285</b>
Descarga de aguas residuales	285
Monitoreo de la calidad del agua	286
<b>EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN</b>	<b>293</b>
Servicios	293
Agua potable	293
Alcantarillado	297
Tratamiento de aguas residuales	299
<b>SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS</b>	<b>302</b>
Pesca	304
Estado de las pesquerías	310
Otros impactos de la pesca	311
<b>REFERENCIAS</b>	<b>313</b>
<b>7. RESIDUOS</b>	<b>317</b>
<b>RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS</b>	<b>318</b>
Generación de residuos sólidos urbanos	318
Manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos	325
Recolección	327
Reciclaje	327
Disposición final	328
<b>RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL</b>	<b>331</b>
<b>RESIDUOS PELIGROSOS</b>	<b>336</b>
Generación de residuos peligrosos	336
Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos	346
Manejo de residuos peligrosos	348
<b>GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS</b>	<b>350</b>
<b>RIESGO AMBIENTAL</b>	<b>351</b>
<b>SITIOS CONTAMINADOS</b>	<b>356</b>
Pasivos ambientales	359
<b>REFERENCIAS</b>	<b>360</b>

# ÍNDICE DE RECUADROS

## 1. POBLACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Servicios ambientales de los ecosistemas y bienestar humano	3
Migrantes por razones ambientales	26
La huella ecológica de México	32

## 2. ECOSISTEMAS TERRESTRES

La vegetación de México	44
La vegetación natural y el crecimiento carretero	59
Deforestación y emisiones de GEI	67
Ordenamientos ecológicos marinos	109

## 3. SUELOS

¿Qué es el suelo y cómo se forma?	121
Grupos principales de suelos en México	123
Los servicios ambientales del suelo	127

## 4. BIODIVERSIDAD

El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB)	161
La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza	166
Conservación de especies prioritarias: los casos de algunas especies reintroducidas	169

## 5. ATMÓSFERA

Efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la salud	204
Lluvia ácida: causas y consecuencias	214
Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad	229

## 6. AGUA

Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía	265
Huella hídrica y agua virtual	273
Escenarios futuros de disponibilidad del agua	282

## 7. RESIDUOS

Impactos de los residuos sobre la población y los ecosistemas	319
Los RSU en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011	326
Origen de los residuos de manejo especial	332
Los residuos de aparatos electrodomésticos (RAE)	334
La problemática de las pilas	335
Las sustancias químicas en números	337
Regulación ambiental para los residuos en el país	352

# ABREVIATURAS

<b>AAR</b>	Actividad Altamente Riesgosa	<b>CIAT</b>	Comisión Interamericana del Atún Tropical
<b>AIDCP</b>	Agreement on the International Dolphin Conservation Program (Acuerdo sobre el Programa Internacional de Conservación de Delfines)	<b>CITES</b>	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)
<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico	<b>CIVS</b>	Centros de Conservación e Investigación de la Vida Silvestre
<b>ANP</b>	Áreas Naturales Protegidas	<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
<b>APF</b>	Administración Pública Federal	<b>CNA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>APFyF</b>	Áreas de protección de flora y fauna	<b>CNC</b>	Confederación Nacional Campesina
<b>APRN</b>	Áreas de protección de los recursos naturales	<b>CNPR</b>	Confederación Nacional de Propietarios Rurales
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo	<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>CBD</b>	Convention on Biological Diversity (Convenio sobre la Diversidad Biológica)	<b>CO<sub>2</sub></b>	Bióxido de carbono
<b>CCDS</b>	Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable	<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Bióxido de carbono equivalente
<b>CDI</b>	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de México	<b>Conabio</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CDIAC</b>	Carbon Dioxide Information Analysis Center (Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono)	<b>Conafor</b>	Comisión Nacional Forestal
<b>CDS</b>	Comisión para el Desarrollo Sustentable	<b>Conagua</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>Cemda</b>	Centro Mexicano de Derecho Ambiental	<b>Conanp</b>	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
<b>Cenapred</b>	Centro Nacional de Prevención de Desastres	<b>Conapesca</b>	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina	<b>Conapo</b>	Consejo Nacional de Población
<b>CESPEDES</b>	Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable	<b>Conaza</b>	Comisión Nacional de Zonas Áridas
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos	<b>Coneval</b>	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad	<b>COP</b>	Conferencia de las Partes
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano	<b>COT</b>	Compuestos orgánicos totales
		<b>Cotecoca</b>	Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero
		<b>Coussa</b>	Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua
		<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles
		<b>CP</b>	Colegio de Posgraduados
		<b>CRETIB</b>	Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso
		<b>CTADA</b>	Costos totales por agotamiento y degradación ambiental

<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno	<b>IM</b>	Índice de Marginación
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno a cinco días	<b>Imeca</b>	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
<b>DET</b>	Dispositivos excluidores de tortugas	<b>IMTA</b>	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<b>DGGIMAR</b>	Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas	<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología
<b>DGVS</b>	Dirección General de Vida Silvestre	<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación	<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones y Gases de Efecto Invernadero
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno	<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>EA</b>	Emergencias ambientales	<b>INEM</b>	Inventario Nacional de Emisiones de México
<b>EEA</b>	European Environment Agency's (Agencia Europea de Medio Ambiente)	<b>INFyS</b>	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
<b>EIA</b>	Evaluación de Impacto Ambiental	<b>IPA</b>	International Permafrost Association (Asociación Internacional del Permafrost)
<b>EMA</b>	Estaciones de monitoreo automático	<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
<b>ENACC</b>	Estrategia Nacional de Cambio Climático	<b>ITESM</b>	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
<b>ENOS</b>	El Niño-Oscilación del Sur	<b>IUCN</b>	International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)	<b>IUSS</b>	International Union of Soil Sciences (Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo)
<b>ERA</b>	Estudio de Riesgo Ambiental	<b>LAU</b>	Licencia Ambiental Única
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)	<b>LGDS</b>	Ley General de Desarrollo Social
<b>FRA</b>	Forest Resources Assessment	<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
<b>GDF</b>	Gobierno del Distrito Federal	<b>LGPGIR</b>	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero	<b>LMD</b>	Límite de mortalidad incidental de delfines
<b>GEM</b>	Gobierno del Estado de México	<b>MAB</b>	Man and the Biosphere Programme (Programa El Hombre y la Biosfera)
<b>GEO</b>	Global Environment Outlook (Perspectivas del Medio Ambiente Mundial)	<b>mae</b>	Metros de Agua Equivalente
<b>Gg</b>	Gigagramos		
<b>GPRH</b>	Grado de presión sobre los recursos hídricos		
<b>Gt</b>	Gigatoneladas		
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Ácido sulfhídrico		
<b>HC</b>	Hidrocarburos		
<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbonos		
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbonos		
<b>IDH</b>	Índice de Desarrollo Humano		
<b>IDH PI</b>	Índice de Desarrollo Humano de los Pueblos Indígenas		
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)		

<b>MBR</b>	Bromuro de metilo	<b>PACE</b>	Programas de Acción para la Conservación de Especies
<b>MCF</b>	Metilcloroformo	<b>PAO</b>	Potencial de agotamiento del ozono
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desarrollo Limpio	<b>Pb</b>	Plomo
<b>MEA</b>	Millennium Ecosystem Assessment (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio)	<b>PDSI</b>	Índice de Severidad de Sequías Palmer (Palmer Drought Severity Index)
<b>MN</b>	Monumentos Naturales	<b>PECC</b>	Programa Especial de Cambio Climático
<b>MtCO<sub>2</sub>e</b>	Metric Tonne Carbon Dioxide Equivalent (Tonelada métrica equivalente a Dióxido de Carbono)	<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso	<b>PFC</b>	Perfluorocarbonos
<b>NAMO</b>	Nivel de aguas máximas ordinarias	<b>PFNM</b>	Productos forestales no maderables
<b>NAS</b>	National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias)	<b>PGR</b>	Procuraduría General de la República
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration (Aeronáutica Nacional y Administración Espacial)	<b>PGRP</b>	Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco	<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amonio	<b>Piasre</b>	Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente
<b>NO<sub>2</sub></b>	Bióxido de nitrógeno	<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional del Océano y la Atmósfera)	<b>PIMVS</b>	Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno	<b>PM<sub>10</sub></b>	Partículas menores a 10 micrómetros
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Partículas menores a 2.5 micrómetros
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos	<b>PINE</b>	Producto Interno Neto Ecológico
<b>ODM</b>	Objetivos de Desarrollo del Milenio	<b>PN</b>	Parques Nacionales
<b>OECD</b>	Organization for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)	<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>OEMGC</b>	Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California	<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>OET</b>	Ordenamiento Ecológico del Territorio	<b>POEGT</b>	Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio
<b>OIM</b>	Organización Internacional para las Migraciones	<b>PPA</b>	Programas para la Prevención de Accidentes
<b>OMC</b>	Organización Mundial de Comercio	<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial	<b>ppmm</b>	Partes por mil millones
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud	<b>PREP</b>	Programas de Recuperación de Especies Prioritarias
<b>ONG</b>	Organización no gubernamental	<b>Procer</b>	Programa de Conservación de Especies en Riesgo
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas	<b>Procoref</b>	Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales

<b>Procymaf</b>	Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales	<b>RPM</b>	Regiones Prioritarias Marinas
<b>Prodefor</b>	Programa de Desarrollo Forestal	<b>RSM</b>	Residuos Sólidos Municipales
<b>Prodeplan</b>	Programa de Plantaciones Forestales Comerciales	<b>RSU</b>	Residuos Sólidos Urbanos
<b>Profepa</b>	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente	<b>S</b>	Santuarios
<b>Pronare</b>	Programa Nacional de Reforestación	<b>Sagarpa</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>PSA</b>	Pago por Servicios Ambientales	<b>SAO</b>	Sustancias Agotadoras del Ozono
<b>PSA-CABSA</b>	Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales	<b>SARH</b>	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
<b>PSAH</b>	Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos	<b>SCBD</b>	Secretariat of the Convention on Biological Diversity (Secretariado de la Convención sobre Diversidad Biológica)
<b>PST</b>	Partículas Suspendidas Totales	<b>SE</b>	Secretaría de Economía
<b>PyRE</b>	Parques y Reservas Estatales	<b>Sectur</b>	Secretaría de Turismo
<b>RB</b>	Reservas de la Biosfera	<b>Sedeso</b>	Secretaría de Desarrollo Social
<b>RCE</b>	Reducciones Certificadas de Emisiones	<b>Sedesol</b>	Secretaría de Desarrollo Social
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y la Degradación de los Bosques	<b>SEGOB</b>	Secretaría de Gobernación
<b>REDDA</b>	Red de Depósito Atmosférico	<b>Semar</b>	Secretaría de Marina
<b>REIA</b>	Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental	<b>Semarnap</b>	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
<b>REPDA</b>	Registro Público de Derechos de Agua	<b>Semarnat</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>RETC</b>	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes	<b>SEP</b>	Secretaría de Educación Pública
<b>RHA</b>	Regiones Hidrológico-Administrativas	<b>SF<sub>6</sub></b>	Hexafluoruro de azufre
<b>RHP</b>	Regiones Hidrológicas Prioritarias	<b>SIEIM</b>	Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México
<b>RIOD-Mex</b>	Red Mexicana de Esfuerzos Contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales	<b>Simat</b>	Sistema de Monitoreo Atmosférico
<b>RME</b>	Residuos de Manejo Especial	<b>SINADES</b>	Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de Recursos Naturales
<b>RNM</b>	Red Nacional de Monitoreo	<b>SINEA</b>	Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México
<b>RP</b>	Residuos Peligrosos	<b>SIOVM</b>	Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados
<b>RP- BI</b>	Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos	<b>Sisco</b>	Sistema Informático de Sitios Contaminados
		<b>SISSAO</b>	Sistema de Información y Monitoreo de Importaciones, Exportaciones y Producción de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono

<b>SMAGDF</b>	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal	<b>UNESCO</b>	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
<b>SNIB</b>	Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad	<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)
<b>SO<sub>2</sub></b>	Bióxido de azufre	<b>UNFPA</b>	United Nations Population Fund (Fondo de Población de las Naciones Unidas)
<b>SO<sub>x</sub></b>	Óxidos de azufre	<b>UNICEF</b>	United Nations Children's Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
<b>SRA</b>	Secretaría de la Reforma Agraria	<b>USCUSS</b>	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
<b>SS</b>	Secretaría de Salud	<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>SSA</b>	Secretaría de Salud	<b>WBCSD</b>	World Business Council for Sustainable Development (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable)
<b>SSSA</b>	Soil Science Society of America (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo)	<b>WGMS</b>	World Glacier Monitoring Service (Servicio de Monitoreo Global de los Glaciares)
<b>SST</b>	Sólidos Suspendidos Totales	<b>WHO</b>	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)
<b>Suma</b>	Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre	<b>Wm<sup>-2</sup></b>	Watt por metro cuadrado
<b>tCO<sub>2</sub></b>	Tonnes of CO <sub>2</sub> (Toneladas de Dióxido de Carbono)	<b>WMO</b>	World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial)
<b>tCO<sub>2</sub>e</b>	Tonnes of CO <sub>2</sub> equivalent (Toneladas Equivalentes de Dióxido de Carbono)	<b>WRI</b>	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)
<b>TET</b>	Tetracloruro de carbono	<b>WWF</b>	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)
<b>UAAAN</b>	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	<b>ZMG</b>	Zona Metropolitana de Guadalajara
<b>UACH</b>	Universidad Autónoma Chapingo	<b>ZMM</b>	Zona Metropolitana de Monterrey
<b>UBA</b>	ultra bajo azufre	<b>ZMVM</b>	Zona Metropolitana del Valle de México
<b>UD</b>	Unidades Dobson	<b>ZMVT</b>	Zona Metropolitana del Valle de Toluca
<b>Uma</b>	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre	<b>ZPE</b>	Zonas de Preservación Ecológica de los Centros de Población
<b>UN</b>	United Nations (Naciones Unidas)		
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México		
<b>UNCCD</b>	United Nations Convention to Combat Desertification (Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía)		
<b>UNDP</b>	United Nations Development Program (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)		
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Program (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)		



# INTRODUCCIÓN

En los últimos decenios la agenda ambiental se ha convertido, junto con la económica y social, en una de las más importantes para los gobiernos de los países de todo el mundo. Esto como resultado del interés y reclamo de la sociedad para atender los cada vez más sensibles problemas ambientales derivados del crecimiento de las sociedades modernas. Las enfermedades asociadas a la contaminación del aire, agua y suelos, la mayor severidad de los fenómenos meteorológicos y el agotamiento de muchos recursos naturales contribuyeron, sin duda, a marcar la necesidad de considerar el componente ambiental en las políticas de desarrollo.

En México, la necesidad de atender los problemas ambientales confrontó al gobierno con la preocupante realidad de la insuficiencia de conocimiento e información que le permitiera evaluar objetivamente la situación del ambiente y los recursos naturales, así como de 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.

El Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) ha sido una de las acciones que ha desarrollado la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) para contar con información que respalde la toma de decisiones. Este Sistema 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.

La edición 2012 del Informe de la Situación del Medio Ambiente en México constituye una obra integral del SNIARN: recopila, integra y analiza una gran cantidad de información estadística y geográfica de sus bases de datos; 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 (que incluye los temas de calidad del aire, cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono), agua y residuos.

En el primer capítulo, se analizan las tendencias demográficas y las características socioeconómicas de la población nacional ubicándola en un contexto global; incluye también un análisis de la relación existente entre la población, la economía y el ambiente que permite examinar la estrecha relación que existe entre estos tres componentes. 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 muestran los resultados de las evaluaciones nacionales existentes sobre los principales procesos que los degradan y se examinan algunos de los factores causales. Como parte final del capítulo, se expone el tema de la desertificación 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. Además se abordan dos temas de carácter global: el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico; para ambos se hace una descripción de las causas, consecuencias y medidas tomadas para enfrentar estos problemas ambientales globales.

En el capítulo seis se aborda con detalle la situación hídrica del país, 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 se ha incluido también la perspectiva ambiental del recurso, es decir, la importancia de los ecosistemas acuáticos

marinos y continentales para garantizar el aprovisionamiento de los bienes y servicios ambientales que producen, principalmente el relacionado con la pesca.

Finalmente, en el capítulo siete se aborda la problemática de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y los 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 incluye, hasta donde ha sido posible, una visión retrospectiva con la finalidad de ubicar al lector en un contexto temporal más amplio. En los casos que se consideró relevante, también se incluyó información 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 respecto a un tema dado. Estos recuadros pueden leerse de manera independiente al texto principal, sin afectar su continuidad, ya que están elaborados para ser revisados 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, 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 de la página Web de la Secretaría en la dirección electrónica: [www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx).

Detrás de todo este esfuerzo de compilación e integración de la información ambiental disponible, se encuentra el interés de que esta obra sea útil tanto para que las autoridades como la sociedad en general, tengan una visión integrada de la situación ambiental en México.

Estamos seguros de que en la medida en que la sociedad y los tomadores de decisiones cuenten con más y mejor información, podrán implementar medidas que contribuyan no solo a detener y revertir 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 en beneficio del medio ambiente en México.





POBLACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

# POBLACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Desde sus orígenes, la humanidad ha mantenido una estrecha relación con la naturaleza. De ella ha obtenido, a lo largo de su historia, alimentos, combustibles, medicamentos y materiales diversos, además de materias primas para la fabricación de vestido, vivienda u otro tipo de infraestructura, entre muchos otros productos. Sin embargo, a pesar del valor que tiene para la sociedad el capital natural, la visión utilitaria del entorno ha ocasionado que bosques, selvas y otros ecosistemas naturales hayan sido transformados intensamente a tierras ganaderas, agrícolas y zonas urbanas; que las aguas de ríos, lagos y mares se encuentren contaminadas y sus recursos pesqueros sobreexplotados; que enormes cantidades de desechos sólidos o líquidos se depositen directamente en el suelo o el agua y que por la quema de combustibles fósiles se emitan grandes cantidades de gases a la atmósfera. Todo ello ha provocado, además de la degradación ambiental, afectaciones importantes a la población humana.

Los beneficios que obtenemos gratuitamente de la naturaleza se conocen como servicios ambientales (ver Recuadro *Servicios ambientales de los ecosistemas y bienestar humano*). Estos servicios no son siempre locales en el sentido de que los ecosistemas que los posibilitan no se encuentran en el mismo sitio de donde se obtiene el beneficio: por ejemplo, las aguas de las cuales se abastecen algunos centros humanos (ya sea acuíferos, ríos o lagos) pueden tener su origen en las infiltraciones que ocurren en bosques bien conservados a muchos kilómetros de distancia. Es frecuente que en sitios con alto capital natural, el bienestar de la población sea bajo con respecto a ingreso, educación y salud, lo que aumenta la presión para sobreexplotar o degradar los ecosistemas y sus servicios ambientales con el fin de satisfacer las necesidades inmediatas de la población. La estrecha relación que existe entre los servicios ambientales, el desarrollo, la cultura y la marginación es tan importante que la protección y el uso sustentable de los ecosistemas naturales rebasa el ámbito estrictamente ambiental, lo que ha hecho que ya se le incluya dentro de las agendas social, económica y de salud de los diferentes gobiernos del mundo.

En este contexto, la intención de este capítulo, más que hacer una revisión profunda de la estructura y dinámica de la población en México y el mundo<sup>1</sup>, es describir algunas de las características más

<sup>1</sup> La información sobre la población mundial puede consultarse en la página del Fondo de Población de las Naciones Unidas ([www.unfpa.org](http://www.unfpa.org)), y sobre México en la página del Conapo ([www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx)) e INEGI ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.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 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 obtiene la población humana de los ecosistemas y se agrupan en cuatro categorías: soporte, regulación, provisión y culturales.

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

a) **Formación de suelo:** muchos servicios de provisión dependen de su tasa de formación y fertilidad.

b) **Fotosíntesis:** produce tanto el oxígeno necesario para el sostenimiento de la vida aerobia en el planeta como la producción primaria base de las redes tróficas.

c) **Ciclos de nutrientes:** son los movimientos de los nutrientes entre los reservorios biológico, geológico y químico.

d) **Ciclo del agua:** se refiere al movimiento del agua en el planeta 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 (p. e., oxígeno y metano) y extraen compuestos de la atmósfera (p. e., 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 capturan 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 compuestos químicos a través de procesos que se realizan en el suelo.

f) **Regulación de enfermedades:** los cambios en los ecosistemas pueden regular la abundancia y distribución de

patógenos que afectan a los humanos (p. e., 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 en 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 se obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, 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. Así mismo, son el objeto de estudio que incrementa el conocimiento científico.

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: la producción



de biomasa, por ejemplo, se relaciona directamente con la fotosíntesis, los ciclos de nutrientes y 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 humano<sup>1</sup>, introduciendo, además, profundas desigualdades ecológico-distributivas entre las distintas regiones del planeta.

#### Referencias:

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.

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

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

<sup>1</sup> 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.

importantes que tienen relación directa con el ambiente tanto a nivel nacional como global. La población humana es el agente de presión más importante sobre los ecosistemas, pero también es el elemento capaz de implementar las posibles soluciones al deterioro y las acciones de conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales.

## POBLACIÓN MUNDIAL

El crecimiento acelerado de la población mundial es un fenómeno relativamente reciente. Según algunas estimaciones, desde

el inicio de nuestra Era y hasta el año 1000, la población no había rebasado los 300 millones de personas, pero sólo 500 años más tarde, el número de habitantes ya había crecido, según diversas estimaciones, a entre 424 y 484 millones. En 1750, esta cantidad ya se había incrementado en poco más de 200 millones llegando a cerca de 700 millones de personas. Para inicios del siglo XX esta población se había incrementado poco más de dos veces llegando a 1 550 millones de habitantes (Caldwell y Schindlmayr, 2002). Sin embargo, el crecimiento más acelerado comenzó en 1950, impulsado principalmente por el aumento de la natalidad y la disminución

de la mortalidad (a causa de un mayor uso de vacunas, antibióticos e insecticidas) en las regiones menos desarrolladas del mundo. Esta tendencia de crecimiento se mantuvo y para finales del siglo XX ya se habían rebasado los seis mil millones de habitantes y al finalizar el año 2011 el planeta albergaba siete mil millones de personas.

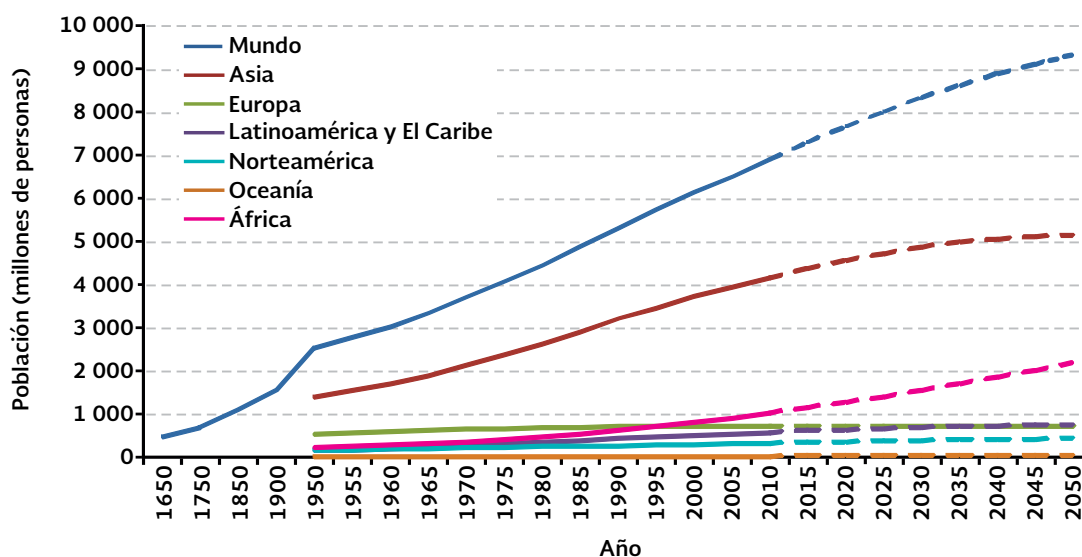
La División de Población de las Naciones Unidas prevé que la población mundial seguirá aumentando hasta alcanzar más de nueve mil millones en el año 2050 (UN, 2012; Figura 1.1). La contribución de cada región del mundo a este crecimiento tiene diferencias importantes. Por ejemplo, en Asia el crecimiento poblacional ha sido muy alto: en 1950 había 1 403.4 millones de personas; en 2010, 4 164.2 millones, y se espera que para 2050 habiten en esta región del mundo 5 142 millones de personas. En Latinoamérica y El Caribe, en 1950 había 167.4 millones, en 2010, 590.1 millones y para 2050 se proyectan casi 751 millones de personas. Estas cifras pueden tener más sentido si se

expresan en términos de densidad poblacional en función del territorio disponible. En Asia, la densidad poblacional en 1950 era de 44 habitantes/km<sup>2</sup>, en 2010 de 130 personas/km<sup>2</sup>; y para 2050 se esperan 161 personas/km<sup>2</sup>; mientras que para Latinoamérica y El Caribe, en 1950 y 2010 había 8 y 29 personas/km<sup>2</sup>, respectivamente, y se espera que para 2050 se incremente a 37 personas/km<sup>2</sup> (Figura 1.2). A nivel mundial, en 1950, la densidad promedio era de 19 personas/km<sup>2</sup>, mientras que en 2010 se alcanzó el valor de 51 personas/km<sup>2</sup>, y se estima que en el año de 2050 llegue a 68 habitantes/km<sup>2</sup>.

El incremento poblacional ha traído consigo una mayor demanda de recursos naturales, lo que presiona fuertemente sus reservas en la naturaleza. Por ejemplo, para cubrir el requerimiento de alimentos tanto para uso humano como animal, el sector agrícola utiliza actualmente el 11% de la superficie terrestre y el 70% del agua total extraída de los acuíferos, ríos y lagos, lo que lo convierte en el mayor

## Población mundial por región, 1650 - 2050<sup>1</sup>

Figura 1.1

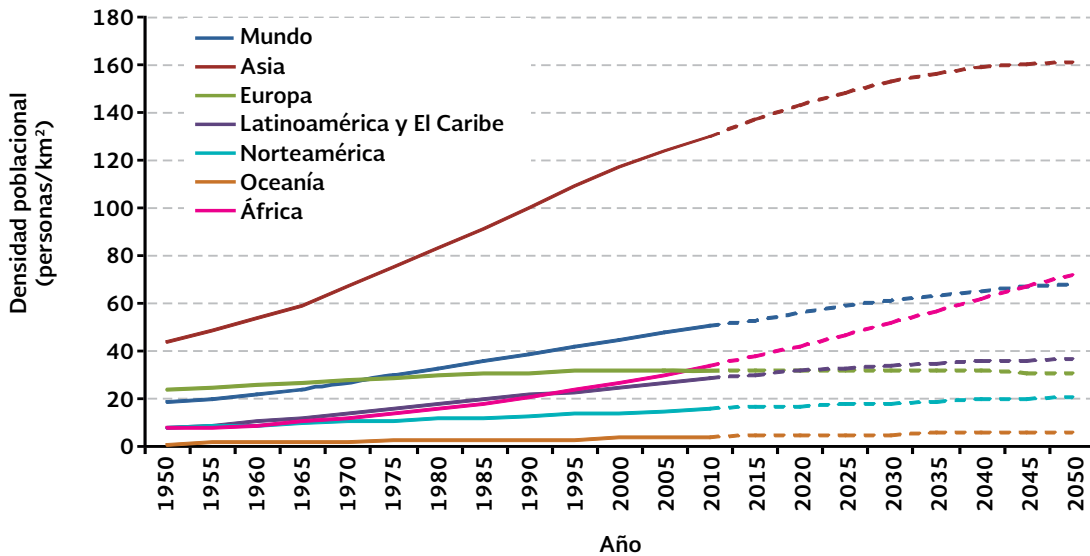


**Nota:**

<sup>1</sup> Las líneas discontinuas representan proyecciones.

**Fuentes:**

Caldwell, J.C. y T. Schindlmayr. Historical population estimates: unraveling the consensus. *Population and Development Review* 28: 183-204. 2002.  
 UN. Department of Economic and Social Affairs. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. *World Population Prospect: The 2010 revision*. On-line Database. Disponible en: [http://esa.un.org/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm).  
 Fecha de consulta: agosto de 2012.



**Nota:**  
<sup>1</sup> Las líneas discontinuas representan proyecciones.

**Fuente:**  
 UN. Department of Economic and Social Affairs. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. *World Population Prospect: The 2010 revision*. On-line Database. Disponible en: [http://esa.un.org/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm).  
 Fecha de consulta: agosto de 2012.

usuario de los recursos naturales del mundo. Tan sólo en los últimos 50 años, la superficie cultivada en el planeta creció 12%, cifra que toma mayor relevancia si se considera que la FAO ha calculado que para satisfacer las necesidades de la población se requeriría aumentar la producción mundial de alimentos en 70% para el año 2050 en comparación con los niveles de 2009 (FAO, 2011). Con respecto a la ganadería, las zonas de pastoreo ocupan 26% de la superficie terrestre libre de hielo; adicionalmente, la producción de forrajes para ganado emplea el 33% de las tierras de cultivo agrícola (FAO, 2009).

Además de la presión para producir alimento, muchas de las actividades de la humanidad generan una gran cantidad de contaminantes que llegan a la atmósfera, al suelo y a los cuerpos de agua, degradando aún más a los ecosistemas. Por ejemplo, en 2010, cada habitante del planeta emitió a la atmósfera en

promedio 4.44 toneladas de CO<sub>2</sub>, el principal gas causante del calentamiento global (ver el capítulo de *Atmósfera* en su sección de *Cambio climático*), aunque con grandes diferencias entre países: un habitante de los Estados Unidos emitió en promedio 17.3 toneladas; 3.85 toneladas uno de México y tan sólo 60 kilogramos uno de Etiopía (IEA, 2012). Con respecto a la generación de residuos sólidos urbanos, en 2010 un habitante de Estados Unidos produjo en promedio 720 kg, mientras que uno de México 370, y uno de China 250 kg (OECD, 2013).

## POBLACIÓN DE MÉXICO<sup>2</sup>

México no ha sido ajeno al crecimiento poblacional mundial ni al impacto de la población en el ambiente. A comienzos del siglo XXI, la tasa de crecimiento nacional era de 1.2%, muy similar a la que había a inicios del siglo XX, pero con una población entre siete y ocho veces

<sup>2</sup> Debido a la fecha y al nivel (localidad, municipio o entidad) en que se publican los datos demográficos del país, en la presente sección (Población de México) se utilizaron las Proyecciones de la Población de México 2010-2050 (Conapo, 2013). En las secciones posteriores, los datos corresponden al Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2011a y b).

mayor. En el año 2010, en el país habitaban 114.26 millones de personas: 51.2% de ellas mujeres y 48.8% de hombres (Conapo, 2013). De acuerdo con los indicadores nacionales de crecimiento poblacional, la población mexicana se encuentra en una fase avanzada de transición demográfica, en la cual tanto la tasa de mortalidad como la de fecundidad tienden a valores bajos. Las proyecciones del Consejo Nacional de Población (Conapo) señalan que el crecimiento poblacional seguirá hasta el año 2050, cuando alcanzará aproximadamente 150.84 millones de habitantes (Conapo, 2013; Figura 1.3).

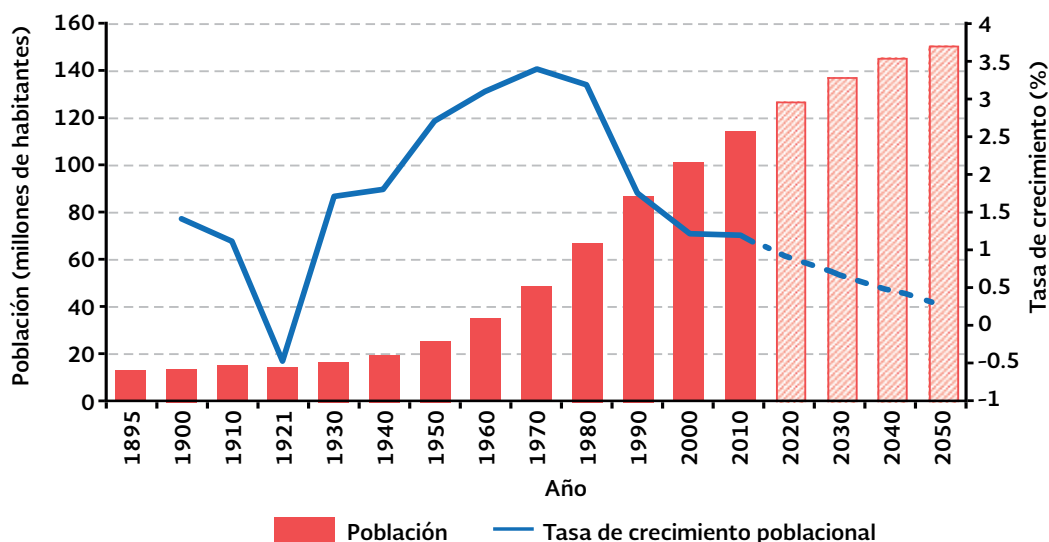
El comportamiento proyectado de la población mexicana será consecuencia de varios factores, entre los que destaca la tendencia en la reducción de la fecundidad que comenzó hace más de 30 años: mientras que en 1950 el promedio de hijos por mujer era de 6.8; en 2010 ya fue de tan sólo 2.28. A esto habría que agregarle el efecto del incremento paulatino de la tasa de mortalidad a partir de los primeros años del siglo XXI, ya que se espera que pase

de 5.6 por cada mil habitantes en 2010 a 6.7 y 8.8 por cada mil habitantes en 2030 y 2050, respectivamente. Asimismo, el incremento de la esperanza de vida total de la población ha estado muy relacionado con los avances en salud pública, los cuales han permitido que se haya incrementado de 49.7 años en 1950 a 74 en 2010 (71 años en hombres y 77 en mujeres). Las proyecciones indican que la esperanza de vida total podría alcanzar los 77 años en 2030, y los 79.4 en 2050 (Figura 1.4).

Otro aspecto relevante de la demografía del país es el cambio en su estructura. Actualmente, la proporción de infantes en la población tiende a reducirse y crece la de jóvenes y adultos mayores: mientras que en el año 2000, la proporción de niños y niñas en edad preescolar (0-4 años) era de 11.5%, en 2010 se redujo a 9.8%; por su parte, los adultos mayores de 65 años pasaron del 5.2% a 6.2% de la población en el mismo periodo (Figura 1.5). En el caso de la población en edad productiva (entre los 15 y los 64 años), pasó de 59% a 62% de la población entre 2000 y 2010. Otro indicador

### Población y tasa de crecimiento poblacional en México, 1895 - 2050<sup>1</sup>

Figura 1.3



**Nota:**

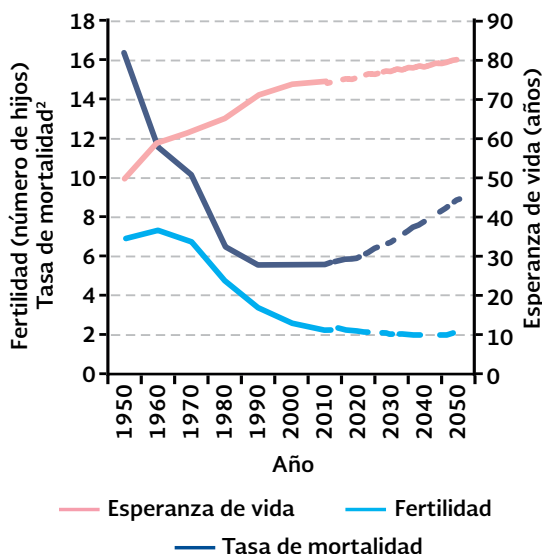
<sup>1</sup> La línea y las barras discontinuas representan proyecciones poblacionales.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México. Abril 2013.  
INEGI. *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.

## Fertilidad, mortalidad y esperanza de vida de la población mexicana, 1950 - 2050<sup>1</sup> **Figura 1.4**



**Notas:**

<sup>1</sup> Las líneas discontinuas representan proyecciones.  
<sup>2</sup> Por cada mil habitantes.

**Fuentes:**

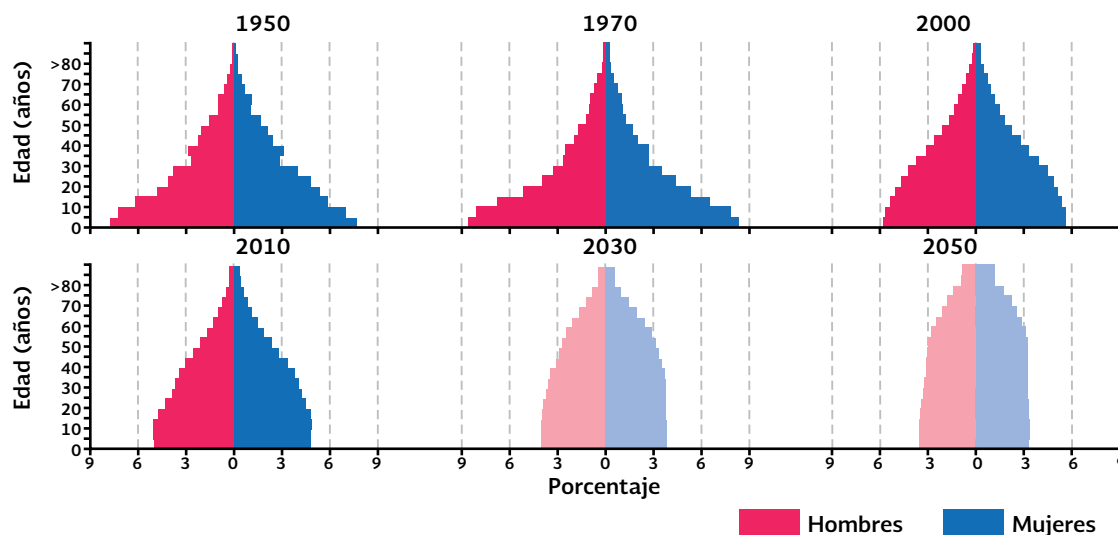
Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México. Abril 2013.  
 Conapo. *Situación demográfica de México 2010*. México. 2010.

que muestra estos mismos cambios es la edad mediana de la población, es decir, la edad que divide en dos partes iguales a los habitantes del país: en 1990 era de 20 años, en 2000 de 22 y en el 2010 alcanzaba los 26 años.

La transición demográfica actual del país genera una relación positiva entre la población en edades dependientes (niños y adultos mayores) y la población productiva. Esta relación se mide por medio de la llamada razón de dependencia, calculada como el cociente entre la población en las edades dependientes y la población en edad productiva: en 1970, el número de personas dependientes era de 99.7 por cada 100 productivas, y para 2010 se calculaba en 60.8 dependientes por cada 100 personas productivas (Figura 1.6). Si se analiza por separado la dependencia infantil y la de adultos mayores, se observa que la dependencia infantil ha seguido una tendencia decreciente, en contraste a la población de adultos mayores, cuya razón de dependencia pasó de 7.7 a 9.9 por cada 100 personas en edad productiva entre los años 1990 y 2010.

## Pirámides de edad en México, 1950 - 2050<sup>1</sup>

**Figura 1.5**

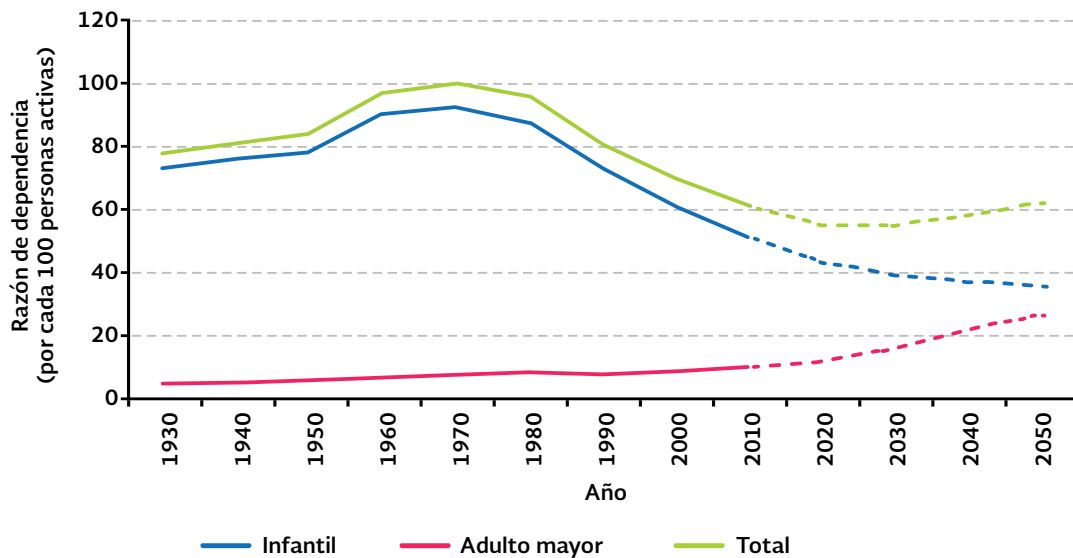


**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos de 2030 y 2050 representan proyecciones.

**Fuentes:**

Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México. Abril 2013.  
 INEGI. *Censos de Población y Vivienda, 1950 a 1970*. México.

**Nota:**

<sup>1</sup> Las líneas discontinuas representan proyecciones poblacionales.

**Fuentes:**

Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México. Abril 2013.  
Conapo. *Diagnóstico socio-demográfico del envejecimiento en México*. Serie de Documentos Técnicos. México. 2011.

Se estima que el valor más bajo de la razón de dependencia demográfica se alcanzará alrededor del año 2025, para elevarse después como resultado del crecimiento de la población de adultos mayores. Esto es, el llamado bono demográfico que ahora presenta el país se extenderá todavía por algunos años más, lo que representa un gran potencial intelectual y laboral susceptible de aprovecharse en el desarrollo del país.

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA POBLACIÓN DE MÉXICO

La distribución geográfica actual de la población mexicana se caracteriza por la fuerte concentración de personas en pocas ciudades y áreas metropolitanas, pero también por una gran cantidad de localidades<sup>3</sup> menores a los 2 500 habitantes dispersas

por todo el territorio nacional. La proporción de la población que habita en localidades rurales (menores a 2 500 habitantes) ha ido disminuyendo significativamente. En 1900, aproximadamente 72% de la población habitaba en localidades rurales; para 1960 este porcentaje ya era ligeramente menor a 50% y en 2010 sólo 23.2% de los habitantes del país se encontraba en localidades de esta categoría. Esto significa que en poco más de un siglo, México pasó de ser un país predominantemente rural a uno urbano.

En cuanto al número de localidades, en 2010 se registraron alrededor de 170 mil de tipo rural (88.6% del total de localidades a nivel nacional), de las cuales 15.3% no contaba con carreteras (ni pavimentadas ni de terracería) que les permitiera conectarse con otros centros poblacionales más grandes

<sup>3</sup> De acuerdo con INEGI (2011b), una localidad es todo lugar que está ocupado por una o más viviendas, habitadas o no, reconocida por un nombre que le otorga la ley o la costumbre. Las localidades rurales comprenden menos de 2 500 habitantes, las mixtas o en transición, entre 2 500 y 14 999, y las urbanas, 15 mil o más habitantes.

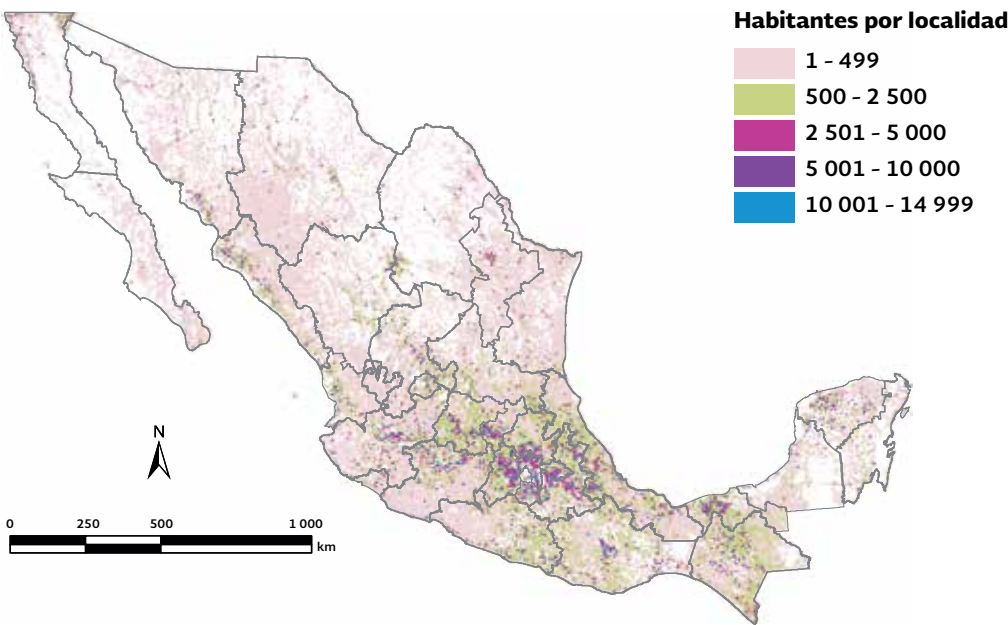
(INEGI, 2011c; Mapa 1.1). Esta condición de aislamiento contribuye, entre otros factores, a los altos índices de marginación y pobreza de la población, ya que dificulta la cobertura de los servicios básicos de educación, salud, agua potable, saneamiento, energía eléctrica y telefonía, además de reducir las opciones de empleo y movilidad social.

Con respecto a la población urbana, en 2010 estaba organizada en 630 localidades: 499 de entre 15 mil y 100 mil habitantes (donde habitaba casi 15% de la población del país), 120 con población entre 100 mil y un millón de habitantes (donde residía cerca de 35% de la población) y once localidades con más de un millón de habitantes (donde residía 13.2% de la población). En conjunto, en estas localidades urbanas habitaba el 62.5% de la población nacional (Mapa 1.2; INEGI, 2011a).

Dentro de las poblaciones urbanas mexicanas se han conformado zonas metropolitanas<sup>4</sup> a partir de la interacción de municipios completos que comparten, además de la colindancia geográfica, una gran actividad socioeconómica. Para el 2010, Sedesol, Conapo e INEGI delimitaron 59 zonas de este tipo en el país. En ese año, 56.8% de la población nacional (63.8 millones de personas) habitaba estas zonas metropolitanas, las cuales, en conjunto, ocupaban 8.7% del territorio (171 817 km<sup>2</sup>; Mapa 1.3). Entre ellas, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es la más poblada, con poco más de 20 millones de personas, lo que equivale a 17.9% de los habitantes del país o 31.5% de las personas asentadas en todas las zonas metropolitanas del país. La ZMVM se forma con las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del estado de México y un municipio de Hidalgo. En segundo y tercer

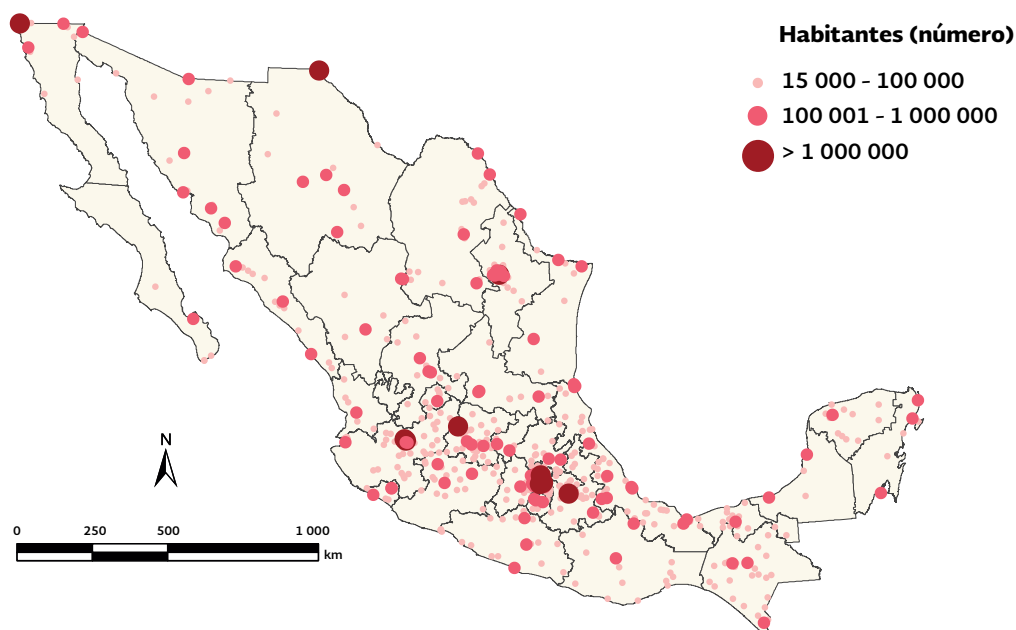
**Distribución de las localidades con menos de 15 mil habitantes, 2010**

**Mapa 1.1**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México 2011.

<sup>4</sup> La zona metropolitana se define como el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. También se incluye a los municipios que por sus características son relevantes para la planeación y política urbana y a los que contienen una ciudad de un millón o más habitantes, así como aquellos con ciudades de 250 mil habitantes que comparten conurbación con ciudades de Estados Unidos (Sedesol, Conapo e INEGI, 2012).



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. México 2011.

lugar se encuentran las zonas metropolitanas de Guadalajara (integrada por 8 municipios) y Monterrey (13 municipios), con 4.4 y 4.1 millones de habitantes, respectivamente. La zona metropolitana menos poblada es la de Moroleón-Uriangato en Guanajuato, formada por los dos municipios que le dan nombre, con alrededor de 109 mil habitantes, menos del 0.1% de la población nacional en 2010.

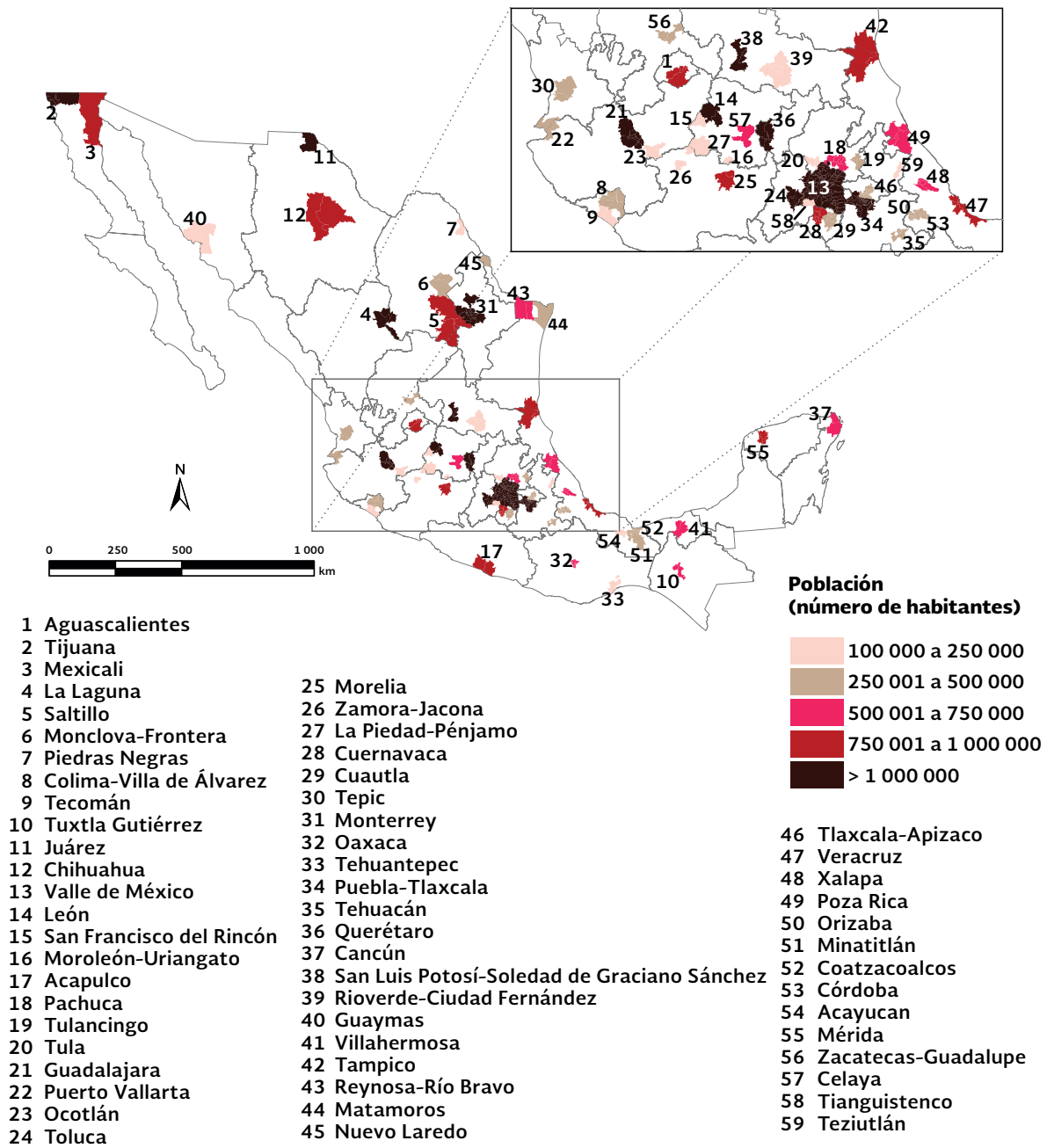
La concentración de población en las zonas metropolitanas tiene como consecuencia fuertes presiones sobre el ambiente, las cuales pueden rebasar, en muchas ocasiones, los límites del propio asentamiento humano y sus alrededores. Por ejemplo, para cubrir la demanda de agua en la ZMVM, además del abastecimiento que se obtiene de los acuíferos de la propia zona metropolitana, se requiere del agua que viaja a través del sistema Cutzamala y que puede provenir de presas ubicadas en el estado de Michoacán (p. e., El Bosque y Tuxpan). Asimismo, una parte de las aguas residuales generadas tienen impactos en

zonas lejanas: una parte es enviada a regiones vecinas con poca disponibilidad de líquido (como por ejemplo, el Valle del Mezquital, Hidalgo), en donde son utilizadas para el riego de campos agrícolas.

## DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA

De la misma manera que la estructura y la distribución geográfica de la población presentan una gran heterogeneidad en el territorio, sus características socioeconómicas también muestran diferencias importantes. Para describirlas se puede usar un amplio número de indicadores, ya sea de tipo económico, demográfico, religioso o político. De entre ellos, en esta obra se seleccionaron el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el Índice de Marginación (IM) y la situación de pobreza, debido a que resumen las condiciones de ingreso, salud y educación que tiene la población mexicana en todo el territorio.





- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1 Aguascalientes            | 25 Morelia                                     |
| 2 Tijuana                   | 26 Zamora-Jacona                               |
| 3 Mexicali                  | 27 La Piedad-Pénjamo                           |
| 4 La Laguna                 | 28 Cuernavaca                                  |
| 5 Saltillo                  | 29 Cautla                                      |
| 6 Monclova-Frontera         | 30 Tepic                                       |
| 7 Piedras Negras            | 31 Monterrey                                   |
| 8 Colima-Villa de Álvarez   | 32 Oaxaca                                      |
| 9 Tecomán                   | 33 Tehuantepec                                 |
| 10 Tuxtla Gutiérrez         | 34 Puebla-Tlaxcala                             |
| 11 Juárez                   | 35 Tehuacán                                    |
| 12 Chihuahua                | 36 Querétaro                                   |
| 13 Valle de México          | 37 Cancún                                      |
| 14 León                     | 38 San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez |
| 15 San Francisco del Rincón | 39 Rioverde-Ciudad Fernández                   |
| 16 Morelón-Uriangato        | 40 Guaymas                                     |
| 17 Acapulco                 | 41 Villahermosa                                |
| 18 Pachuca                  | 42 Tampico                                     |
| 19 Tulancingo               | 43 Reynosa-Río Bravo                           |
| 20 Tula                     | 44 Matamoros                                   |
| 21 Guadalajara              | 45 Nuevo Laredo                                |
| 22 Puerto Vallarta          |  |
| 23 Ocotlán                  |  |
| 24 Toluca                   |  |

**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Sedesol, Conapo e INEGI. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México. 2012.

## ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO (IDH)

El IDH fue desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y mide los logros en tres dimensiones básicas

del desarrollo humano: salud (medida como la esperanza de vida al nacer), educación (años promedio de escolaridad y años esperados de escolarización) e ingreso (medido como el ingreso nacional bruto per cápita). Para facilitar la comparación entre países, a partir

del Informe Mundial 2010, se calcula la media geométrica de estas tres dimensiones, dando como resultado un valor entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a la unidad indicativos de una mejor condición de la población. Con este índice, los países, estados o municipios pueden clasificarse en una escala relativa basada en cuartiles: el primer cuartil agrega a los países con IDH muy alto, el segundo a los de alto, el tercero a los de medio y el cuarto, a los de bajo (PNUD, 2011).

El Informe internacional sobre Desarrollo Humano más reciente (publicado en 2011) reportó el IDH de 187 países. México se ubicó en el segundo cuartil con un valor de 0.770, por debajo de países latinoamericanos como Uruguay (0.783) y Cuba (0.776), y por arriba de Panamá (0.768) y Perú (0.725). De los países evaluados, el de mayor valor de IDH fue Noruega (0.943), mientras que la República Democrática del Congo registró el valor más bajo del listado (0.286; PNUD, 2011).

El valor de IDH a nivel país, sin embargo, no refleja la heterogeneidad que se vive hacia el interior de su territorio, por lo que este indicador se calcula también para otros niveles de la división política interna (p. e., entidades, municipios o provincias) e incluso a nivel de personas, lo cual permite hacer un análisis más cercano a las circunstancias particulares de cada nación. Para el caso específico de México, este índice se genera a nivel nacional, estatal y municipal, aunque debido a la disponibilidad de los datos, se publica en años diferentes a los reportes internacionales y se actualiza menos frecuentemente. A nivel de entidad federativa, el IDH más reciente corresponde al año 2006 (PNUD-México, 2011) y a nivel municipal, a 2005 (PNUD-México, 2008).

A causa de este desfase temporal, la metodología de cálculo empleada en todas las publicaciones realizadas hasta el momento para México es diferente a la que utiliza el PNUD a nivel internacional y que fue descrita anteriormente. En los reportes nacionales, el IDH de México corresponde a la media

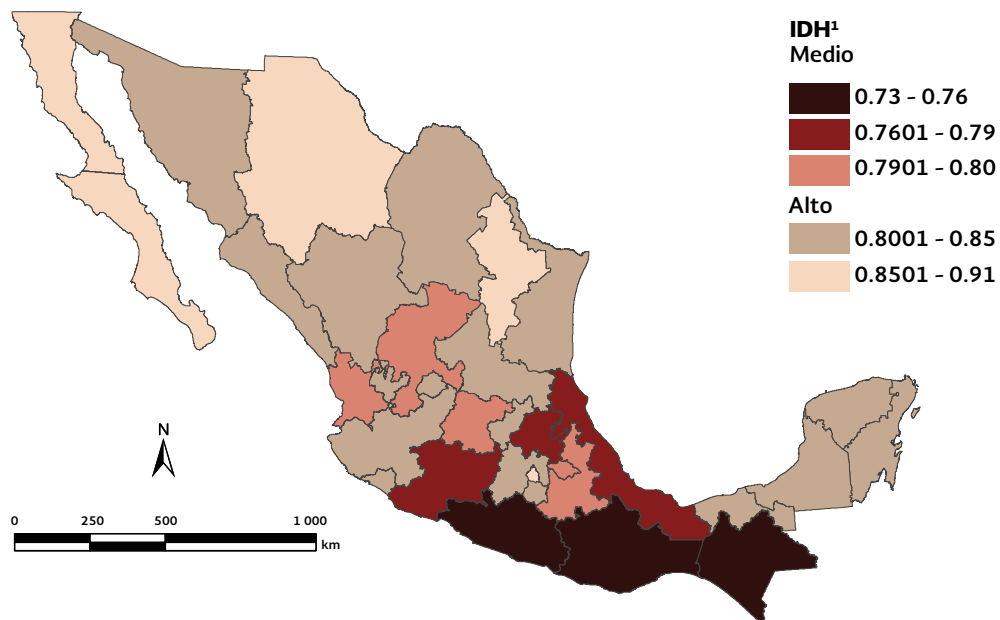
aritmética de tres indicadores relacionados con el acceso a salud, educación e ingreso. El resultado se ubica entre 0 y 1, y permite clasificar a cada entidad o municipio en categorías de IDH alto, (cuando presentan valores entre 0.8 y 1), medio (entre 0.5 y 0.79) o bajo (con valores menores a 0.5; PNUD-México, 2011).

El primer informe sobre IDH para México fue publicado en 2003 con datos del año 2000. En esa fecha, el IDH nacional fue de 0.8059, valor que se ha incrementado ligeramente desde entonces: en el año 2003 fue de 0.8131 y en 2006 alcanzó 0.8225. En esta última fecha, once entidades se clasificaron en la categoría de IDH alto y 21 se ubicaron en IDH medio, con ninguna entidad en la categoría de IDH bajo. El valor más alto lo tuvieron el Distrito Federal (0.9099) y Nuevo León (0.8713) y los más bajos, Chiapas (0.7336) y Guerrero (0.7513; Mapa 1.4; PNUD-México, 2011).

Sin embargo, al hacer el análisis a nivel municipal, sí se presentaron municipios en las tres categorías. En la categoría de IDH alto había 606 municipios; en la de medio 1 844, y en la de bajo, cuatro. Los dos municipios con mayor IDH fueron la delegación Benito Juárez (0.9509) y San Pedro Garza García (0.95), pertenecientes a las entidades que tuvieron los mayores valores de IDH (Distrito Federal y Nuevo León, respectivamente). Sin embargo, en tercer lugar se ubicó el municipio de San Sebastián Tutla (0.9204), en Oaxaca, el cual resalta en virtud de que esta entidad ocupa el lugar 30 dentro del contexto nacional de IDH y alberga a uno de los cuatro municipios del país que tienen IDH bajo (Coicoyán de las Flores, 0.4768). Estos resultados muestran que aún dentro de los límites políticos de una misma entidad, las condiciones de la población presentan contrastes importantes (Figura 1.7). Los tres municipios restantes que en ese año registraron IDH bajo fueron: Tehuipango, Veracruz (0.4985); Batopilas, Chihuahua (0.4734) y Cochoapa el Grande (Guerrero, 0.4354; Mapa 1.5; PNUD-México, 2008).

## Índice de Desarrollo Humano (IDH) por entidad federativa, 2006

Mapa 1.4



**Nota:**

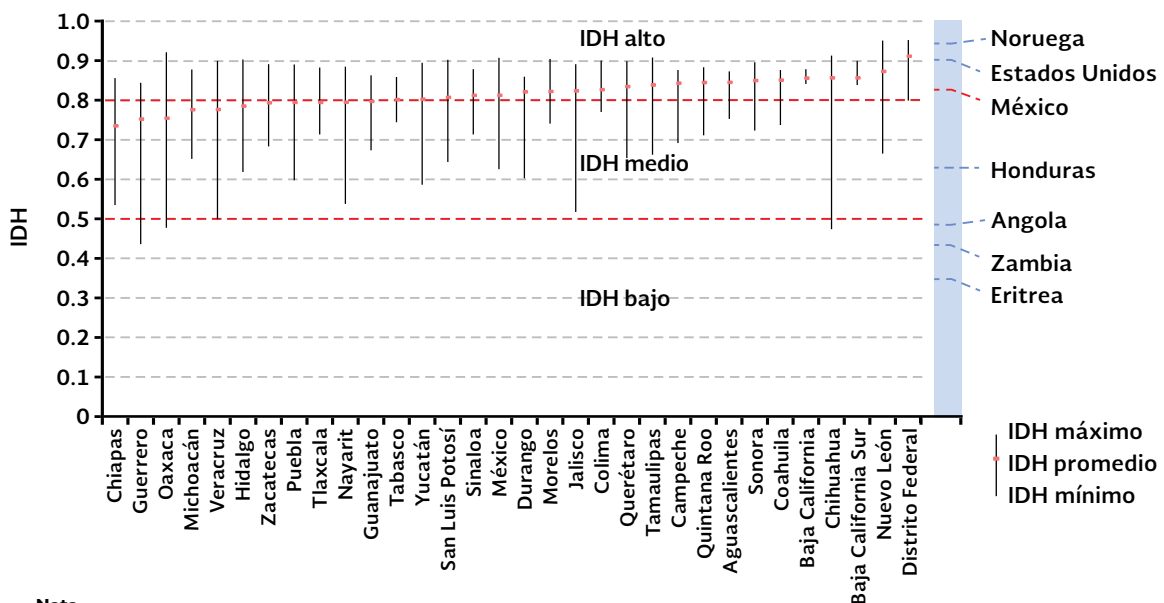
<sup>1</sup> La fuente no reporta entidades con IDH bajo.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
 PNUD. *Informe sobre desarrollo humano en México 2011*. México, 2011.

## Índice de Desarrollo Humano (IDH) municipal<sup>1</sup> y por entidad federativa: valores promedio, máximo y mínimo, 2005

Figura 1.7

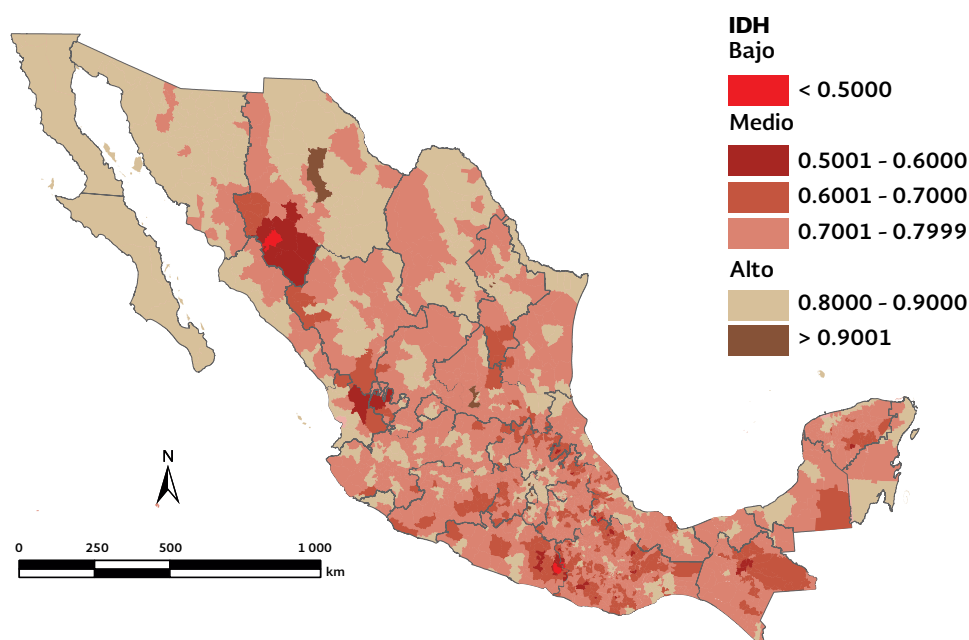


**Nota:**

<sup>1</sup> Los valores representan el máximo y mínimo de IDH municipal y el valor de IDH estatal.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 PNUD. *Informe sobre desarrollo humano municipal en México 2000-2005*. México, 2008.  
 PNUD. *Informe sobre desarrollo humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos*. Madrid, 2011.  
 PNUD. *Informe sobre desarrollo humano México 2011*. México, 2011.



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

Las diferencias metodológicas mencionadas anteriormente con respecto al cálculo de IDH a nivel internacional y nacional no permiten comparar estrictamente los valores de estados y municipios de México con los obtenidos para otros países del mundo. Sin embargo, la mención de algunos de ellos podría servir como marco de referencia para mostrar los contrastes y las condiciones en las cuales habita una parte de la población nacional. Mientras que los municipios de IDH alto se encuentran en el mismo rango que países desarrollados como Noruega, Estados Unidos, o Canadá, los de IDH bajo están en condiciones similares a países del África subsahariana como Eritrea, Nigeria, Angola o Zambia (Figura 1.7; PNUD, 2011).

La heterogeneidad del IDH municipal se incrementa cuando los valores se analizan a partir de la pertenencia a grupos indígenas. Según el Censo de Población y Vivienda

2010, en México vivían 10.8 millones de personas en hogares donde el jefe del hogar o su cónyuge hablan alguna lengua indígena<sup>5</sup>. La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) reconoce 25 regiones indígenas en todo el territorio mexicano, en donde habitan 62 pueblos (CDI y PNUD, 2006) y se hablan más de 60 lenguas originarias (DOF, 2008). Es por ello que a México se le considera como un país multicultural y pluriétnico.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, “las comunidades rurales e indígenas son propietarias de más del 80% de los ecosistemas en buen estado de conservación, en donde se concentra gran parte de la biodiversidad. Cerca de 18 millones de hectáreas de los 24 millones que ocupan los pueblos indígenas, están cubiertas por vegetación natural. La mitad de las selvas húmedas y de los bosques de niebla (mesófilos de montaña) y la cuarta parte de los bosques

<sup>5</sup> La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de México (CDI) considera población indígena (PI) a todas las personas que forman parte de un hogar indígena, donde el jefe (a) del hogar, su cónyuge y/o alguno de los ascendientes (madre o padre, madrastra o padrastro, abuelo(a), bisabuelo(a), tatarabuelo(a), suegro(a) declaró ser hablante de lengua indígena. Además, también incluye a personas que declararon hablar alguna lengua indígena y que no forman parte de estos hogares (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2012).

templados están en territorios indígenas. En las partes altas de las cuencas donde habitan comunidades indígenas se capta el 21.7% de toda el agua del país” (Presidencia de la República, 2007).

Debido a la disponibilidad de información, el cálculo más reciente del IDH para la población indígena de México corresponde al año 2005 (PNUD-México, 2010). Sus resultados muestran que de los 2 032 municipios considerados en el cálculo<sup>6</sup>, y en los cuales se concentraba el 99.9% de la población indígena del país en 2005, en once de ellos (0.54%) la población indígena se encontraba por debajo del valor de 0.5, es decir, el umbral que clasifica al IDH bajo. La población indígena de 1 627 municipios (80.06%) se clasificaba en el rango de IDH medio y 394 como de IDH alto (19.4%). Sin embargo, dentro de estos últimos, sólo cinco municipios (0.25%) se encontraban por arriba de 0.9 de IDH.

La población indígena con IDH más bajo se localizaba en el municipio de Batopilas (Chihuahua), con un valor de 0.3011. En el reporte internacional más reciente de IDH, sólo dos países del mundo se encuentran por debajo de este valor: Níger (0.285) y la República Democrática del Congo (0.286; PNUD, 2011). Batopilas pertenece a la región Tarahumara, y junto con otros cinco municipios de la misma región que también se encuentran por debajo del límite de 0.5 en el IDH, conforman un conjunto de población indígena que manifiesta importantes rezagos frente al resto del país.

En el otro extremo se encuentra la población indígena del municipio de Tlahuelilpan, Hidalgo, con un IDH de 0.9207, similar al valor reportado para Australia (0.929) o los Países Bajos y Estados Unidos (0.910). Es importante señalar, sin embargo, que éste no es un municipio considerado como indígena<sup>7</sup>, puesto que el porcentaje de la población indígena que lo habita apenas alcanza el 1.8% (Figura 1.8).

## ÍNDICE DE MARGINACIÓN

El Índice de Marginación (IM) clasifica a la población a partir de sus carencias en cuanto a educación, vivienda, ingresos y distribución. Algunos de los indicadores utilizados en cada uno de estos ámbitos son: en educación, el porcentaje de la población analfabeta de 15 años o más, o que no ha concluido la primaria; en vivienda, el porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje o con algún nivel de hacinamiento; en ingresos, el porcentaje de la población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos; y en el caso de la distribución de la población, el porcentaje de la población que reside en localidades de menos de cinco mil habitantes. A partir de ellos, se calcula el Índice de Marginación, que puede tener valores positivos y negativos, de tal manera que entre mayor es el valor del índice, también es mayor el grado de marginación.

El IM confirma la desigualdad mostrada por el IDH a nivel estatal y municipal. En términos generales, los municipios con menor IDH tienen también el mayor grado de marginación (Figura 1.9). En 2010, 849 municipios tenían grado de marginación muy alto y alto, y en ellos vivían 11.5 millones de personas (10.3% de la población nacional). El 42.4% de estos municipios se encuentra en Oaxaca, entidad de la cual 360 de sus 570 municipios se encuentran en estas categorías; el resto está distribuido en otras 21 entidades. Cabe señalar que en ese mismo año, en 10 entidades (Distrito Federal, Baja California, Baja California Sur, Aguascalientes, Coahuila, Colima, Morelos, Quintana Roo, Tabasco y Tlaxcala) no había municipios cuya población se encontrara en grados de marginación muy alto y alto (Conapo, 2011).

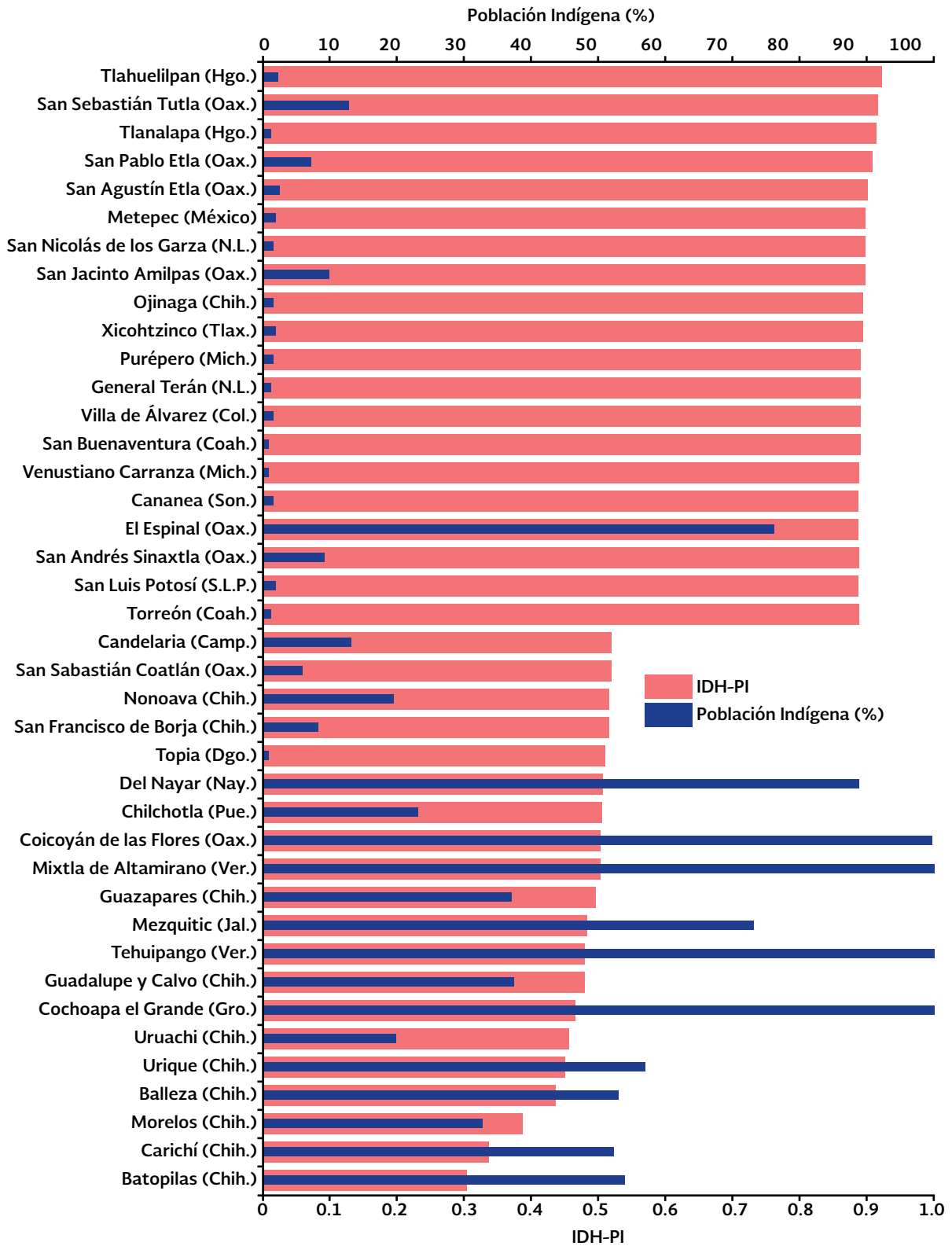
Los municipios con grado de marginación medio sumaron 944, con 21.2 millones de personas en 2010, es decir, 18.9% de la población nacional. También en esta categoría de marginación, Oaxaca tuvo el mayor número

<sup>6</sup> En el cálculo del IDH-PI, la fuente no consideró el total de municipios que había en el país en 2005 (2 454) debido a que en 393 de ellos no había población indígena y en 29 no se contó con la información completa para hacer el cálculo.

<sup>7</sup> De acuerdo con la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, un municipio se considera predominantemente indígena cuando su población de este tipo representa más del 40% del total municipal (CDI y PNUD, 2006).

**Veinte municipios con mayor y menor Índice de Desarrollo Humano de la Población Indígena (IDH-PI), 2005**

**Figura 1.8**

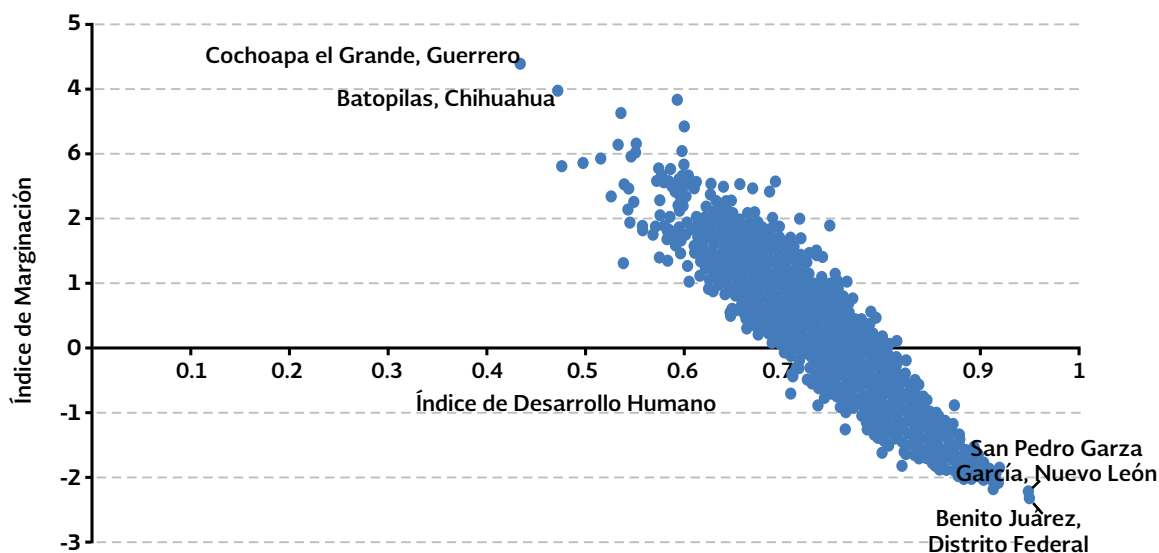


**Fuente:**

PNUD. Informe sobre desarrollo humano de los pueblos indígenas en México. El reto de la desigualdad de oportunidades. México. 2010.

## Relación entre el Índice de Marginación (2010) y el Índice de Desarrollo Humano (2005), por municipio

Figura 1.9



### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conapo. *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. México. 2011. Base electrónica de datos. Fecha de consulta: agosto de 2012.

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

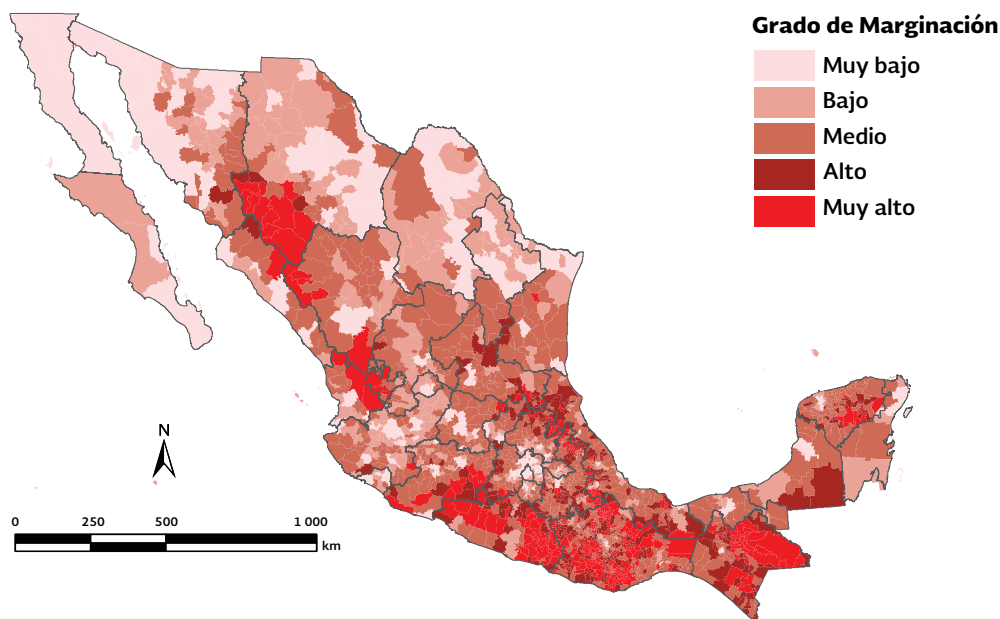
de municipios (171), los cuales representan el 18.1% del total de municipios con grado de marginación medio en el país. Las categorías de marginación baja y muy baja incluyeron 663 municipios, en los que habitaban 79.6 millones de personas, es decir, 70.9% de la población nacional. En Jalisco, por ejemplo, más de la mitad de los municipios se encuentra en las categorías baja y muy baja; en Baja California, sus cinco municipios tienen grado de marginación muy bajo; y en el Distrito Federal, 15 de las 16 delegaciones tuvieron un grado de marginación muy bajo (sólo Milpa Alta se clasificó en la categoría de marginación baja; Mapa 1.6; Conapo, 2011).

En el año 2010, el municipio de Cochoapa el Grande, Guerrero, fue la unidad político-administrativa con mayor marginación en el país. Contaba con casi 19 mil habitantes, de los cuales 66.7% con 15 o más años era

analfabeta y 81.3% no contaba con educación primaria concluida. Al mismo tiempo, 89.9% de la población ocupaba viviendas sin drenaje ni sanitario. En ese mismo año, en el extremo opuesto, estaba la delegación Benito Juárez del Distrito Federal, donde vivían más de 385 mil personas de las cuales menos del uno por ciento con 15 o más años era analfabeta y 3.1% no había terminado la primaria; en cuanto a la vivienda, menos del 0.02% de sus residentes habitaba en viviendas sin drenaje ni sanitario y 0.01% no contaba con energía eléctrica.

De la misma manera que el análisis del IDH muestra graves deficiencias en la atención a la población indígena del país, el IM ratifica esta tendencia. El Conapo estimó que de los 441 municipios del país que presentaron grado de marginación muy alto en 2010, 218 eran municipios indígenas<sup>8</sup> y en ellos vivían

<sup>8</sup> El Conapo clasificó a los municipios del país en cuatro categorías determinadas por la proporción de población indígena asentada: i) indígenas, donde 79% o más de la población de cinco años o más habla alguna lengua indígena, ii) predominantemente indígenas, donde entre 40 y menos de 70% habla alguna lengua indígena, iii) con moderada presencia indígena, donde entre 10 y menos de 40% de sus residentes domina alguna lengua indígena; y iv) con escasa presencia indígena, donde menos de 10% es hablante de lengua indígena (Conapo, 2011).



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conapo. *Índice de Marginación por entidad federativa y municipio 2010*. México. 2011. Base electrónica de datos. Fecha de consulta: agosto de 2012.

2.1 millones de personas de 5 años o más hablantes de alguna lengua indígena. En el otro sentido, no hubo municipios considerados indígenas que se encontraran en grados de marginación bajo y muy bajo (Conapo, 2011).

## POBREZA

El tercer indicador utilizado en este Informe es la condición de pobreza. La Ley General de Desarrollo Social (LGDS) mandata al Consejo Nacional de la Política de Desarrollo Social (Coneval) a realizar su medición cada dos años a nivel estatal y cada cinco años a nivel municipal utilizando la información generada por el INEGI. Tradicionalmente, el cálculo se hacía desde una perspectiva unidimensional en la cual consideraba al ingreso como una aproximación del bienestar de la población. Bajo este enfoque, una persona u hogar se encuentra en pobreza de patrimonio cuando sus ingresos son insuficientes para cubrir satisfactores como vivienda, vestido, calzado y transporte público para cada uno

de los miembros del hogar. En el caso de la pobreza de capacidades, se presenta cuando el ingreso es menor al necesario para invertir de manera mínimamente aceptable en la educación y salud de cada miembro de la familia; y finalmente, la pobreza alimentaria existe cuando hay insuficiencia de ingreso para adquirir la canasta básica alimentaria, aún si todo el ingreso disponible en el hogar se destina exclusivamente para la adquisición de estos bienes (Coneval, 2007).

Usando este criterio, el Coneval estimó que en 2010, había 57.7 millones de personas en pobreza de patrimonio, lo que equivalía al 51.3% de la población del país; poco más de 30 millones de personas (26.7%) en situación de pobreza de capacidades, y 21.2 millones de personas (18.8%) en pobreza alimentaria (Coneval, 2012). Cabe señalar que estas cifras no son acumulativas, ya que las personas que se encuentran en pobreza alimentaria también están incluidas en la pobreza de capacidades y de patrimonio (Figura 1.10).



En un esfuerzo por incluir más elementos que permitieran una mejor evaluación de la pobreza, el Coneval reconsideró el método de cálculo y cambió la visión unidimensional del ingreso por una multidimensional que considera la imposibilidad de disfrutar diversos satisfactores esenciales, muchos de los cuales son provistos por el Estado (como el acceso a servicios de saneamiento o la seguridad pública), o que son considerados fundamentales por formar parte de los derechos humanos, económicos, sociales y culturales (Coneval, 2011a y b).

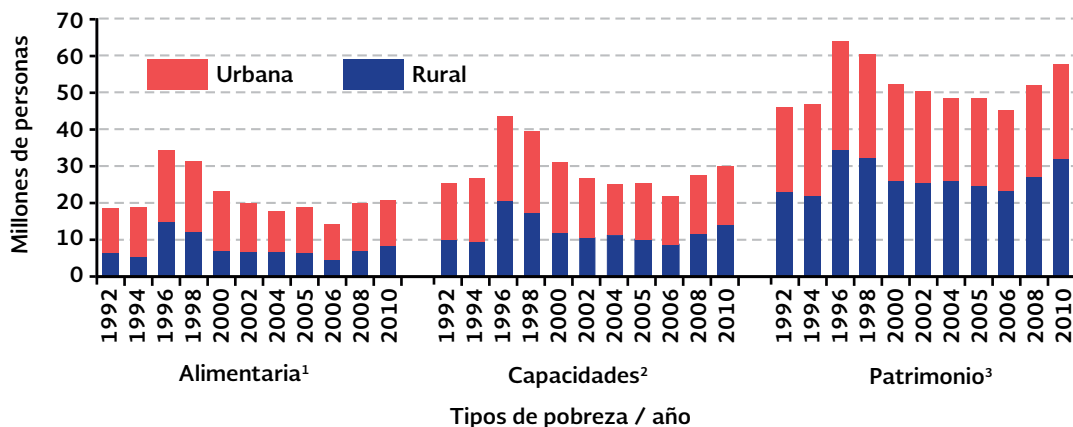
En 2011, el Coneval presentó por primera vez los resultados de la medición de la pobreza multidimensional para los 2 456 municipios del país con base en las dimensiones económicas y sociales que señala la LGDS: ingreso, rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad, espacios y servicios básicos

en la vivienda, acceso a la alimentación y grado de cohesión social. Bajo el enfoque multidimensional, una persona se considera en situación de pobreza cuando no tiene garantizado el ejercicio de al menos uno de sus derechos para el desarrollo social y sus ingresos son insuficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades. Una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando carece de tres o más indicadores relativos a los derechos sociales y sus ingresos son inferiores a la línea de bienestar mínimo<sup>9</sup> (Coneval, 2010). Con estos criterios, en 2010 en México habían 52.1 millones de personas en condición de pobreza (46.2% de la población), de las cuales 12.8 millones se encontraban en pobreza extrema (10.4% de la población).

A nivel municipal, en ese mismo año existían 741 municipios con 80% o más de su población

## Población rural y urbana según tipo de pobreza por ingresos en México, 1992 - 2010

Figura 1.10



### Notas:

<sup>1</sup> Pobreza alimentaria: insuficiencia del ingreso para adquirir la canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar exclusivamente para la adquisición de estos bienes.

<sup>2</sup> Pobreza de capacidades: insuficiencia del ingreso para adquirir la canasta alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud y educación, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios.

<sup>3</sup> Pobreza de patrimonio: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud, educación, vestido, vivienda y transporte, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios.

### Fuente:

Coneval. Anexo estadístico. En: *Medición de pobreza municipal 2010*. Disponible en: <http://web.coneval.gob.mx>. Fecha de consulta: septiembre de 2012.

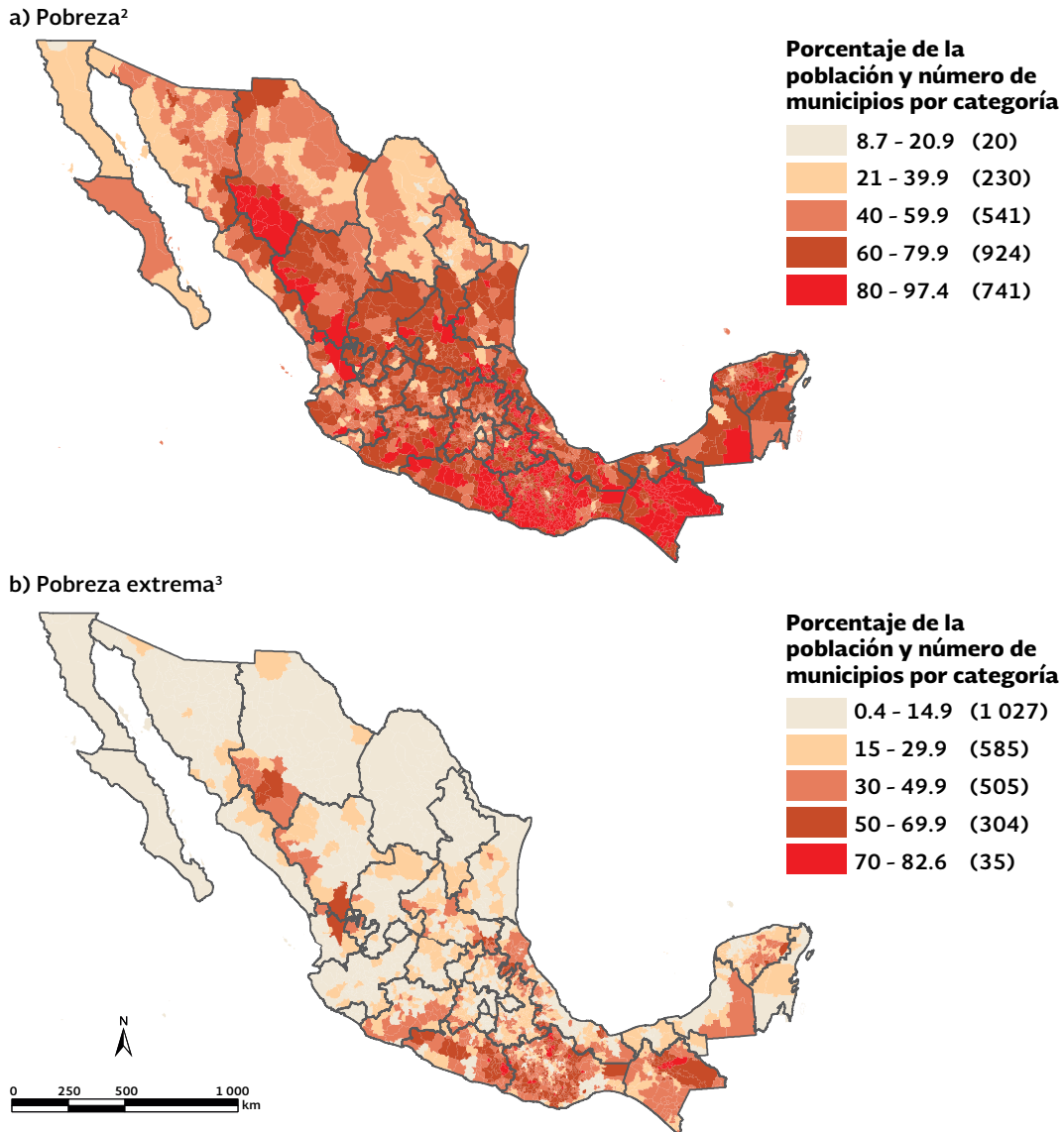
<sup>9</sup> Equivale al valor monetario de la canasta básica alimentaria generada por el Coneval, la cual incluye entre otros productos: maíz, frijol, huevo, arroz y aceite vegetal.

en condición de pobreza, lo que representa alrededor de 30.2% de los municipios del país. Dentro de este grupo, los que tenían el mayor porcentaje de población en pobreza fueron Mixtla de Altamirano, Veracruz (97%); Aldama y San Juan Cancuc, Chiapas (97.3%) y San Juan Tepeuxila, Oaxaca (97.4%). En el

extremo contrario, había 20 municipios con menos de 21% de su población en situación de pobreza, siendo la delegación Benito Juárez del Distrito Federal (8.7%) y San Nicolás de los Garza (12.8%) y Guadalupe (13.2%) en Nuevo León, los que registraron los valores más bajos (Coneval, 2011c; Mapa 1.7 a).

## Población en situación de pobreza y pobreza extrema<sup>1</sup> por municipio, 2010

Mapa 1.7



### Notas:

<sup>1</sup> Mediciones realizadas bajo el enfoque multidimensional.

<sup>2</sup> Pobreza: se refiere a cuando una persona no tiene garantizado el ejercicio de al menos uno de sus derechos para el desarrollo social y sus ingresos son insuficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades.

<sup>3</sup> Pobreza extrema: cuando una persona es carente en tres o más de los indicadores relativos a los derechos sociales y sus ingresos son inferiores a la línea de bienestar mínimo.

### Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Coneval. *Medición de la pobreza municipal 2010*. México, 2011. Base electrónica de datos. Fecha de consulta: agosto de 2012.

Considerando a las personas en pobreza extrema bajo el enfoque multidimensional, en 2010 había en México 35 municipios con más de 70% de su población en esta condición (Mapa 1.7 b). Cochoapa el Grande, en la región de La Montaña de Guerrero, fue el municipio con mayor proporción de personas (82.6% de su población) en pobreza extrema. Este municipio, creado en 2002, cuenta con cerca de 17 mil personas mayores de tres años hablantes de alguna lengua indígena, también ocupó el último lugar municipal en los índices de marginación y de desarrollo humano descritos anteriormente. Sus condiciones de retraso contrastan con las de 1 027 municipios y delegaciones con menos de 15% de su población en pobreza extrema, diez de los cuales mostraron menos del uno por ciento de sus habitantes viviendo en esta condición.

### POBLACIÓN EN ZONAS DE RIESGO AMBIENTAL

Por su ubicación geográfica, características climáticas, orográficas e hidrológicas, y por la elevada actividad volcánica y sísmica, México está expuesto al impacto de diferentes eventos de origen natural: fenómenos hidrometeorológicos (bajas temperaturas, ciclones tropicales, fuertes vientos, inundaciones, lluvias, nevadas, heladas o granizadas, sequías o tornados), geológicos (sismicidad y vulcanismo) y sanitarios (marea roja). A ellos se suman los causados directamente por las actividades humanas, como algunos incendios, fugas y derrames de compuestos químicos. Sin importar su origen, todos estos eventos pueden tener consecuencias negativas en la población, así como en la infraestructura y en la economía de las poblaciones y zonas afectadas.

Dentro de esta gama de fenómenos, los hidrometeorológicos son los que mayor afectación económica producen al país: por ejemplo, en el 2009, 96% de las pérdidas económicas por desastres, que ascendieron

a los 14 mil millones de pesos, se debieron a sus efectos. A pesar de que este es un aspecto muy importante para determinar su impacto, las consecuencias de índole humano no son menores: en ese mismo año, 100 personas perdieron la vida y poco más de 550 mil resultaron afectadas, entre heridos, evacuados y damnificados (Cenapred, SEGOB, 2010). Las precipitaciones intensas asociadas a este tipo de fenómenos, junto con la topografía accidentada, el uso del suelo y el estado de la cubierta vegetal pueden provocar daños importantes que se magnifican si no hay medidas preventivas y de mitigación en las zonas vulnerables.

Después de que ha ocurrido algún tipo de fenómeno natural que afecta viviendas, servicios o infraestructura, la Secretaría de Gobernación (SEGOB) puede emitir una declaratoria de desastre a solicitud de la entidad federativa afectada o de alguna dependencia federal. Esta declaratoria tiene por objeto proporcionar recursos para la reconstrucción de los daños sufridos. También se pueden emitir declaratorias de emergencia, que están dirigidas a atender la vida y la salud de la población, y declaratorias de contingencias climatológicas, diseñadas para atender a productores de bajos ingresos ante la ocurrencia de contingencias climatológicas atípicas, relevantes, no recurrentes e impredecibles (Sistema Nacional de Protección Civil, SEGOB, 2012).

Para mostrar la magnitud del impacto de los fenómenos naturales en el país, así como sus consecuencias negativas, tan sólo entre 2000 y 2011 se publicaron cerca de 15 mil registros de municipios con declaratorias de cualquiera de los tres tipos antes citados. Cabe señalar que la publicación de un solo documento de declaratoria (de cualquier tipo) en el Diario Oficial de la Federación puede incluir a más de un municipio. En este periodo, las entidades con municipios que aparecieron un mayor número de veces en declaratorias fueron Veracruz (Nautla en 31 ocasiones y Minatitlán y Tecolutla

con 29 cada uno) y Oaxaca; las de menor número fueron Baja California y el Distrito Federal. Por otro lado, 311 municipios fueron citados con una sola mención y para otros 133 no fue necesaria su inclusión en ningún tipo de declaratoria. Las declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos fueron las que comprendieron el mayor porcentaje (92.3%) de las causas de las declaratorias en el periodo 2000-2011 (Figura 1.11; Cenapred, SEGOB, 2012).

Al relacionar la incidencia de los municipios con declaratorias de desastre, emergencia o contingencia con sus variables socioeconómicas, el resultado muestra que también los municipios con grado de marginación alto y muy alto han sufrido el impacto de los fenómenos naturales, lo que ha complicado todavía más la situación de sus habitantes (Figura 1.12). En casos extremos, las consecuencias de la presencia continua de fenómenos naturales pueden contribuir a que ciertos sectores de la población tomen la decisión de migrar, temporal o definitivamente, para establecerse en otros sitios. Debido a la complejidad del

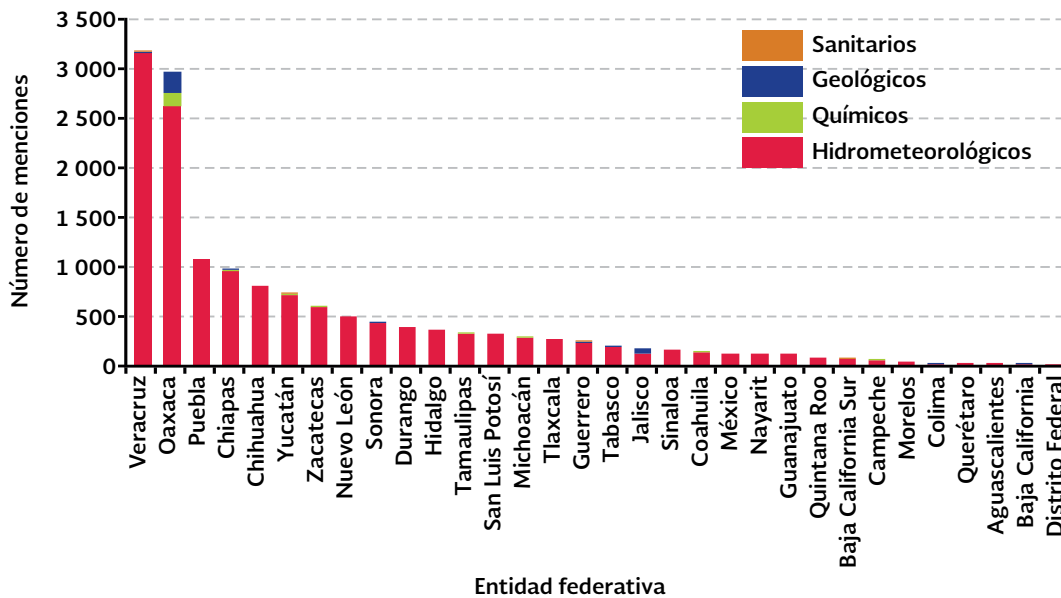
fenómeno migratorio, a la fecha no es posible establecer con certeza el número de personas que han salido de sus lugares de origen o de residencia por cuestiones principalmente ambientales; sin embargo, algunos estudios han documentado que este componente estaría contribuyendo de manera importante a que las personas tomen esta decisión (ver Recuadro *Migrantes por razones ambientales*).

### ECONOMÍA Y MEDIO AMBIENTE

Durante mucho tiempo se aceptó que el deterioro ambiental era un costo inevitable del desarrollo económico de los países y que los problemas ambientales se atenderían una vez resuelta la problemática económica y social. La preocupación por mantener el desarrollo económico dejó en segundo plano, frecuentemente, la importancia que tendrían en el corto, mediano y largo plazos los costos ambientales generados por las actividades económicas. Sin embargo, en la actualidad los diferentes sectores de la sociedad han tomado mayor conciencia de los efectos negativos, tanto económicos como sociales, de la degradación

**Total de declaratorias por clasificación de fenómeno en cada entidad federativa, 2000 - 2011**

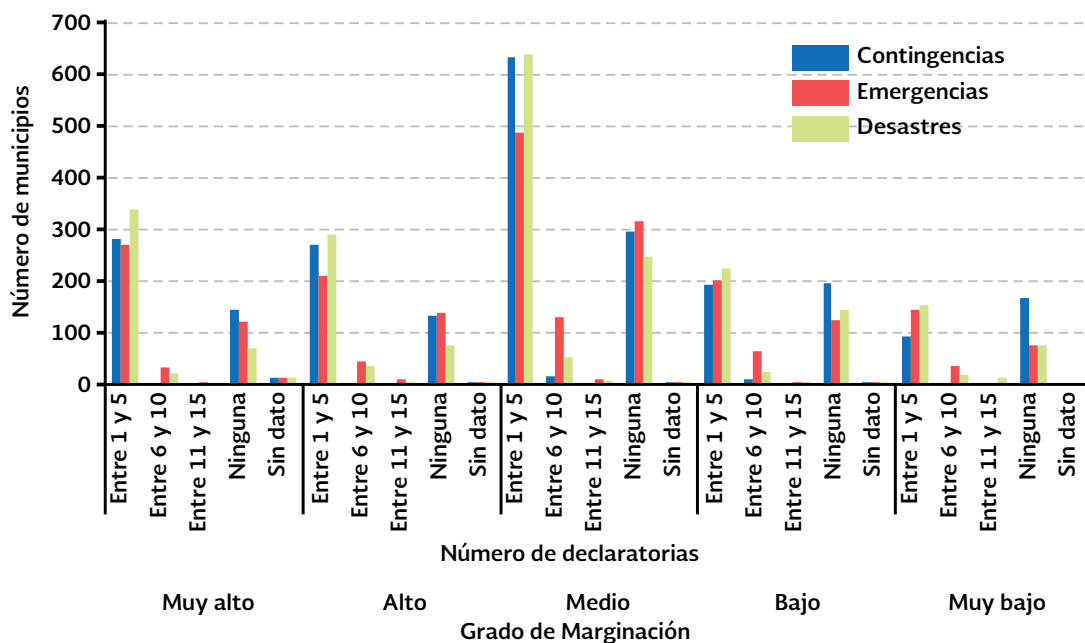
Figura 1.11



Fuente: SEGOB, Cenapred, Atlas Nacional de Riesgos. Base de datos sobre declaratorias de emergencia de desastre y contingencia climatológica (Actualizada al 10 de octubre de 2011). Disponible en: [www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx](http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx). Fecha de consulta: febrero de 2012.

## Número de municipios por Grado de Marginación 2010, con declaratorias de emergencia, contingencia y desastres, 2000 - 2011

Figura 1.12



Fuente:

SEGOB, Cenapred, Atlas Nacional de Riesgos. Base de datos sobre declaratorias de emergencia de desastre y contingencia climatológica (Actualizada al 10 de octubre de 2011). Disponible en: [www.atlasmunicipalderiesgos.gob.mx](http://www.atlasmunicipalderiesgos.gob.mx). Fecha de consulta: febrero de 2012.

ambiental y de la explotación intensiva e insostenible de los recursos naturales. Debido a que el crecimiento económico es uno de los componentes del desarrollo sustentable y que la degradación ambiental tiene un impacto directo en el crecimiento sostenido de la economía de cualquier país, es necesario contar con información que permita hacer un balance objetivo de los costos de la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales, así como de lo que se invierte en acciones de protección y uso sustentable de los recursos naturales.

En México, el INEGI ha calculado los Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA)<sup>10</sup> del país en los últimos años. Los CTADA se calculan con base en: 1) los costos de agotamiento de los recursos forestales, de los hidrocarburos (petróleo y

gas natural), del agua subterránea y de los derivados por el agotamiento de los recursos naturales ocasionados por el cambio de uso del suelo; y 2) por los costos asociados a la degradación que incluyen los relacionados con la baja calidad del aire y la degradación y contaminación de los suelos y agua.

La última estimación disponible de los CTADA corresponde al periodo 2007-2011 (publicada en 2013), y de acuerdo con ella, pasaron de 914.62 mil millones a 983.89 mil millones de pesos en ese periodo (Tabla 1.1; INEGI, 2013). Debido a los cambios en la metodología de cálculo, los datos para distintos periodos no son comparables, aunque sí permiten conocer con cierta confianza la magnitud de estos costos a través del tiempo. Desde la segunda mitad de la década de los 90 del siglo pasado y hasta el año 2011, el comportamiento de los

<sup>10</sup> Los CTADA son equivalentes a las erogaciones que la sociedad en conjunto tendría que efectuar para remediar, restituir y/o prevenir el daño al medio ambiente como resultado de las actividades propias del ser humano, como producción, distribución y consumo de bienes y servicios (INEGI, 2011d).

La migración es un fenómeno complejo en el que intervienen una mezcla de factores sociales, económicos, políticos, étnicos y ambientales, entre otros. Independientemente de su origen, puede ser la estrategia de supervivencia que emplean las poblaciones cuando ven amenazada su seguridad. La migración por causas ambientales no es un fenómeno nuevo, los pueblos nómadas la practicaron desde miles de años atrás; sin embargo, es hasta las últimas dos décadas que la comunidad internacional ha comenzado a reconocer que los cambios ambientales más drásticos y la recurrencia de eventos extremos<sup>1</sup>, ahora magnificados por el cambio climático de origen antropogénico, están relacionados con la movilidad de las personas.

Los eventos extremos ocurren de manera natural y suelen afectar a muchos tipos de ecosistemas. Cuando éstos se encuentran bien conservados o con bajos niveles de degradación, son más resistentes a los efectos negativos de estos fenómenos; pueden recuperarse más rápidamente de estas afectaciones y recuperar su condición original o alcanzar una muy cercana a ella. En algunos casos los ecosistemas necesitan de estos fenómenos para su regeneración natural. Si estos eventos ocurren sin que haya afectaciones a la

población humana no son considerados desastres naturales, pero si se presentan daños a las personas o a sus bienes, entonces entran formalmente en esta categoría. Cuando los eventos extremos alcanzan cierta magnitud, pueden contribuir a que las personas tomen la decisión de migrar temporal o definitivamente del sitio donde habitan.

Para denominar a los migrantes que toman la decisión de cambiar de residencia principalmente por motivos ambientales, se han utilizado diversos términos: *desplazados ambientales*, *migrantes inducidos*, *migrantes forzados por motivos medioambientales* o *migrantes forzados por el clima*. Incluso, en algunos estudios se les llama *refugiados ambientales*, *refugiados por efecto del clima* o *refugiados ecológicos*<sup>2</sup>. Sin embargo, la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) sugiere el uso del término *migrantes por razones ambientales* para referirse a las personas o grupos de personas que, por motivo de cambios repentinos o progresivos del medio ambiente, que afectan adversamente su vida o sus condiciones de vida, se ven obligados a abandonar sus lugares de residencia habituales, o deciden hacerlo por voluntad propia, ya sea con carácter temporal o permanente, y se trasladan a otro lugar en su propio país o al extranjero (OIM, 2007).

<sup>1</sup> Fenómeno climático de gran intensidad y baja frecuencia que tiene efectos ambientales y sociales adversos, ya sea regional o localmente.

<sup>2</sup> La Agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR) recomienda que las expresiones para describir a las personas que migran por razones ambientales no deben incluir el término "refugiados", ya que un refugiado es un individuo que es perseguido por un gobierno, régimen, grupo social u otro individuo por motivos de raza, nacionalidad, religión, pertenencia a un grupo social o por manifestar sus opiniones políticas, y en este contexto, el ambiente o el clima no son factores *per se* que persigan a las personas y por lo tanto no es posible reconocer legalmente su condición de refugiados.

Debido a la complejidad del fenómeno migratorio, cuantificar las personas que han migrado por razones ambientales no es una tarea sencilla. Algunas estimaciones señalan que en 2008, 20 millones de personas en el mundo fueron desplazadas como consecuencia de fenómenos relacionados con el clima, en comparación con 4.6 millones de desplazados internos a causa de situaciones de conflicto y violencia. Para el futuro, específicamente el año 2060, el PNUMA estima que en África podrían haber 50 millones de migrantes ambientales (Brown, 2008), y a nivel mundial, para el año 2050, Myers (2005) calcula que, considerando el incremento de los efectos del cambio climático, podría haber hasta 200 millones de personas desplazadas ya sea por alteraciones de los sistemas monzónicos y otros sistemas de lluvias, por sequías de una gravedad y duración inusitadas, así como por la subida del nivel del mar y la inundación de los litorales. El propio Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), menciona en su Cuarta Comunicación que existe un incremento en el potencial de migración de las personas que viven en las áreas afectadas por ciclones tropicales intensos y sequías, entre ellas el Medio Oriente y África septentrional, donde además de los factores ambientales, debe considerarse la presión demográfica sobre los recursos y la problemática económica (IPCC, 2007).

Para México, un estudio publicado por la U.S. Commission on Immigration Reform señaló que una parte de las 900

mil personas que migran anualmente de las regiones áridas y semiáridas, lo hicieron por la desertificación que afectó sus tierras agrícolas (Leighton y Notini, 1994). En otros estudios realizados a menor escala se han expuesto otras razones para migrar. Por ejemplo, en Chiapas, los municipios de Huixtla, Motozintla, Tapachula y Tuzantán, personas entrevistadas sobre su posible cambio de residencia señalaron que la degradación ambiental y los desastres naturales repentinos (como el huracán Stan en 2005) podrían influir en su decisión de cambiar de residencia. También, en dos localidades de Zacatecas, las respuestas fueron en el sentido de que los patrones de lluvia y temperatura habían cambiado en las últimas dos décadas, y que esto había afectado seriamente a las personas más pobres que dependían de la agricultura de subsistencia para alimentarse, por lo cual habían considerado la posibilidad de migrar tanto dentro como fuera del país (EACH-FOR, 2009).

De acuerdo con los especialistas, es necesario realizar estudios más detallados sobre cómo, por qué y hacia dónde migran las personas. Esta información ayudará a entender las implicaciones de la migración en términos del bienestar de los propios migrantes, así como de los sitios que dejan y también de aquellos a los que llegarán (Brown, 2008).

#### Referencias:

Brown, O. El baile de las cifras. *Revista Migraciones Forzadas* 31: 8-9. 2008.

## Recuadro

## Migrantes por razones ambientales (conclusión)

EACH-FOR. *Environmental change and forced migration scenarios. Specific Targeted Project Scientific support to policies-SSP. Case Study Report Environmental factors in Mexican migration: The cases of Chiapas and Tlaxcala.* European Commission. SERI (Austria) y ATLAS Innoglobe (Hungary). 2009.

IPCC. Summary for Policymakers. *In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007.

Leighton Schwartz, M. y J. Notini. *Desertification and migration: México and the United States.* U.S. Commission on Immigration Reform. 1994.

Myers, N. *Environmental refugees: an emergent security issue.* 13th Economic Forum, Session III – Environment and Migration. Prague, 23-27 May 2005.

OIM. *Discussion note: Migration and the environment.* Ninety-Fourth Session. MC/INF/288. 2007.

## Impacto de los CTADA respecto al PIB (miles de millones de pesos)

Tabla 1.1

Año	Producto Interno Bruto (PIB) a precios de mercado <sup>1</sup>	Consumo de Capital Fijo (CCF) <sup>1</sup>	Producto Interno Neto (PIN) <sup>1</sup>	Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA) <sup>1</sup>	Producto Interno Neto Ecológico (PINE) <sup>1</sup>	CCF como porcentaje del PIB (CCF/PIB)	CTADA como porcentaje del PIB (CTADA/PIB)
2007	11 290.75	972.74	10 318.01	914.62	9 403.39	8.6	8.1
2008	12 153.44	1 095.59	11 057.85	792.93	10 264.92	9.0	6.52
2009	11 893.25	1 264.6	10 628.65	835.15	9 793.5	10.6	7.02
2010	13 029.1	1 306.08	11 723.03	871.86	10 851.17	10.0	6.69
2011	14 351.49	1 382.4	12 969.09	983.89	11 985.21	9.6	6.86

**Nota:**

<sup>1</sup> En miles de millones de pesos a precios corrientes.

**Fuente:**

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2007-2011. Año Base 2003.* México. 2013.

CTADA como proporción del PIB ha mostrado variaciones entre los años. Entre 1996 y 1999, registraron tendencia ascendente: pasaron de 10.3 a 10.9% (INEGI, 2003); a partir del año 2000 y hasta 2005, la

tendencia se invirtió a la baja hasta llegar a 7.7% (INEGI, 2006 y 2011d), para después incrementarse nuevamente en 2006 y 2007 hasta alcanzar, en este último año, 8.1%. Durante el periodo 2008-2011, aunque con



variaciones, se ha mantenido alrededor del 7%, lo cual sigue siendo un costo excesivamente alto para el desarrollo del país (Tabla 1.1; INEGI, 2013).

En la Tabla 1.2 se observa que la mayor parte de los CTADA se debe a los costos por degradación, que para 2011 representó el 4.9% respecto del PIB, siendo su principal componente los costos asociados a la contaminación del aire (3.62%). Por su parte, los costos por agotamiento fueron de 2%, del cual los hidrocarburos representaron la mayor parte (1.68%), quedando el 0.32% restante distribuido entre los otros componentes (Tabla 1.2).

Si los CTADA se comparan con el gasto del gobierno en protección ambiental (Tabla 1.3), es evidente el desbalance entre lo que se pierde en términos del capital natural del país y lo que se invierte en su protección y recuperación, aún a pesar del incremento en el gasto en protección ambiental que se ha erogado en el periodo 2007-2011. En 2007 se invirtieron 81.58 miles de millones de pesos (que representaron 8.1% de los CTADA de ese año), alcanzando 125.77 miles de millones de pesos para 2011 (12.78% de los CTADA; Tabla 1.3). A pesar de la tendencia a la alza,

el gasto en protección ambiental sigue siendo menor a los costos generados por degradación y agotamiento de los recursos naturales, por lo cual se hace evidente la necesidad de reducir los costos ambientales asociados al desarrollo del país.

En 2011, poco más de la mitad de los gastos en protección ambiental (51.2%) se destinó a las actividades de remediación (p. e., la captación y tratamiento de aguas residuales, la recolección y el tratamiento de residuos sólidos urbanos, y para el control, abatimiento y mitigación de la contaminación atmosférica), seguidos por las actividades de administración en protección ambiental (19.7%), las actividades de prevención (17.1%; p. e., protección a la biodiversidad, educación ambiental y ahorro de agua y energía) y las de investigación y desarrollo en ecología (12%; INEGI, 2013).

## ACTIVIDADES HUMANAS Y AMBIENTE

Aunque la biomasa de la población humana es pequeña comparada con la biomasa del total de heterótrofos que habitan el planeta, es la principal consumidora de sus recursos naturales. La apropiación humana

**Porcentaje de los costos por agotamiento y degradación con respecto al PIB**

**Tabla 1.2**

Año	Agotamiento				Degradación					Costos totales por agotamiento y degradación ambiental (CTADA)
	Hidrocarburos	Recursos forestales	Agua subterránea	Total por agotamiento	Degradación del suelo	Residuos sólidos	Contaminación del agua	Contaminación atmosférica	Total por degradación	
2007	2.3	0.22	0.25	2.76	0.54	0.27	0.2	4.33	5.34	8.1
2008	0.87	0.17	0.22	1.26	0.57	0.3	0.32	4.08	5.27	6.52
2009	1.31	0.18	0.23	1.72	0.52	0.32	0.39	4.08	5.31	7.02
2010	1.2	0.13	0.21	1.54	0.52	0.31	0.41	3.9	5.15	6.69
2011	1.68	0.12	0.19	2	0.48	0.3	0.45	3.62	4.86	6.86

**Fuente:**

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2007-2011. Año Base 2003. México. 2013.

Año	Producto Interno Bruto (PIB) a precios de mercado <sup>1</sup>	Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA) <sup>1</sup>	Gastos en Protección Ambiental (GPA) <sup>1</sup>	GPA/CTADA (Porcentaje)
2007	11 290.75	914.62	81.58	8.91
2008	12 153.44	792.93	94.45	11.91
2009	11 893.25	835.15	119.2	14.27
2010	13 029.10	871.86	125.6	14.4
2011	14 351.49	983.89	125.77	12.78

**Nota:**

<sup>1</sup> En miles de millones de pesos a precios corrientes.

**Fuente:**

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2007-2011. Año Base 2003. México. 2013.

de la productividad primaria neta terrestre mundial se estima en 23.8% (Haberl et al., 2007); de la productividad de la plataforma oceánica, 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, en los últimos 50 años la humanidad ha transformado 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 (MEA, 2005). Indiscutiblemente, esto ha generado ganancias sustanciales netas en el bienestar humano y el desarrollo económico, pero también ha tenido consecuencias negativas ambientales que no están incluidas en el costo de producción. Por ejemplo, en la agricultura tecnificada, el valor de los alimentos no incluye los daños generados por su producción fuera de las zonas de cultivo, como son la eutrofización de los cuerpos de agua (provocada por la lixiviación de los fertilizantes y agroquímicos) o, en el

caso del sector transporte, los problemas de salud asociados a las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y demás contaminantes no incluidos en el precio de los combustibles.

Una de las formas en las que se ha evaluado la presión humana sobre el ambiente es a través de la llamada huella ecológica. Este indicador se puede interpretar como la demanda humana sobre los ecosistemas en términos de la superficie utilizada para la producción 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 (WWF, 2012). La huella ecológica de un individuo, de un país o mundial es la suma de la superficie, medida en hectáreas globales<sup>11</sup>, utilizada por cada uno de estos componentes. La huella ecológica no incluye el consumo de agua dulce porque su demanda y uso no se pueden expresar en términos de hectáreas globales; no obstante, actualmente se calcula, a través de una propuesta similar llamada “huella hídrica” (ver el capítulo de [Agua](#)).

<sup>11</sup> Se define como una hectárea con la capacidad biológica para producir recursos y absorber desechos sin importar el país donde se encuentre o si está ocupada por cualquier ecosistema o por hielos perpetuos.

La diferencia en hectáreas globales entre la huella ecológica y la biocapacidad<sup>12</sup> de un país denota la existencia de una deuda o un crédito ecológico de sus recursos naturales. En 2008<sup>13</sup>, la huella ecológica de la humanidad fue de 18 200 millones de hectáreas globales, lo que representa una huella ecológica per cápita de 2.7 hectáreas globales (WWF, 2012). Si este valor se compara con la biocapacidad del planeta, que en ese mismo año fue de 12 000 millones de hectáreas globales, o 1.78 hectáreas globales por persona, es evidente que, según este indicador, ya se sobrepasó en casi 50% la capacidad del planeta para mantener a la humanidad de forma sustentable. En otros términos, sería equivalente a decir que para el año 2008 la sociedad mundial necesitaba 1.5 planetas Tierra para mantener sus patrones de consumo actuales, o que la sobreexplotación de los recursos planetarios alcanzaba el 50%, lo que muestra claramente condiciones de no sustentabilidad. De acuerdo con el Informe Planeta Vivo 2012 (WWF, 2012), si se continúa con el ritmo actual en el uso de los recursos, para el año 2050 la humanidad necesitará 2.9 planetas para poder cubrir sus necesidades.

La huella ecológica per cápita varía notablemente entre países y regiones. Esto se debe principalmente al tamaño poblacional, los patrones de consumo, la eficiencia (o ineficiencia) de los procesos productivos (tanto en el uso de los recursos como en las emisiones y residuos que producen) y a la disponibilidad y condiciones de los territorios. A nivel regional, Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México) tiene la huella ecológica más grande del mundo (6.2 ha globales por persona), que contrasta con las 4.1 ha globales de su biocapacidad, lo que le da un déficit de 2.1 ha globales por persona. Le sigue la Unión Europea, con una huella ecológica de 4.7 y biocapacidad de 2.2, lo que hace que su déficit por persona (2.5 ha globales por persona) sea mayor al de la región norteamericana.

La región con la menor huella ecológica es África, con 1.4 ha globales por persona y una biocapacidad de 1.5, con lo cual se coloca a tan sólo 0.1 ha globales para cubrir su biocapacidad. Sudamérica tiene una huella ecológica de 2.7 ha globales por persona, sin embargo, tiene la mayor biocapacidad a nivel regional del mundo (7.4 ha globales por persona), por lo cual se considera que cada habitante de la región tiene 4.7 ha globales de reserva.

En México, cada habitante tiene un déficit ecológico de 1.9 hectáreas globales, ya que nuestra huella estimada es de 3.3 hectáreas y la biocapacidad de 1.4 ha globales por persona. La huella ecológica de México en 2008 ocupó el lugar 49 dentro de los países que tienen más de un millón de habitantes (WWF, 2012; ver Recuadro *La huella ecológica de México*).

En 2008, 100 países registraban déficit ecológico (Mapa 1.8). Dentro de este grupo se encontraban 32 países con alto ingreso (más de 10 mil dólares de PIB per cápita anual en ese mismo año; como referencia, el valor para México fue de 9 843.4<sup>14</sup>), pero también países con un desarrollo económico bajo con menos de mil dólares de PIB per cápita anual (El Banco Mundial, 2012). Esto sugiere que el uso inadecuado de los recursos naturales no está asociado necesariamente con el nivel económico de los países.

La relación entre el IDH y la huella ecológica muestra que, en términos generales, los países con IDH alto (dato más reciente a 2011) tienen huellas ecológicas por arriba de la biocapacidad promedio mundial (1.8 ha globales por persona en 2008), es decir, tienen déficit ecológico, lo que significa que su desarrollo económico y social no se refleja en un manejo sustentable de sus recursos naturales (Figura 1.13). México se encuentra en esta situación, con una huella ecológica de 3.3 e IDH de 0.8225 (valor reportado por el último informe nacional, PNUD-México,

<sup>12</sup> La 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.

<sup>13</sup> Datos más recientes disponibles publicados por la WWF en el Informe Planeta Vivo 2012.

<sup>14</sup> Dólares a pesos actuales (El Banco Mundial. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/>. Fecha de consulta: mayo de 2012).

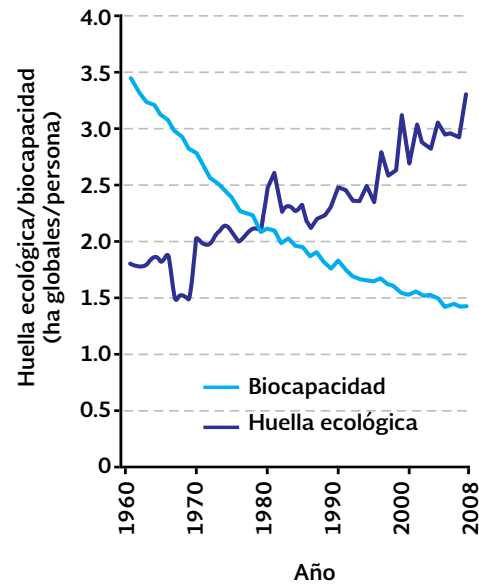
El mal uso de los recursos naturales a nivel mundial se refleja claramente en el aumento de la huella ecológica de los países, situación a la que México no ha sido ajeno. Mientras que en 1961 la huella ecológica estimada para nuestro país era de 1.7 hectáreas globales por persona, para 2008 había crecido hasta alcanzar un valor de 3.3; en el mismo periodo, su biocapacidad descendió de 3.4 a 1.42 hectáreas globales por persona (Figura a). Esto significa que, en 47 años, cada mexicano pasó de tener un crédito ecológico de 1.6 hectáreas globales a un déficit de 1.9 hectáreas globales (es decir, 0.5 hectáreas globales más de las que nos correspondía a cada habitante en 2008).

De los componentes de la huella ecológica nacional, la superficie que ha tenido el mayor incremento es la requerida para absorber el CO<sub>2</sub> producto de la quema de los combustibles fósiles: mientras que en 1961 era de 0.07 hectáreas globales por persona, en 2008 se incrementó a 1.7 hectáreas globales por persona, lo que representa el 51.5% de la huella ecológica de un mexicano promedio (3.3 hectáreas globales por persona; Figura b).

A la fecha no se ha calculado la huella ecológica de todas las ciudades mexicanas, pero es de esperar que también sea grande. Algunas de las que cuentan con una evaluación de este tipo son Xalapa, en Veracruz, cuya huella ecológica por habitante se calculó en 2.9 hectáreas globales; en Jalisco, la huella ecológica promedio de las zonas urbanas de Cabo Corrientes, Tomatlán y

### Huella ecológica y biocapacidad en México, 1961 - 2008

Figura a



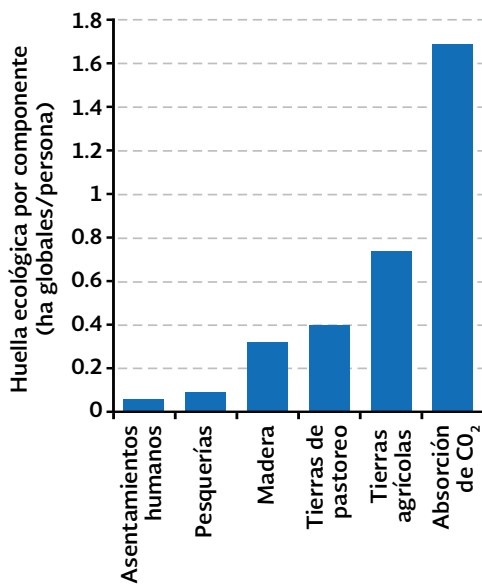
## Fuente:

Global Footprint Network. *Footprint for Nations*. Disponible en: [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org). Fecha de consulta: mayo de 2012.

Puerto Vallarta se calculó en 2.75, con un déficit ecológico de 0.80 hectáreas globales por persona. Para el caso de las zonas rurales de este estado, la huella ecológica por persona se calculó en 2.38 hectáreas globales, con un déficit de 0.38. El mismo estudio detectó diferencias entre la huella ecológica de los visitantes de Puerto Vallarta: para los turistas nacionales, 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).

### Huella ecológica por componente en México, 2008

Figura b



## Fuente:

WWF. Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. Base electrónica de datos. Disponible en: [www.footprintnetwork.org/](http://www.footprintnetwork.org/). Fecha de consulta: mayo de 2012.

## Referencias:

Chávez-Dagostino, R.S., J.L. Cifuentes-Lemus, E., Andrade-Romo, R. Espinoza-Sánchez, B.M. Massam y J. Everitt. Huellas ecológicas y sustentabilidad en la costa norte de Jalisco, México. *Teoría y Praxis* 5: 137-144. 2008. Disponible en: [www.teoriaypraxis.uqroo.mx](http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx).

Global Footprint Network. *Footprint for nations. México 1961-2008*. Disponible en: [www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint\\_for\\_nations/](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_for_nations/). Fecha de consulta: mayo de 2012.

Nieto Caraveo, L.M. *La huella ecológica. ¿Qué tantos recursos naturales tenemos? ¿Qué tantos recursos naturales usamos?* Disponible en: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC-AP990325.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2012.

WWF. *Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro*. Base electrónica de datos. Disponible en: [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org). Fecha de consulta: mayo de 2012.

2011)<sup>15</sup>. Los casos más extremos son Qatar y Kuwait, que tienen las huellas ecológicas más grandes del mundo (11.7 y 9.7 hectáreas globales por persona, respectivamente). El primero se encuentra dentro del grupo de países con mayor IDH (0.831) y el segundo, en el grupo de IDH medio (0.76). En el otro lado se encuentran los países cuya huella ecológica está por debajo de la disponibilidad promedio mundial (es decir, tienen crédito ecológico) pero su IDH es bajo, como es el caso de muchas naciones del África subsahariana. Existe un grupo de países que tiene un IDH alto (Noruega, Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Suecia,

Finlandia, Estonia, Letonia y Chile) y que aún no han excedido la biocapacidad de su territorio; sin embargo, en todos los casos, su huella ecológica es mayor que la promedio mundial. Esto sugiere que el bienestar de la población de estos países podría estar basado no sólo en la explotación de sus propios recursos, sino también en la importación de productos que se originan en otras partes del mundo y que no se contabilizan dentro de sus propias huellas ecológicas. Con los datos reportados, no existe país en el mundo que tenga un IDH alto y se encuentre por debajo de la huella ecológica promedio mundial (Figura 1.13).

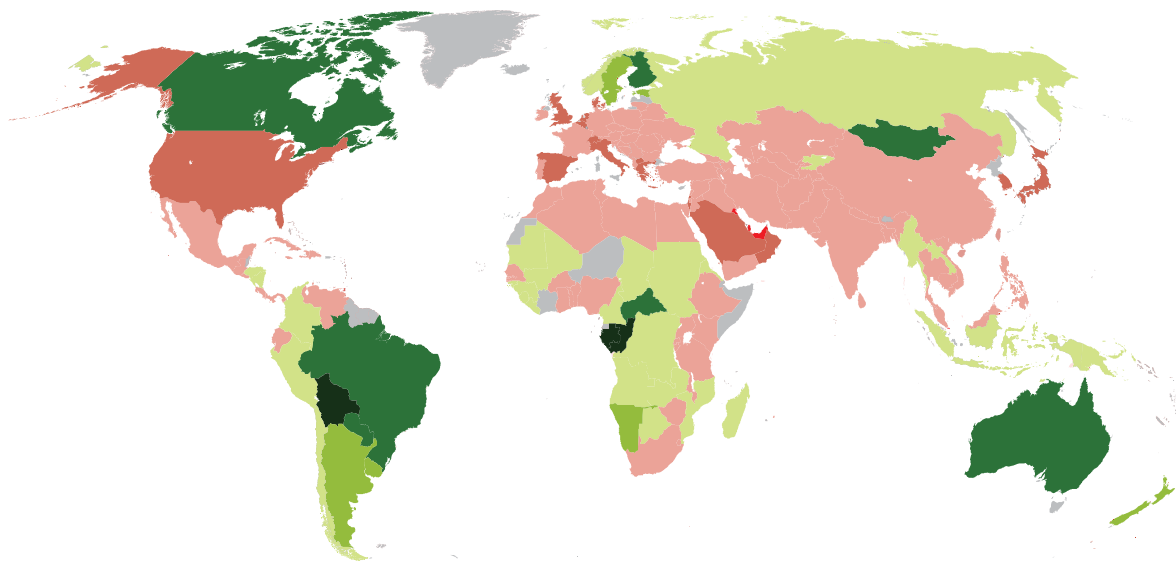
<sup>15</sup> Es importante mencionar que si se emplea el valor de IDH del año 2011 publicado en el reporte internacional, México se encuentra en el grupo de países de IDH medio (0.77; PNUD, 2011).

El tema de sustentabilidad ambiental ha tomado tal importancia en la agenda internacional, que dentro de la iniciativa de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) creada en el año 2000 y firmada por 189 países, incluido México, se estableció explícitamente dentro del Objetivo 7, que es necesario incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y revertir la pérdida de recursos del medio ambiente. En esta iniciativa, la sustentabilidad ambiental se encuentra en el mismo nivel de importancia de los otros siete objetivos relacionados con salud, educación e igualdad de las personas. Aunque en la propuesta

original de los ODM, las metas relacionadas con el tema ambiental eran muy generales, en el año 2007 se propuso una ampliación que incluía temáticas como el cambio climático (a través de las emisiones de gases de efecto invernadero) y la protección de la biodiversidad (p. e., especies amenazadas o en riesgo de extinción). Esto muestra el reconocimiento de la importancia del componente ambiental como uno de los pilares del desarrollo de las sociedades. De hecho, se reconoce que la posibilidad de cumplir algunos de los objetivos sociales (por ejemplo, la reducción de algunas enfermedades) requiere de un ambiente no deteriorado (ONU, 2008).

## Huella ecológica en el mundo, 2008

Mapa 1.8



### Déficit o crédito ecológico (hectáreas globales por persona)

#### Déficit<sup>1</sup>

0.01 - 2.9    3 - 5.9    >6

#### Crédito<sup>2</sup>

0.01 - 2.9    3 - 5.9    6 - 9.9    >10

Datos insuficientes

#### Notas:

<sup>1</sup> Déficit: huella ecológica mayor en relación a su biocapacidad.

<sup>2</sup> Crédito: biocapacidad mayor en relación a su huella ecológica.

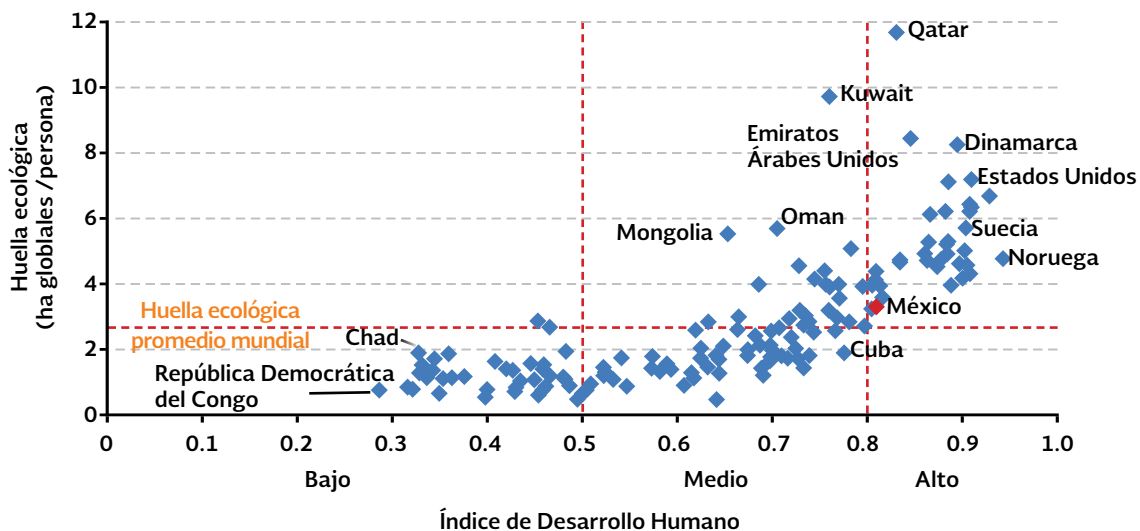
#### Fuente:

Elaboración propia con datos de:

WWF. *Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro.* WWF, Global Footprint Network, ZSL Living Conservation. 2012.

## Relación entre el Índice de Desarrollo Humano (2011) y la huella ecológica (2008) para algunos países del mundo

Figura 1.13



### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
PNUD. Informe sobre desarrollo humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos. PNUD. Nueva York. 2011.  
WWF. Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. WWF, Global Footprint Network, ZLS-Living Conservation. 2012.

## REFERENCIAS

Caldwell, J.C. y T. Schindimayr. Historical population estimates: unraveling the consensus. *Population and Development Review* 28: 183-204. 2002.

Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. *Sección Preguntas frecuentes*. Disponible en: [www.cdi.gob.mx](http://www.cdi.gob.mx). Fecha de consulta: mayo de 2012.

CDI y PNUD. *Regiones indígenas de México*. México. 2006.

Cenapred, SEGOB. *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009*. Documento preliminar. Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana. No. 11. México. 2010.

Cenapred, SEGOB. Atlas Nacional de Riesgos. *Base de datos sobre declaratorias de emergencia, de desastre y contingencia climatológica* (Actualizada al 10 de octubre de 2011). Disponible en: [www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx](http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx). Fecha de consulta: febrero de 2012.

Conapo. *Índices de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. México. 2011. Disponible en: [www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx). Fecha de consulta: marzo de 2012.

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

Coneval. *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. México. 2010.

- Coneval. Comunicado de prensa No. 015. *Coneval presenta los resultados de la medición de pobreza 2010 para cada municipio del país*. México. 2011a.
- Coneval. *Medición de la pobreza en los municipios de México, 2010*. México. 2011b.
- Coneval. *Anexo estadístico de medición de la pobreza en los municipios de México, 2010*. México. 2011c. Disponible en: <http://web.coneval.gob.mx>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- Coneval. *Anexo estadístico de pobreza 2008-2010. Medición por ingresos*. 2012. Disponible en: [www.coneval.gob.mx](http://www.coneval.gob.mx). Fecha de consulta: mayo de 2012.
- Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México. Abril 2013.
- 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).
- El Banco Mundial. *Datos. Indicadores de Política Económica y Deuda*. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería a examen*. FAO. Roma. 2009.
- FAO. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Cómo gestionar los sistemas en peligro*. FAO. Roma. 2011.
- 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.
- IEA. *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights. 2012 Edition*. International Energy Agency. France. 2012.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 1996-2001*. México. 2003.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 1999-2004*. México. 2006.
- INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011a. Disponible en: [www.censo2010.org.mx](http://www.censo2010.org.mx). Fecha de consulta: marzo de 2012.
- INEGI. *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011b.
- INEGI. *Síntesis metodológica y conceptual de la infraestructura y características socioeconómicas de las localidades con menos de 5 mil habitantes del Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011c.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2005-2009*. México. 2011d.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2006-2010*. México. 2012.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2007-2011. Año Base 2003*. México. 2013.
- MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.



OECD. *OECD Factbook 2013: Economic, Environmental and Social Statistics*, OECD Publishing. 2013. Disponible en: [www.oecd.org/publications/factbook](http://www.oecd.org/publications/factbook). Fecha de consulta: febrero de 2013.

ONU. *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2008*. Nueva York. 2008. Disponible en: [www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG\\_Report\\_2008\\_SPANISH.pdf](http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2008_SPANISH.pdf).

Pauly, D. y V. Christensen. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257. 1995.

PNUD. *Informe sobre desarrollo humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2011.

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

PNUD-México. *Informe sobre desarrollo humano de los pueblos indígenas de México. El reto de la desigualdad de oportunidades*. PNUD y CDI. México. 2010.

PNUD-México. *Informe sobre desarrollo humano México 2011. Equidad del gasto público: derechos sociales universales con subsidios focalizados*. Producción Creativa. México. 2011.

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

Presidencia de la República. *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. México. 2007.

Sedesol, CONAPO e INEGI. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México. 2012.

Semarnat. *Programa de Pueblos Indígenas y Medio Ambiente 2007-2012*. México. 2009.

Sistema Nacional de Protección Civil, SEGOB. FONDEN. Preguntas frecuentes. Disponible en: [www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Preguntas\\_Frecuentes](http://www.proteccioncivil.gob.mx/en/ProteccionCivil/Preguntas_Frecuentes). Fecha de consulta: junio de 2012.

UN. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, Population Estimates and Projections Section. *World Population Prospect. The 2010 revision*. Online Database. Disponible en: [http://esa.un.org/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm). Fecha de consulta: agosto de 2012.

WWF. *Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro*. WWF, Global Footprint Network, ZSL Living Conservation. 2012.



The background is a solid teal color. It features a large, faint, stylized globe in the center, with continents and oceans represented by darker and lighter shades of teal. Overlaid on the globe are several large, stylized leaf shapes, also in various shades of teal, creating a layered, organic effect. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on natural elements.

# 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. Además de la enorme variedad de especies de plantas y animales, y de la importante diversidad genética que alberga, otra de sus características es la gran diversidad de comunidades vegetales que se encuentran en su territorio continental e insular. Éstas van desde las afines a las zonas alpinas, hasta las de dunas costeras y humedales, pasando por matorrales xerófilos, bosques templados, selvas, 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: las han provisto de multitud de bienes, como alimentos (carnes, frutos, verduras y condimentos), madera y leña para la construcción y para la obtención de energía, papel y fibras, entre muchos otros usos. Además, los ecosistemas ofrecen otros servicios ambientales menos conspicuos como son la purificación del aire y agua, la generación y conservación de los suelos, la descomposición de los desechos, el reciclaje y movimiento de nutrimentos, la protección de las costas ante la erosión del oleaje, la estabilización parcial del clima y el amortiguamiento de los efectos de los eventos meteorológicos extremos, por citar sólo algunos de los más importantes.

El 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. De acuerdo con el *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), para el año 2000, 42% de los bosques mundiales habían sido transformados, así como 18% de las zonas áridas y 17% de los ecosistemas insulares, principalmente a zonas de cultivos y potreros, o bien, abiertos para el establecimiento y desarrollo de poblados, ciudades y de infraestructura de caminos, eléctrica y de almacenamiento de agua.

México no ha sido la excepción en este proceso de degradación y pérdida de ecosistemas terrestres. Una importante proporción de su territorio se ha transformado en campos agrícolas, pastizales y zonas urbanas y de los ecosistemas que aún persisten muchos de ellos muestran en mayor o menor medida signos de alteraciones. En este capítulo se hace una descripción del estado actual de los ecosistemas terrestres nacionales, con particular énfasis en los procesos y factores que han promovido su transformación y alteración en las décadas recientes. Se ha incluido también una sección con los

aspectos relativos a su uso, principalmente en lo que se refiere a la explotación de productos forestales maderables y no maderables. El capítulo finaliza con una sección que aborda las respuestas gubernamentales encaminadas hacia la conservación de la cubierta vegetal natural remanente, así como aquéllas dirigidas hacia la recuperación y el uso sustentable de los recursos naturales que alberga.

## 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 le conoce como “uso del suelo”. Su evaluación más reciente en nuestro país corresponde a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (escala 1: 250 000), elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

y que describe la vegetación existente en el año 2007. Dado el alto número de tipos de vegetación y usos del suelo presentes en esta carta, su agregación con fines de análisis resulta indispensable. La agregación de los tipos de vegetación se puede realizar según distintos criterios, que van desde los que agrupan con base en su composición florística o su fisonomía, hasta los que emplean su utilidad desde el punto de vista forestal. Lo anterior repercute de manera importante en las estadísticas que se obtienen de su análisis y que inevitablemente impiden compararlas con las cifras obtenidas utilizando agrupaciones distintas. En la presente obra se clasificó a la vegetación siguiendo principalmente el criterio fisonómico, tal y como se muestra en la Tabla 2.1. Mayores detalles acerca de las características de los principales tipos de vegetación natural pueden consultarse en el Recuadro *La vegetación de México*.

**Uso del Suelo y Vegetación en México, 2007**

**Tabla 2.1**

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	1 841 777
Bosque templado	Bosque de ayarín	39 960
	Bosque de cedro	2 146
	Bosque de encino	11 238 348
	Bosque de encino-pino	4 311 767
	Bosque de oyamel	149 040
	Bosque de pino	7 604 304
	Bosque de pino-encino	8 619 508
	Bosque de táscate	334 636
	Matorral de coníferas	977
Selva húmeda	Selva alta perennifolia	3 315 380
	Selva alta subperennifolia	165 645
	Selva baja perennifolia	42 809

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)
Selva húmeda	Selva mediana subperennifolia	5 630 874
	Selva mediana perennifolia	636
Selva subhúmeda	Matorral subtropical	1 330 853
	Selva baja caducifolia	14 348 539
	Selva baja subcaducifolia	68 459
	Selva mediana caducifolia	1 052 492
	Selva mediana subcaducifolia	4 345 838
	Selva baja espinosa caducifolia	701 320
	Selva baja espinosa subperennifolia	1 099 144
Manglar	Manglar	945 840
Matorral xerófilo	Matorral crasicaule	1 546 897
	Matorral desértico micrófilo	21 269 873
	Matorral desértico rosetófilo	10 668 064
	Matorral espinoso tamaulipeco	3 401 961
	Matorral rosetófilo costero	472 360
	Matorral sarcocaule	5 288 166
	Matorral sarcocrasicaule	2 313 565
	Matorral sarcocrasicaule de neblina	566 380
	Matorral submontano	2 759 804
	Vegetación de desiertos arenosos	2 157 567
Otra vegetación hidrófila	Vegetación de galería	151 016
	Popal	130 542
	Tular	912 644
	Bosque de galería	22 642
	Selva de galería	4 384
	Petén	45 395
	Vegetación halófila hidrófila	380 100

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)
Pastizal natural	Pastizal	9 879 726
	Pradera de alta montaña	16 699
Vegetación halófila y gipsófila	Pastizal gipsófilo	41 428
	Pastizal halófilo	1 838 922
	Vegetación gipsófila	17 636
	Vegetación halófila	2 532 682
Otros tipos de vegetación	Chaparral	2 082 661
	Mezquital	2 402 937
	Bosque de mezquite	306 656
	Mezquital tropical	165 262
	Palmar natural	19 020
	Sabana	191 170
	Vegetación de dunas costeras	153 782
	Palmar inducido	95 776
Pastizal inducido o cultivado	Pastizal cultivado	12 838 760
	Pastizal inducido	6 051 571
	Sabanoide	129 450
Plantación forestal	Bosque cultivado	37 232
	Bosque inducido	4 504
Zonas urbanas o desprovistas de vegetación	Zona urbana	1 120 830
	Asentamientos humanos	476 746
	Área desprovista de vegetación	20 811
<b>Total</b>		<b>159 705 909</b>

**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007), escala 1: 250 000. México, 2011.

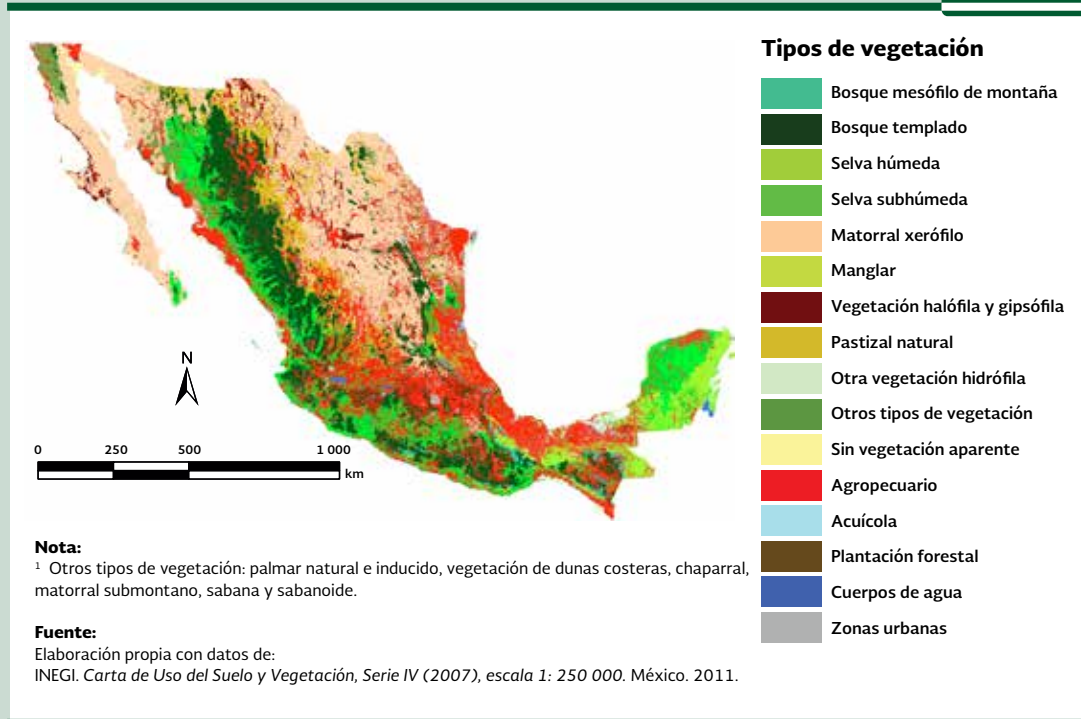
La vegetación de nuestro país es sumamente heterogénea. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) utiliza un sistema de clasificación jerárquica que considera en su nivel más alto a las formaciones vegetales, que son categorías caracterizadas principalmente por rasgos fisonómicos y ecológicos (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, sarcocaulé, 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 sarcocaulé, etc.). En esta publicación, siguiendo un criterio fisonómico de la

vegetación, los tipos más ampliamente distribuidos se han agregado en las siguientes categorías (Mapa a):

- **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. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. Esta vegetación se desarrolla en altitudes donde se forman bancos de

Vegetación y uso del suelo en México, 2007

Mapa a





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.

• **Bosque templado:** esta categoría incluye tres tipos de vegetación principales: en primer lugar, los bosques de coníferas dominados por árboles perennifolios donde sobresalen las coníferas: pinos (*Pinus*) y oyameles (*Abies*); 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. En segundo lugar destacan los bosques de encinos, dominados por árboles de hoja ancha, principalmente encinos (*Quercus*), la mayoría caducifolios. 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. Finalmente, se ha integrado también aquí a los bosques de coníferas y latifoliadas, en los cuales 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.

• **Selva húmeda:** incluye a las selvas perennifolias y subperennifolias, dominadas 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 subhúmeda:** agrupa a las selvas caducifolia y subcaducifolia, es una 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, las cuales la degradan fuertemente, por lo que es uno de los ecosistemas tropicales más amenazados del mundo.

- **Matorral xerófilo:** en esta categoría están incluidos un conjunto diverso y extenso de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales, crasicaulales, etc.), dominados por arbustos y típicos 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 natural:** vegetación dominada por herbáceas, principalmente gramíneas (pastos, zacates o graminoides) que se 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.

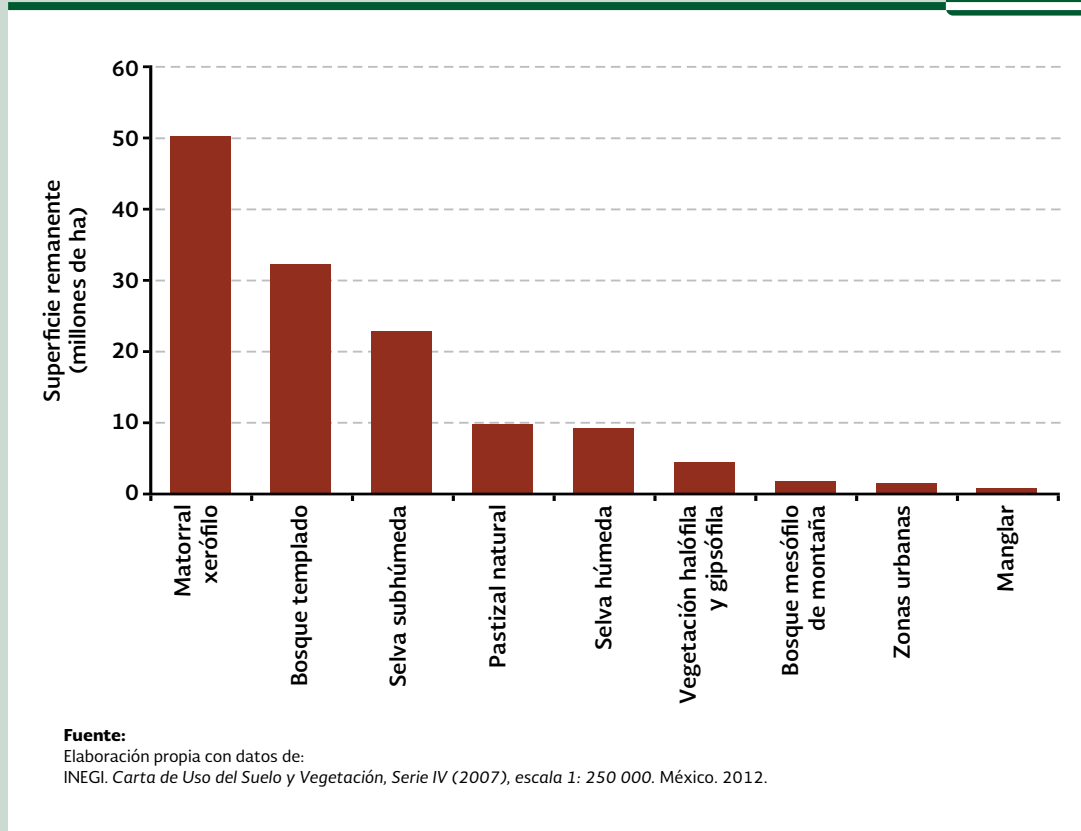
- **Vegetación halófila y gipsófila:** estos tipos de vegetación, de baja altura, se desarrollan en suelos de cuencas cerradas con altos contenidos de sales y yeso, respectivamente. Predominan los pastos rizomatosos (dominando las especies de las familias Poaceae y Chenopodiaceae) y su cubierta arbustiva es, por lo general, escasa. Esta vegetación es usada en muchas zonas del país como alimento para el ganado, y en algunos casos, después de ser drenados, pueden ser empleados en agricultura de riego.

- **Manglar:** esta comunidad es dominada por elementos arbóreos como el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle salado (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Sus adaptaciones al agua salobre, sin ser necesariamente plantas halófitas, les permiten estar en las desembocaduras de los ríos y lagunas costeras. Además de ser fuente de taninos para la industria de la piel, este tipo de vegetación es importante como zona de reproducción y crecimiento de muchas especies de importancia pesquera.

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

Vegetación natural remanente en México, 2007

Figura a



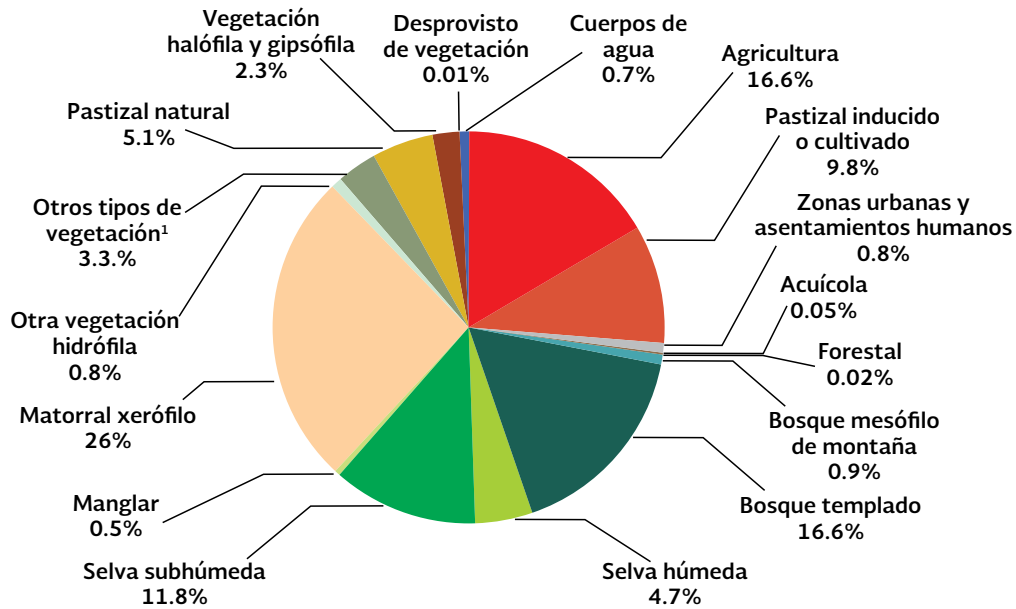
**Referencia:**

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

De acuerdo con la Serie IV, en el 2007 el 71.8% del país (alrededor de 140 millones de ha) estaba cubierto por comunidades naturales; la superficie restante, poco más de 56 millones de hectáreas (alrededor del 28% del territorio), había sido convertida a terrenos agropecuarios, urbanos y otras cubiertas antrópicas. En ese mismo año, los matorrales fueron la formación predominante (36% de la superficie natural remanente, lo que equivale a cerca del 26% del territorio), mientras que los bosques (tanto

templados como mesófilos de montaña) y las selvas (húmedas y subhúmedas) ocuparon, en conjunto, cerca del 34% del territorio (34 y 32 millones de ha, respectivamente; Figura 2.1).

Los estados con la mayor proporción de su superficie cubierta por vegetación natural (sin considerar su grado de conservación) fueron Baja California Sur (97%), Quintana Roo (93%), Coahuila (92%), Baja California (91%), Chihuahua (88%) y Sonora (87%; Mapa 2.1).

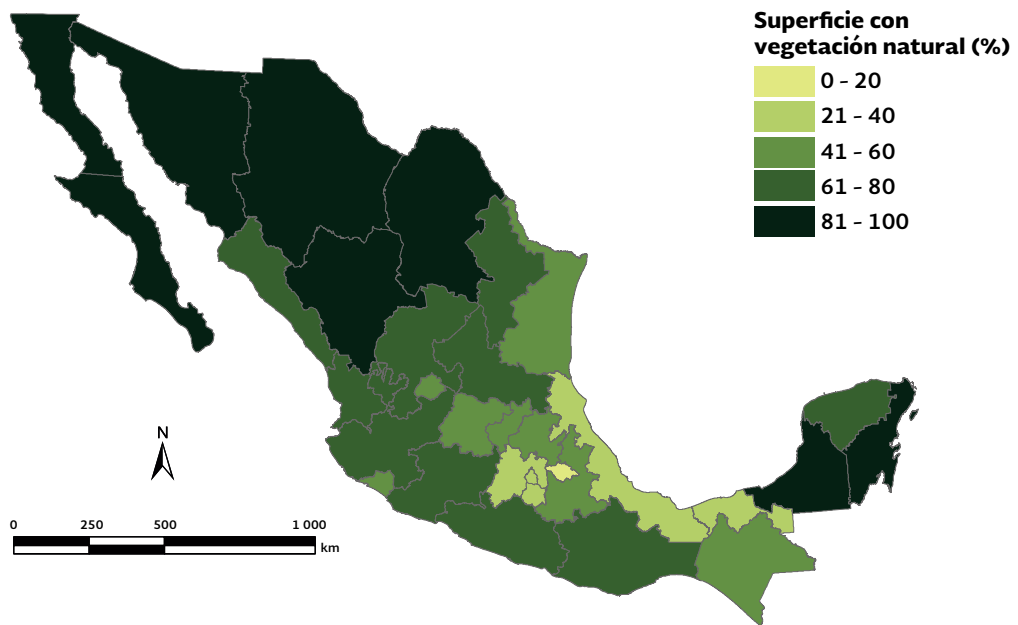


**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye: chaparral, mezquital, bosque de mezquite, mezquital tropical, palmar natural, sabana, vegetación de dunas costeras y palmar inducido.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

En contraste, en Tlaxcala (19%), Veracruz (22%), Distrito Federal (28%), Tabasco (34%), México (36%) y Morelos (38%), la vegetación natural cubría menos del 40% de su superficie.

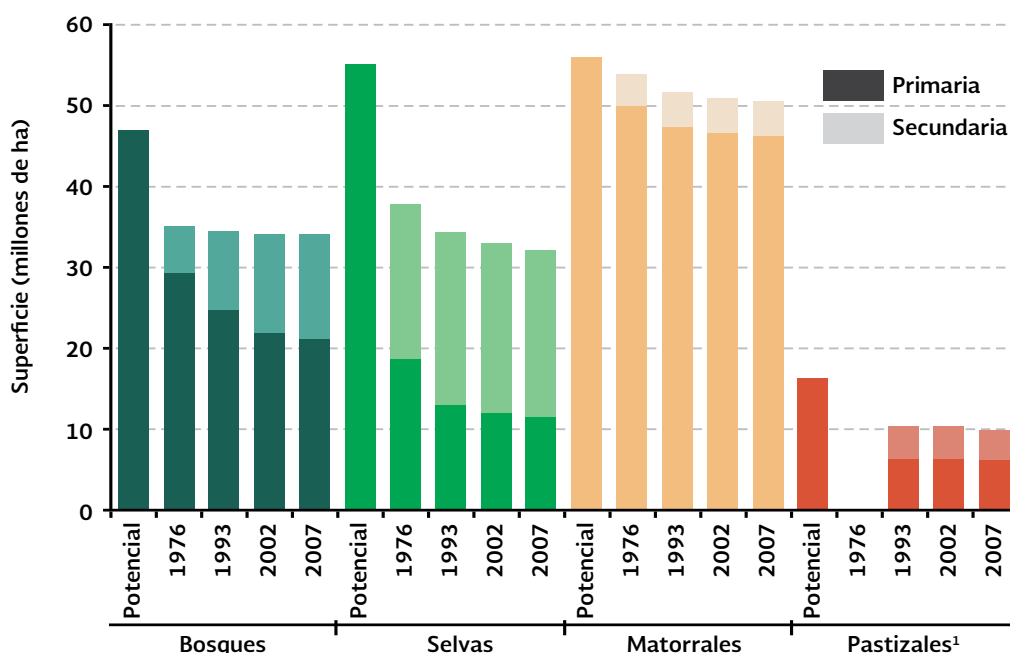
Sin embargo, en el año 2007 no toda la vegetación natural remanente se encontraba en buen estado de conservación, sólo el 69.5% (equivalente al 49.5% del territorio) conservaba el estado primario. Esta condición corresponde a la vegetación en la que permanecen la mayoría de las especies del ecosistema original, los procesos ecológicos no han sido alterados significativamente, no presenta perturbación considerable y es, en principio, la de mayor importancia por su

biodiversidad y por su provisión de servicios ambientales.

En 2007, las selvas fueron la formación vegetal más afectada por la degradación, pues tan sólo alrededor del 36% de su superficie (11.5 millones de ha) correspondía a selva primaria (Figura 2.2, Mapas 2.2 y 2.3). En el caso de los bosques, en ese mismo año el 62% de su superficie (poco más de 21 millones de ha) permanecía como primaria; a manera de comparación, en el mundo en 2010, 36% de los bosques<sup>1</sup> existentes eran primarios (FAO, 2010). La formación vegetal con menor superficie degradada en el país en 2007 correspondió a los matorrales xerófilos,

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

**Figura 2.2**



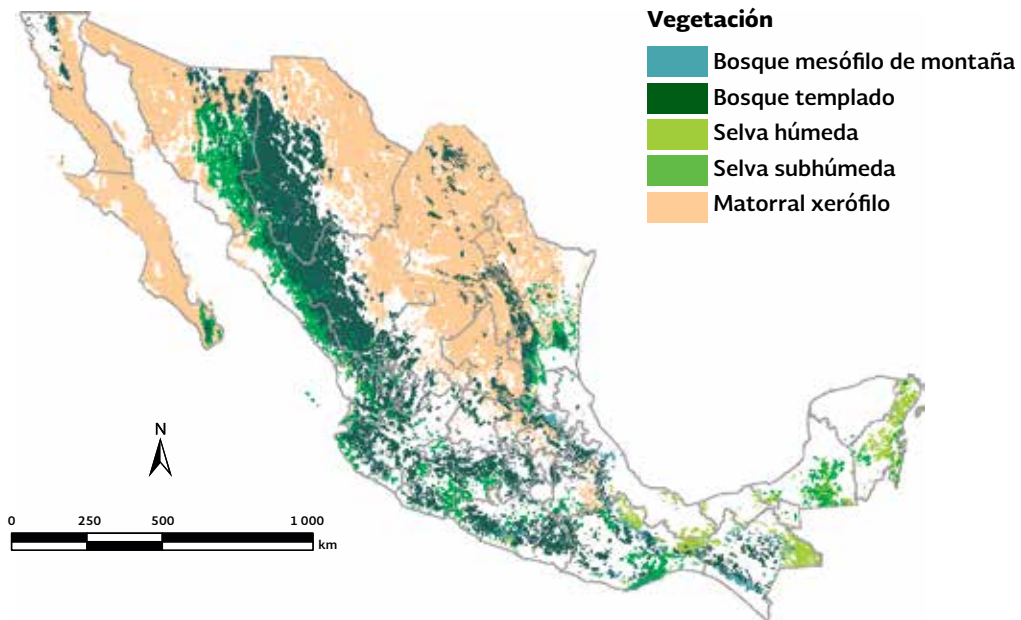
**Nota:**

<sup>1</sup> La superficie de pastizales de 1976 no se muestra por encontrarse agregada con otros tipos de vegetación en la fuente original.

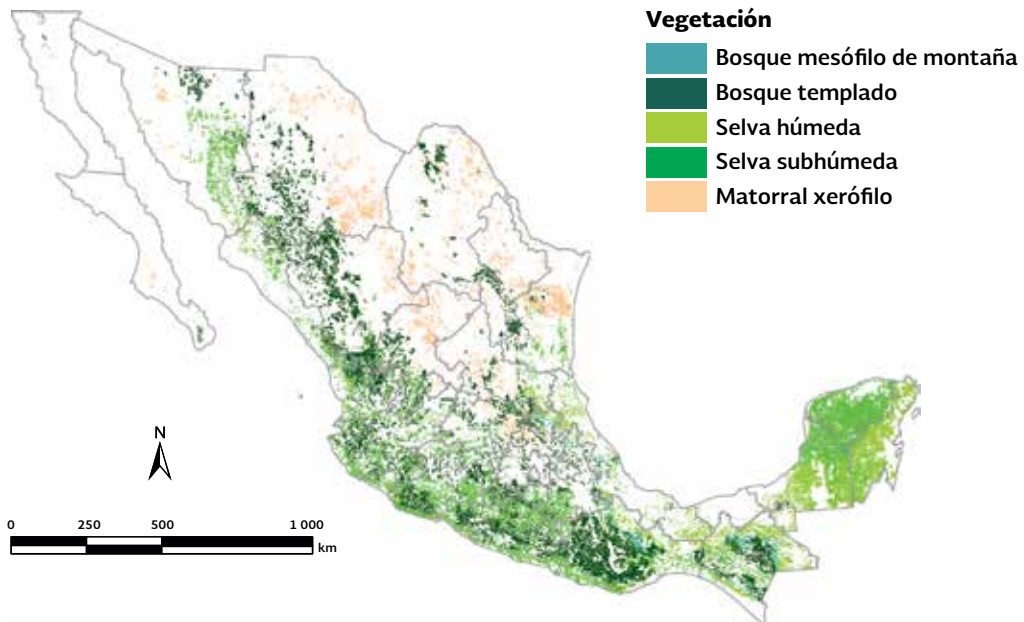
**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1: 250 000. México. 2004.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (*Continuo Nacional*). México. 2005.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

<sup>1</sup> Para 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* (FAO, 2010). 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.



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

la cual se calcula en alrededor del 8.5% de su superficie remanente (4.3 millones de ha), aunque podría ser mayor puesto que muchos matorrales están sujetos a la ganadería extensiva y resulta difícil identificar su grado de deterioro sin un muestreo de campo extensivo que lo documente.

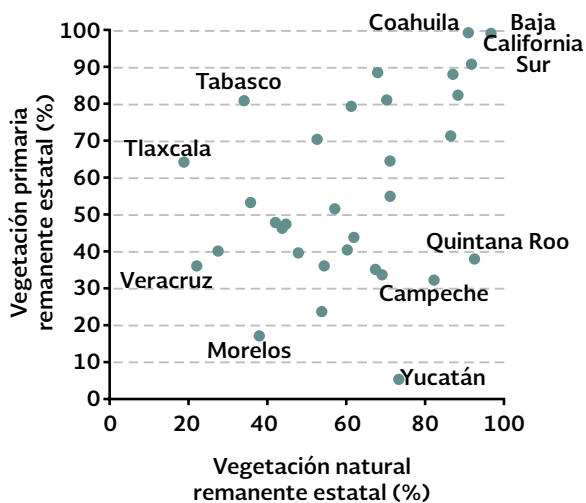
En general, los estados que conservan una alta proporción de su cubierta natural lo hacen con un importante porcentaje de vegetación primaria. Por ejemplo, cerca del 99% de la vegetación natural remanente de Baja California Sur, que cubre alrededor del 97% del estado, es primaria (Figura 2.3). Sin embargo, se observan excepciones a esta tendencia: existen estados con grandes superficies de vegetación natural remanente en condición secundaria, por ejemplo, Quintana Roo (con sólo 38% de su vegetación primaria), Campeche (32%) y Yucatán (5.4%). Por el contrario, Tlaxcala y Tabasco conservan altos porcentajes de vegetación primaria (64

y 81%, respectivamente) a pesar de su muy disminuida cubierta natural remanente (18 y 34% de sus superficies, respectivamente).

En lo que respecta a los sistemas productivos, según la Serie IV, las tierras agrícolas y los pastizales cultivados e inducidos (estos últimos empleados en la ganadería) cubrían en 2007 poco más de 51 millones de hectáreas, es decir, alrededor del 26% del territorio. De esa superficie, 63% correspondía a terrenos agrícolas y el restante 37% a pastizales inducidos y cultivados. Los estados que han transformado una mayor superficie de sus ecosistemas para dedicarlos a actividades agrícolas y pecuarias son los ubicados en la costa del Golfo de México y el centro del país: Tlaxcala (cerca del 80% de su superficie), Veracruz (77%) y Tabasco (65%; Mapa 2.4). Por el contrario, los estados con menores superficies agropecuarias eran Baja California Sur (poco menos del 3%), Quintana Roo (6%), Coahuila y Baja California (cada uno con cerca del 8%).

**Relación entre la vegetación natural remanente estatal y su estado de conservación, 2007**

**Figura 2.3**

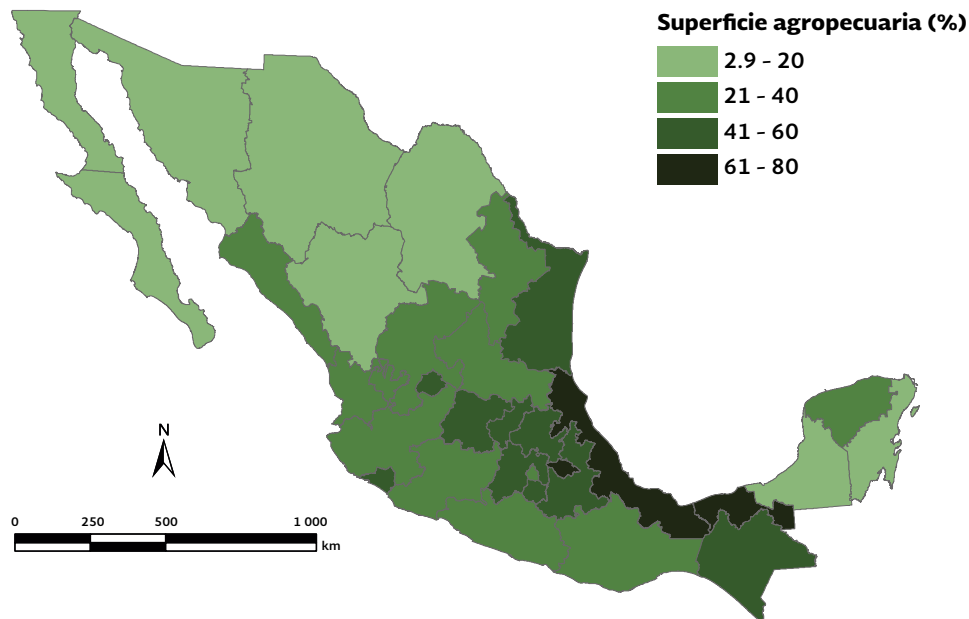


**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007), escala 1: 250 000. México. 2011.

**CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO**

En los últimos 50 años, los seres humanos hemos transformado los ecosistemas del mundo más rápida y extensamente que en ningún otro periodo de la historia (ver los Recuadros *La transformación y pérdida de los ecosistemas terrestres mundiales* en la Edición 2008 del Informe y *La vegetación natural y el crecimiento carretero*). Baste decir que también han sido la causa de la liberación a la atmósfera de una gran cantidad de gases de efecto invernadero, lo cual exacerba el problema del cambio climático (ver el Recuadro *Deforestación y emisiones de GEI*).

Estas rápidas y profundas transformaciones, con efectos en ciertos casos aún desconocidos, han impactado procesos ambientales locales, regionales y globales, acelerando la pérdida de la biodiversidad y provocando la pérdida o el deterioro de muchos servicios ambientales

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México, 2011.

como la disponibilidad del agua, la regulación del clima y la regulación de los ciclos biogeoquímicos, entre otros.

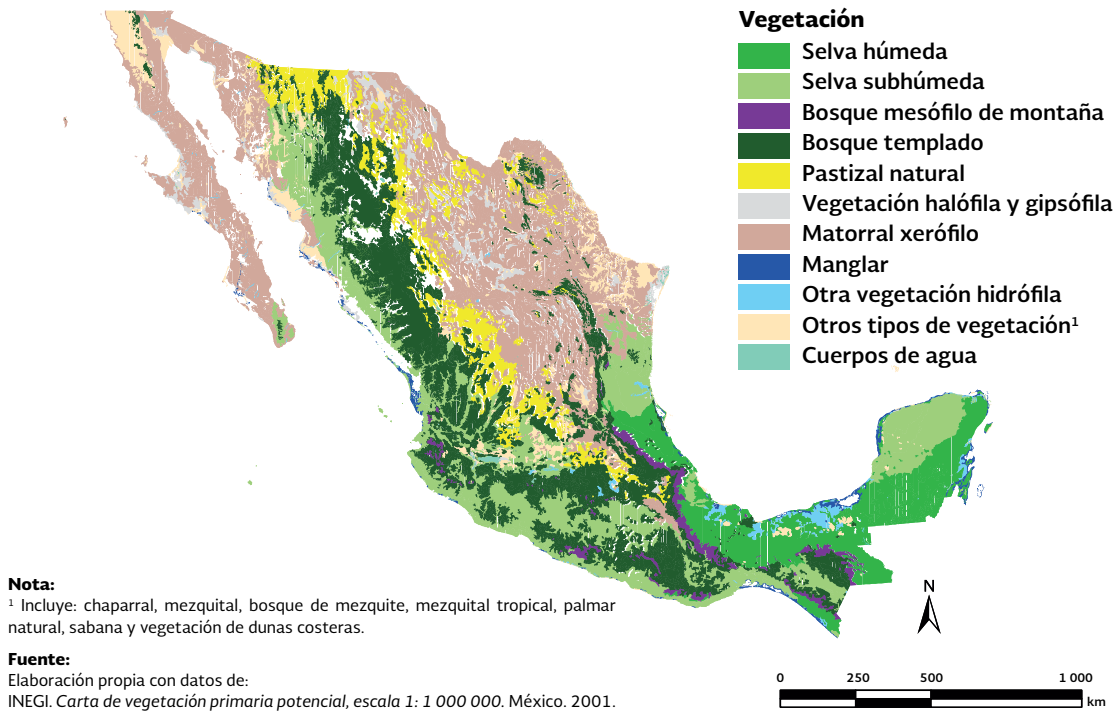
En México se han elaborado inventarios de los diferentes usos del suelo desde hace aproximadamente 40 años. Sin embargo, no son comparables debido a que han utilizado diferentes fuentes de información (p. e., mapas en papel, fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.), herramientas tecnológicas (p. e., cartas digitales, sistemas de información geográfica, etc.) y/o clasificaciones de los usos del suelo. No obstante, aunque las estimaciones cuantitativas no son tan precisas como sería deseable y deben 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 Series I, II, III y IV, a escala 1: 250 000, elaboradas por el INEGI. La Serie I se basa

en la interpretación de fotografías aéreas en su mayoría de los años 70, mientras que las Series II, III y IV se crearon a partir de imágenes de satélite registradas en 1993, 2002 y 2007, 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.

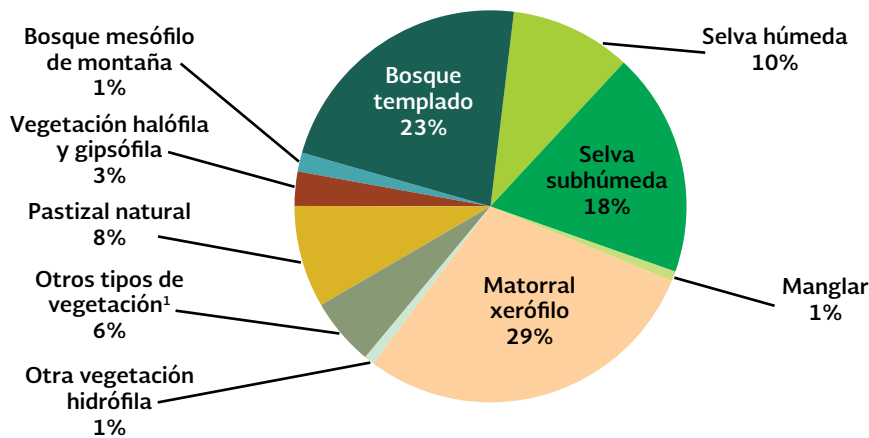
De acuerdo a la Carta de Vegetación Primaria Potencial (Mapa 2.5), los matorrales ocuparon 29% del territorio, seguidos por las selvas (28%) y los bosques (24%; Figura 2.4). Para los años setenta (según la Serie I) se mantenía tan sólo el 75% de la superficie original de bosques y, en el caso de las selvas, la cifra era del 69% (Figura 2.2). Cerca de treinta años después, en 2007, se conservaba el 73% de la superficie original de bosques, 58% de las selvas, 90% de los matorrales y el 61% de los pastizales, lo





Vegetación primaria potencial en México

Figura 2.4



**Nota:**  
<sup>1</sup> Incluye: chaparral, mezquital, bosque de mezquite, mezquital tropical, palmar natural, sabana y vegetación de dunas costeras.

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

que representa una pérdida neta de poco más de 23 millones de hectáreas de selvas, casi 13 millones de bosques, 5.5 millones de matorrales y cerca de 6.4 millones de pastizales. Aun cuando la mayor parte de

estas transformaciones ocurrieron antes de los años setenta, en las últimas décadas se registran aún pérdidas importantes (mayores a las 100 mil ha anuales), particularmente en el caso de selvas y matorrales (Tabla 2.2).

**Uso del Suelo y Vegetación en México: vegetación potencial, 1976<sup>1</sup>, 1993, 2002 y 2007**

**Tabla 2.2**

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)				
		Potencial	Año			
			1976	1993	2002	2007
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	3 088 256	1 838 523	1 813 946	1 825 209	1 841 777
Bosque templado	Bosque de ayarín	37 863	25 739	40 045	40 008	39 960
	Bosque de cedro	868	2 501	2 521	2 314	2 146
	Bosque de encino	16 544 438	10 926 831	11 394 691	11 249 497	11 238 348
	Bosque de encino-pino	5 644 967	4 026 438	4 322 085	4 306 491	4 311 767
	Bosque de oyamel	402 462	164 848	147 520	142 269	149 040
	Bosque de pino	10 310 430	7 575 650	7 538 064	7 453 237	7 604 304
	Bosque de pino-encino	10 634 315	8 808 362	8 939 085	8 812 550	8 619 508
	Bosque de táscate	378 835	343 836	326 416	333 895	334 636
	Matorral de coníferas	1 445	70	911	975	977
	Bosque bajo abierto	-	1 349 348	-	-	-
Selva húmeda	Selva alta perennifolia	9 833 140	4 582 495	3 830 625	3 440 924	3 315 380
	Selva alta subperennifolia	100 035	149 132	176 189	160 883	165 645
	Selva baja perennifolia	78 306	61 535	55 980	46 774	42 809
	Selva baja subperennifolia	1 432 078	1 408 285	-	11 456	-
	Selva mediana subperennifolia	7 811 775	6 480 234	5 847 411	5 807 647	5 630 874
	Selva mediana perennifolia	-	1 528	1 098	636	636
Selva subhúmeda	Matorral subtropical	3 787 854	2 825 997	1 355 489	1 349 322	1 330 853
	Selva baja caducifolia	20 540 764	16 412 025	15 465 672	14 503 777	14 348 539
	Selva baja espinosa	4 292 140	895 062	-	-	-
	Selva baja subcaducifolia	49 666	69 949	74 511	70 770	68 459
	Selva mediana caducifolia	975 425	120 931	1 108 817	1 109 641	1 052 492
	Selva mediana subcaducifolia	6 224 708	4 765 127	4 609 236	4 661 554	4 345 838
	Selva baja espinosa caducifolia	-	-	705 012	749 682	701 320
	Selva baja espinosa subperennifolia	-	-	1 034 448	1 024 229	1 099 144
Manglar	Manglar	1 450 899	1 045 328	914 610	924 655	945 840
Matorral Xerófilo	Matorral crasicaule	2 170 405	2 233 169	1 589 640	1 560 151	1 546 897
	Matorral desértico micrófilo	22 852 473	22 810 128	22 024 843	21 575 997	21 269 873
	Matorral desértico rosetófilo	10 666 689	10 604 170	10 647 796	10 559 439	10 668 064

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)				
		Potencial	Año			
			1976	1993	2002	2007
Matorral xerófilo	Matorral espinoso tamaulipeco	5 152 485	4 248 913	3 456 304	3 413 719	3 401 961
	Matorral rosetófilo costero	561 387	482 348	490 115	475 058	472 360
	Matorral sarcocaulé	5 681 886	6 362 147	5 425 573	5 313 596	5 288 166
	Matorral sarcocrasicaulé	2 493 412	1 138 456	2 373 235	2 321 643	2 313 565
	Matorral sarcocrasicaulé de neblina	758 616	537 246	580 515	568 968	566 380
	Matorral submontano	3 375 389	3 127 365	2 817 715	2 826 823	2 759 804
	Vegetación de desiertos arenosos	2 207 778	2 274 278	2 172 960	2 167 071	2 157 567
	Huizachal	-	56 602	-	-	-
Otra vegetación hidrófila	Vegetación de galería	189 465	217 923	175 515	138 031	151 016
	Vegetación subacuática	1 540 618	-	-	-	-
	Popal	-	94 379	157 855	131 630	130 542
	Tular	-	1 057 879	894 416	935 734	912 644
	Bosque de galería	-	36 182	24 980	21 488	22 642
	Selva de galería	-	3 348	2 782	4 940	4 384
	Petén	-	-	44 708	45 005	45 395
	Vegetación halófila hidrófila	-	-	-	-	380 100
Pastizal natural	Pastizal natural	16 257 438	9 360 617	10 412 369	10 299 231	9 879 726
	Pradera de alta montaña	21 643	17 873	17 069	16 587	16 699
	Pastizal - huizachal	-	606 553	-	-	-
Vegetación halófila y gipsófila	Pastizal gipsófilo	72 938	69 195	42 306	45 318	41 428
	Pastizal halófilo	1 944 666	1 806 681	1 922 640	1 975 152	1 838 922
	Vegetación gipsófila	37 211	56 546	46 149	46 035	17 636
	Vegetación halófila	3 281 630	3 093 345	3 138 707	2 971 160	2 532 682
Otros tipos de vegetación	Área sin vegetación aparente	734 929	834 741	957 282	954 090	977 773
	Chaparral	2 205 736	3 147 347	2 141 152	2 097 199	2 082 661
	Mezquital	7 464 372	3 640 295	3 087 510	2 940 159	2 402 937
	Bosque de mezquite	-	-	-	-	306 656
	Mezquital tropical	-	-	-	-	165 262
	Palmar natural	521	138 649	12 741	13 781	19 020

## Uso del Suelo y Vegetación en México: vegetación potencial, 1976<sup>1</sup>, 1993, 2002 y 2007 (conclusión)

Tabla 2.2

Formación vegetal	Tipo de vegetación	Superficie (ha)				
		Potencial	Año			
			1976	1993	2002	2007
Otros tipos de vegetación	Sabana	381 187	707 250	292 690	207 541	191 170
	Vegetación de dunas costeras	237 127	176 299	169 125	155 472	153 782
	Palmar inducido	-	-	112 103	105 098	95 776
Pastizal inducido o cultivado	Pastizal cultivado	-	8 509 055	11 315 320	12 422 468	12 838 760
	Pastizal inducido	-	5 810 142	6 218 119	6 335 440	6 051 571
	Sabanoide	-	-	170 904	144 090	129 450
Plantación forestal	Bosque cultivado	-	30 622	25 465	32 011	37 232
	Bosque inducido	-	-	290	4 825	4 504
Zonas urbanas o desprovisto de vegetación	Zona urbana	-	199 948	1 108 232	1 108 256	1 120 830
	Asentamientos humanos	-	-	-	152 001	476 746
	Área desprovista de vegetación	-	-	6 031	14 263	20 811
<b>Total</b>		<b>193 910 669</b>	<b>167 369 466</b>	<b>163 779 539</b>	<b>162 127 865</b>	<b>160 683 682</b>

**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos que se asignan para 1976 corresponden a las fotografías satelitales tomadas en su mayoría a lo largo de los años setenta.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Carta de vegetación primaria potencial, escala 1: 1000 000*. México. 2001.

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1: 250 000*. México. 2003.

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000*. México. 2011.

En el periodo comprendido entre la década de los años setenta y 1993<sup>2</sup>, se perdieron alrededor de 8.3 millones de hectáreas de vegetación natural (equivalente al 5.5% de la superficie remanente), todo ello a un ritmo promedio de 490 mil hectáreas por año. Del total de la superficie transformada, 3.5 millones de hectáreas correspondieron a selvas (que cambiaron de uso a una velocidad promedio de 206 mil ha anuales), 537 mil de bosques (32 mil por año) y 2.3 millones de matorrales (135 mil anuales; Figura 2.5a). De estos ecosistemas, las selvas fueron las que se perdieron más aceleradamente (al 0.57% anual), seguidas por los matorrales (0.26%) y los bosques (0.09%; Figura 2.5b e **IB 6.1-1**).

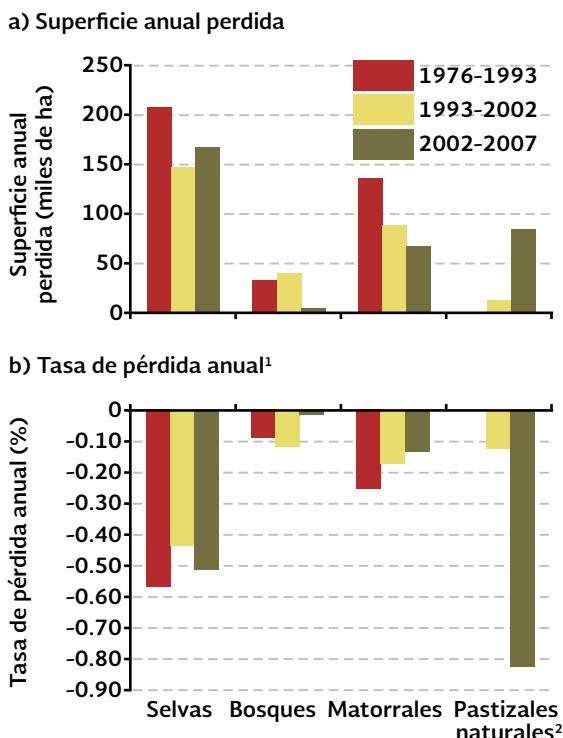


Entre 1993 y 2002, la vegetación natural transformada a otros usos del suelo sumó poco más de 3 millones de hectáreas, lo que equivale a una pérdida cercana a las 336 mil hectáreas anuales en promedio, cifra menor a la registrada entre los años setenta y 1993. La formación que perdió mayor superficie entre estos años fueron las selvas, con alrededor de 1.3 millones de hectáreas (al 0.4% anual), seguidas por los matorrales (cerca de 796 mil al 0.17% anual), los bosques (359 mil al 0.12%, tasa mayor a la registrada en el periodo anterior) y los pastizales naturales (que perdieron cerca de 114 mil ha al 0.12% anual; Figura 2.5).

<sup>2</sup> Las estimaciones de las tasas de cambio entre las Series I y II de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación que se mencionan a lo largo del texto deben tomarse con cautela en virtud de que se ha considerado como fecha para la primera de ellas al año de 1976, siendo que en realidad esa es la fecha que se les adjudica a un conjunto de fotografías satelitales tomadas en su mayoría a lo largo de la década de los años setenta.

**Superficie perdida y tasa de cambio anuales para selvas, bosques, matorrales y pastizales en México, 1976 - 2007**

Figura 2.5



**Notas:**

<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = ((s_t/s_i)^{(1/t)} \times 100) - 100$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_t$  y  $s_i$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.

<sup>2</sup> La tasa de cambio de los pastizales para el periodo 1976-1993 no se pudo calcular, debido a la agregación que muestran los pastizales con otros tipos de vegetación en la fuente original.

**Fuentes:**

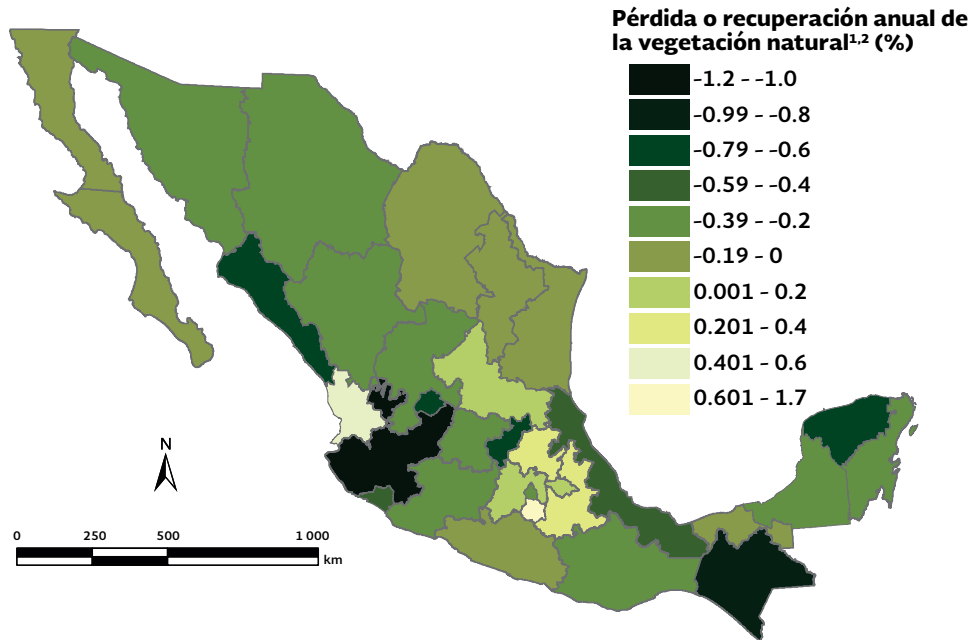
Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1: 250 000. México. 2004.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

Recientemente, aunque la transformación de la vegetación disminuyó en algunos casos, las pérdidas siguieron siendo importantes. Entre 2002 y 2007, se eliminaron 1.9 millones de hectáreas de vegetación natural, a un ritmo de poco más de 382 mil hectáreas anuales (cifra mayor a la observada entre los años 1993 y 2002). De la superficie total transformada, poco más de 835 mil hectáreas correspondieron

a selvas, 419 mil a pastizales y 338 mil a matorrales. Destaca el caso de los bosques, que sólo perdieron 24 mil hectáreas en este periodo, es decir, cerca de 5 mil hectáreas por año, esto es cerca de ocho veces menos que la superficie perdida anualmente entre 1993 y 2002 (Figura 2.5). Es importante mencionar que estas cifras no deben confundirse con los datos de deforestación reportados por México a la FAO, pues corresponden a pérdidas netas de vegetación en periodos diferentes. Las cifras de deforestación se describen más adelante en este capítulo.

Entre 2002 y 2007, los estados que perdieron más rápidamente su vegetación natural fueron Jalisco (1.1% anual), Chiapas (0.82%), Aguascalientes (0.78%) y Yucatán (0.77%; Mapa 2.6). En contraste, algunos estados han recuperado su cubierta natural, como son los casos de Hidalgo (0.2% anual), Puebla (0.37%), Nayarit (0.47%) y Morelos (1.68%).

Es importante señalar que, paralelamente a la pérdida de superficie, también se degradan grandes extensiones de la cubierta primaria remanente; éstas incluso exceden, para algunos periodos, la superficie transformada de ciertas formaciones vegetales. Por ejemplo, entre 1976 y 1993 se degradaron alrededor de 16 millones de hectáreas de vegetación natural, esto es, cerca del doble de la superficie natural que fue transformada a otros usos del suelo en el mismo periodo. Tan sólo las selvas, bosques y matorrales perdieron en conjunto entre esos años cerca de 13 millones de hectáreas de vegetación primaria, lo que equivalió al 16, 31 y 5%, respectivamente, de su superficie a inicios del periodo (Figura 2.6a). No obstante, debe mencionarse que la pérdida de la vegetación primaria (tanto en términos netos como relativos) ha disminuido entre la década de los años setenta y fechas recientes. Mientras que entre 1976 y 1993 se perdían 940 mil hectáreas de vegetación natural primaria por año (al 0.8% anual), entre 1993 y 2002 fueron 525 mil (0.51%) y en el periodo 2002-2007 sumaron 496 mil hectáreas anuales (0.5%).



**Notas:**

<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)}) \times 100) - 100$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_2$  y  $s_1$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.

<sup>2</sup> Tasas negativas significan pérdida de vegetación, mientras que cifras positivas denotan recuperación de la vegetación natural.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

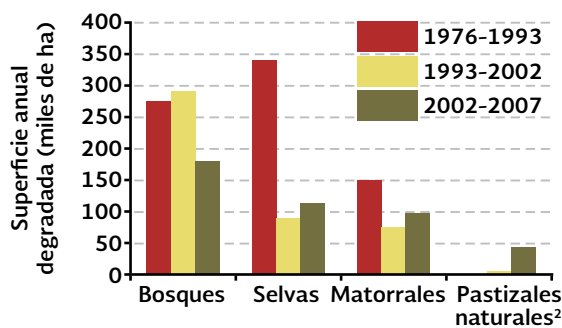
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

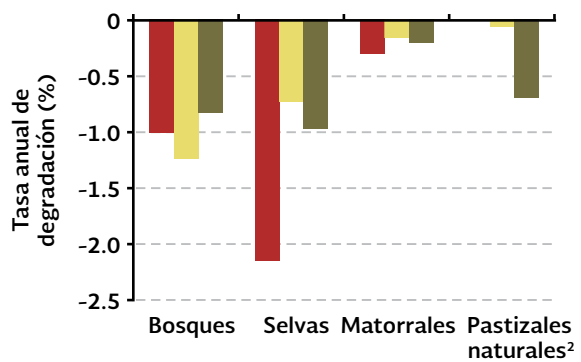
**Degradación de la vegetación y tasa anual de degradación de selvas, bosques, matorrales y pastizales en México, 1976 - 2007**

Figura 2.6

a) Superficie anual degradada



b) Tasa anual de degradación<sup>1</sup>



**Notas:**

<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)}) \times 100) - 100$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_2$  y  $s_1$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.

<sup>2</sup> La tasa de cambio de los pastizales para el periodo 1976-1993 no se pudo calcular, debido a la agregación que muestran los pastizales con otros tipos de vegetación en la fuente original.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

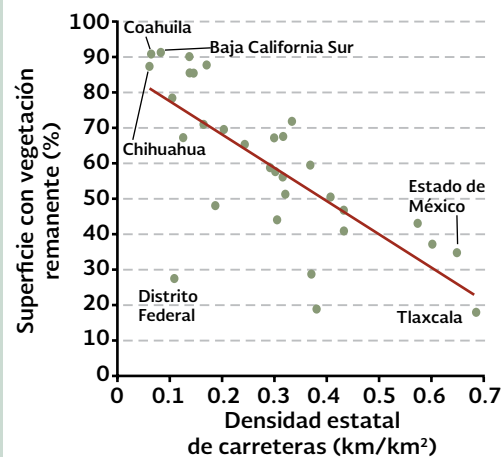
La construcción de infraestructura (que incluye, además de caminos y carreteras, la ampliación del tendido eléctrico y la construcción de presas) también puede afectar la superficie remanente y la continuidad de la vegetación natural. Produce, entre sus efectos más significativos y dependiendo de la magnitud y tipo de obra, la pérdida y alteración de los ecosistemas, la fragmentación de las áreas remanentes de vegetación y, en el caso de caminos y carreteras, pueden constituir obstáculos para la migración de ciertas especies de animales y ocasionar su muerte por atropellamiento.

En el país, la infraestructura carretera creció 69 183 kilómetros entre 1997 y 2010, pasando de 302 753 kilómetros a 371 936 kilómetros, es decir, aumentó cerca de 5 300 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 aquellos con la menor proporción de su superficie cubierta con vegetación natural remanente (Figura a; Mapa a). Estados como Tlaxcala, que tiene la mayor densidad de carreteras (cerca de 0.66 km/km<sup>2</sup>), posee la menor cobertura natural del país (18.2% de su superficie); en el otro extremo,

Chihuahua (con la menor densidad de carreteras, 0.053 km/km<sup>2</sup>) conserva el 88.1% de su vegetación natural. Es importante mencionar que aunque la apertura de caminos no es el único factor que favorece la desaparición de los ecosistemas naturales terrestres, sí tiene un efecto negativo 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).

#### Relación entre la densidad de carreteras y la vegetación natural remanente en México, 2010

Figura a

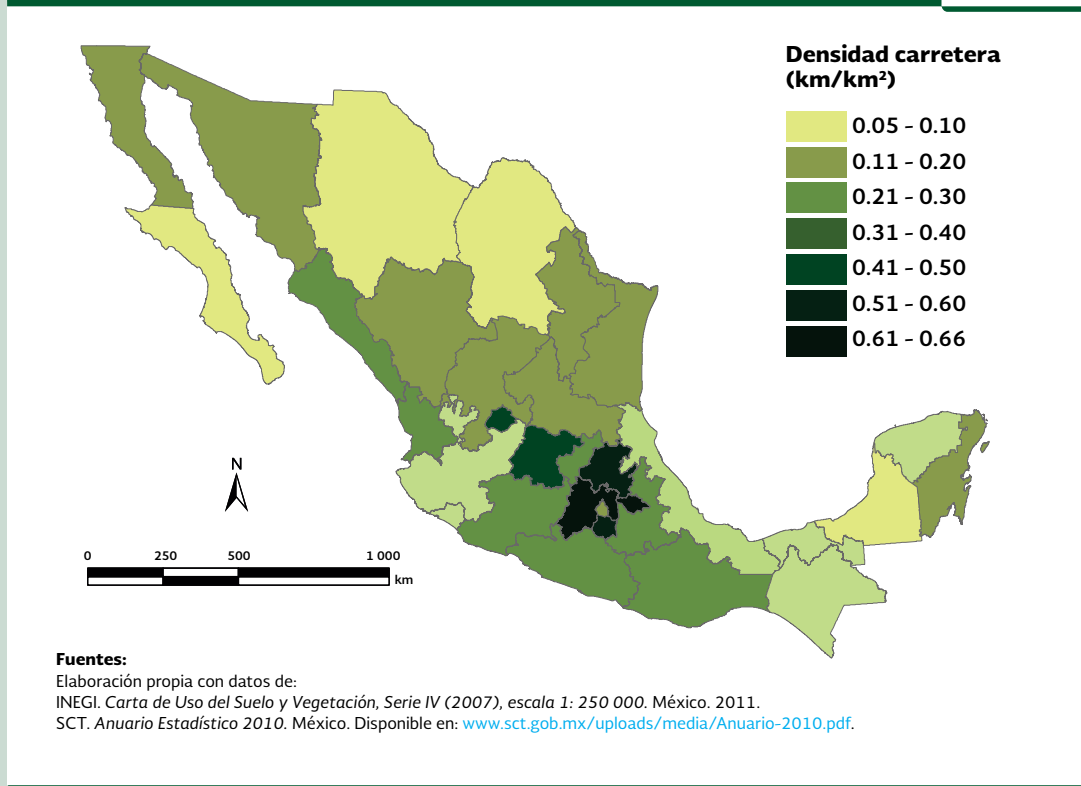


#### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.  
SCT. *Anuario Estadístico 2010*. México. Disponible en: [www.sct.gob.mx/uploads/media/Anuario-2010.pdf](http://www.sct.gob.mx/uploads/media/Anuario-2010.pdf).

## Densidad de la infraestructura carretera en México, 2010

Mapa a

**Referencia:**

UNEP. *One planet many people: an atlas of our changing environment*. Nairobi. 2005.

Entre 2002 y 2007, los estados en los que se degradó más rápidamente la cubierta natural primaria fueron Guerrero (al 4.4% anual), Colima (3.7%), Aguascalientes (2.9%), Morelos y el estado de México (cada uno al 2.2%; Mapa 2.7). En contraste, la cubierta primaria se recuperó ligeramente en los estados de Tlaxcala (al 0.03% anual), Nuevo León (0.1%), Veracruz (0.2%), Baja California (0.6%) y Nayarit (0.8%).

En general, las selvas han sido los ecosistemas terrestres del país que han sufrido las mayores transformaciones y afectaciones por las actividades humanas, tanto por la extensión eliminada (poco más de 23 millones de

hectáreas hasta 2007; permanece cerca del 58% de su extensión original) como por la superficie degradada (sólo el 36% de las selvas actualmente existentes son primarias). Caso particularmente preocupante es el de las selvas subhúmedas del país, de las cuales las cartas de uso del suelo muestran una tendencia creciente en la superficie transformada anualmente: poco más de 43 mil hectáreas entre 1976 y 1993, 98 mil entre 1993 y 2002 y 104 mil entre 2002 y 2007.

Considerando la superficie neta perdida, a las selvas les siguen los bosques, que se han reducido en cerca de 13 millones de hectáreas y cuya extensión alcanza ahora tan sólo el



73% de su extensión original. Por su parte, los matorrales desérticos redujeron su extensión de aproximadamente 56 millones de hectáreas (su probable extensión original) a 50.4 millones. Estas pérdidas son particularmente importantes si se considera que las selvas y los matorrales desérticos son dos ecosistemas ricos en biodiversidad y, en particular, que los matorrales concentran una gran cantidad de especies endémicas (ver el capítulo de *Biodiversidad*).

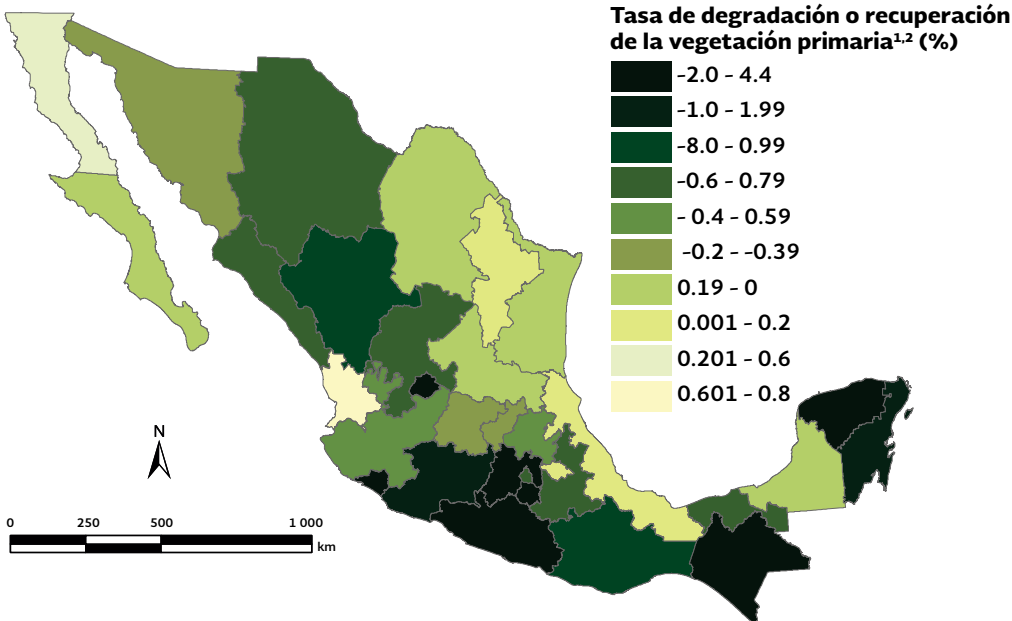
Contrariamente, los terrenos agropecuarios se han expandido continuamente. En los años setenta, los pastizales dedicados a la ganadería ocupaban una superficie de más de 14.3 millones de hectáreas, en tanto que los terrenos agrícolas ocupaban unos 26 millones. De la década de los 70 a 1993, este tipo de coberturas antrópicas aumentaron conjuntamente su extensión en 6.3 millones de hectáreas, hasta cubrir una superficie total de 46.6 millones de hectáreas (crecieron

cerca de 368 mil ha por año). De 2002 a 2007, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie poco más de 132 mil hectáreas y, en conjunto, las áreas dedicadas a la agricultura y a pastizales destinados al ganado se incrementaron en casi 1.5 millones de hectáreas hasta alcanzar una extensión total de 51.1 millones de hectáreas.

La transformación de la vegetación hacia actividades agropecuarias es siempre más intensa si se trata de vegetación secundaria que de primaria. Este fenómeno de una primera degradación o alteración de la vegetación seguida por la eventual transformación a otros usos del suelo es, sin duda, responsable en gran medida de la elevada tasa de pérdida de la vegetación natural que se experimenta en México. La dinámica de cambios entre diferentes usos puede visualizarse como un flujo de terrenos que pasan de una forma de uso a otra distinta, tal y como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.7.

**Tasa de degradación o recuperación de la vegetación natural primaria, 2002 - 2007**

**Mapa 2.7**



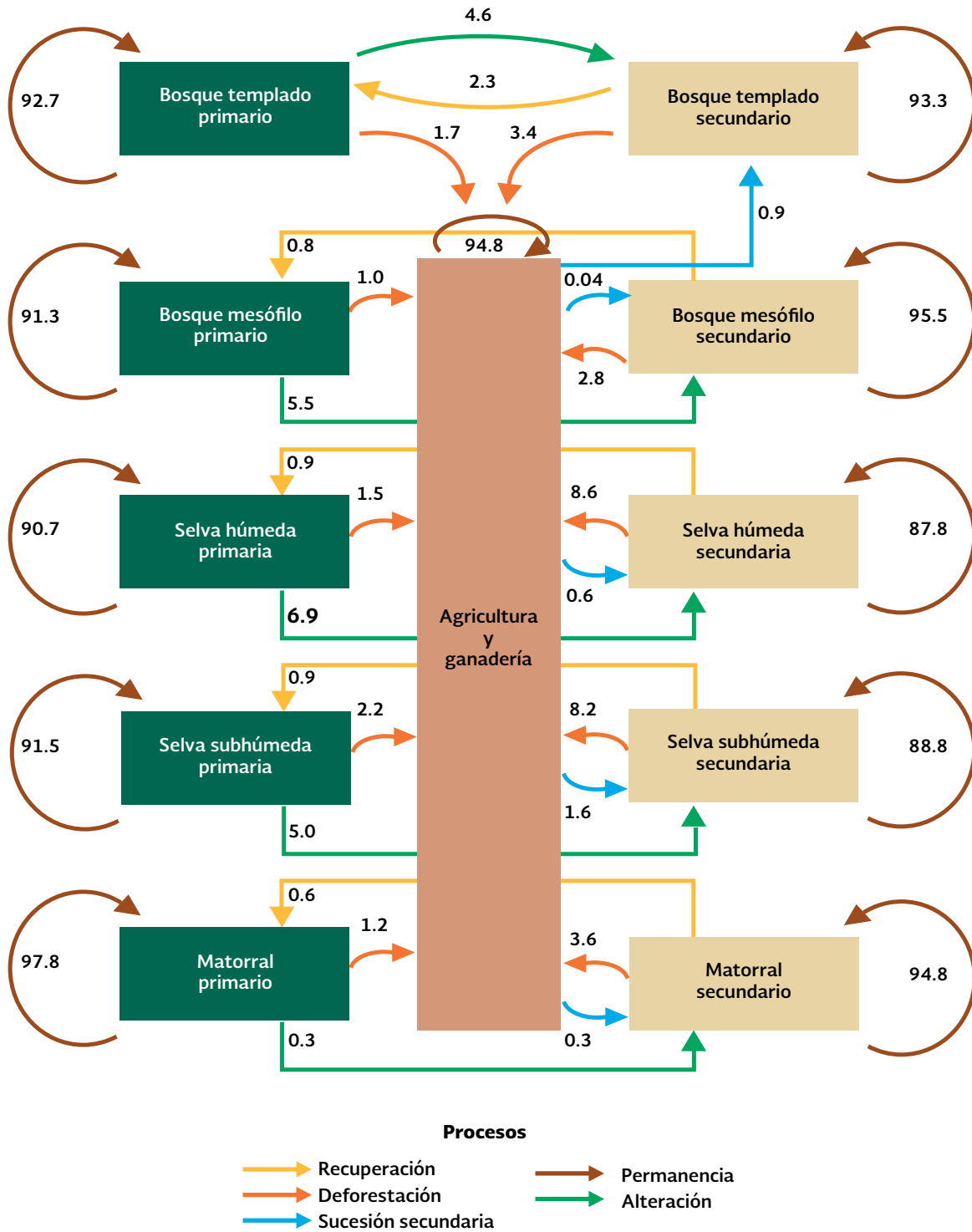
**Notas:**  
<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)}) \times 100) - 100$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_2$  y  $s_1$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.  
<sup>2</sup> Tasas negativas significan la degradación de la vegetación primaria, mientras que cifras positivas denotan su recuperación.

**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

## Modelo del cambio de uso del suelo

Las probabilidades de cambio (expresadas en porcentaje) corresponden al periodo 2002 - 2007.

Figura 2.7



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000. México. 2011.

## PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO

De los procesos que determinan el cambio en el uso del suelo, algunos han recibido especial atención, como son los casos de la deforestación (es decir, el cambio permanente de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos<sup>3</sup>), 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 a las zonas subhúmedas y semiáridas). De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, los matorrales de las zonas áridas y semiáridas del país también se consideran como vegetación forestal, por lo que bien se podría aplicar el término deforestación, aunque para diversos órganos internacionales la deforestación se restringe a zonas arboladas.

### DEFORESTACIÓN

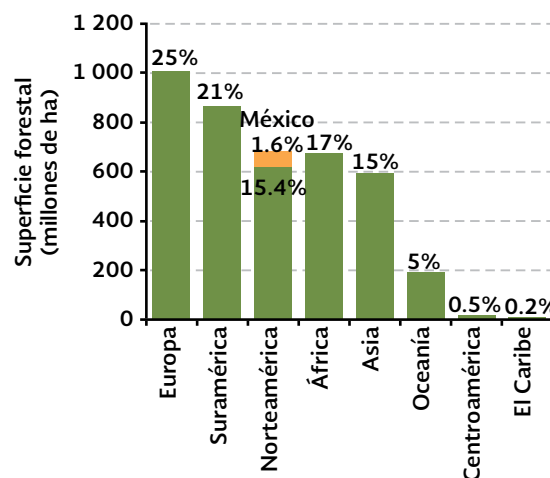
Los principales motivos de preocupación mundial en torno a la deforestación se refieren a la pérdida de la biodiversidad y de los servicios ambientales que prestan los bosques y selvas, así como al calentamiento global. Los bosques proporcionan servicios de gran importancia: forman y retienen los suelos evitando así la erosión, favorecen la infiltración del agua al subsuelo alimentando los mantos freáticos, purifican el agua y el aire, y son reservorio de una gran biodiversidad. Además, son fuente de bienes de consumo tales como madera, leña, alimentos y otros “productos forestales no maderables” (como por ejemplo, alimentos, fibras y medicinas, entre otros).

De acuerdo con la FAO (2010), que considera que una zona forestal es aquella que tiene al menos un 10% de su superficie cubierta por las copas de árboles, en 2010 los bosques mundiales cubrían poco más de 4 mil millones de hectáreas, es decir, alrededor del 31% de la superficie terrestre del planeta. El mayor remanente se encuentra en Europa (25% del área forestal mundial), seguido por Suramérica (21%) y Norteamérica (17%, al cual México contribuye con el 1.6%; Figura 2.8).

Según esa evaluación, la deforestación mundial, sobre todo para convertir los bosques a tierras agrícolas, se ha mantenido en niveles altos en las últimas décadas. Aunque el ritmo neto de pérdida durante los últimos diez años ha disminuido con respecto a la década anterior (1990-2000: 8.3 millones de hectáreas por año, a una tasa de 0.2% anual), la pérdida sigue siendo alta: para el periodo 2000-2005 se calculó en 4.8 millones de hectáreas anuales (al 0.12% anual) y para 2005-2010 se elevó a cerca de 5.6 millones (al 0.14% anual).

**Zonas forestales en diferentes regiones del mundo, 2010<sup>1</sup>**

**Figura 2.8**



**Nota:**

<sup>1</sup> Los porcentajes por encima de las barras corresponden a la contribución regional a la superficie forestal global. No suman 100% por efectos de redondeo.

**Fuente:**

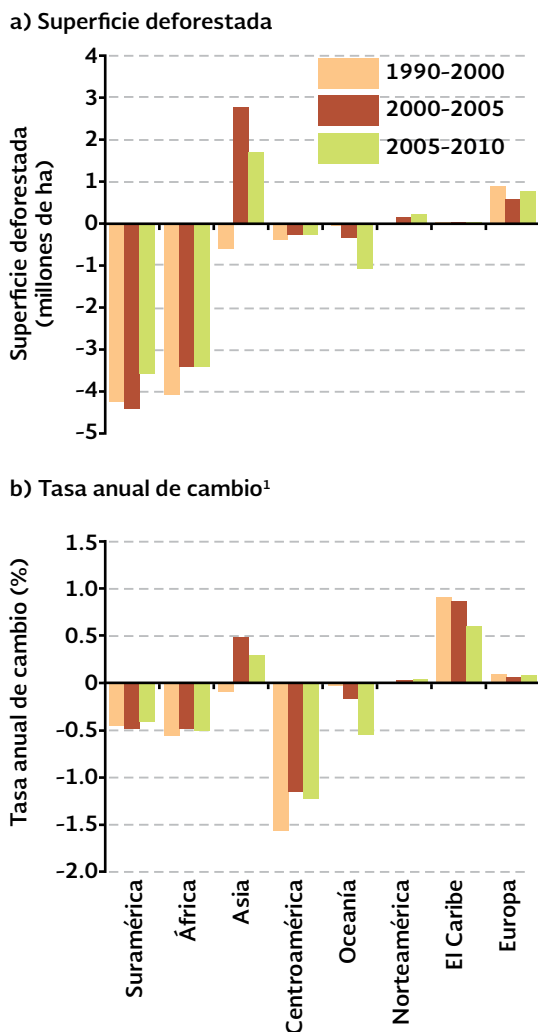
FAO. *Global Forest Resources Assessment 2010*. Roma, 2010.

<sup>3</sup> La 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 (FAO, 2010).

En el periodo 1990-2010, Suramérica fue la región que perdió la mayor superficie neta de bosques (12.2 millones de ha); no obstante, se observó una tendencia a la reducción en la pérdida de los bosques de esa región en el periodo 2005-2010 (3.6 millones de ha; Figura 2.9a). En pérdida neta le siguen África (que entre 1990 y 2010 redujo su cubierta en cerca

### Deforestación en el mundo por superficie y tasa anual según región, 1990 - 2010

Figura 2.9

**Nota:**

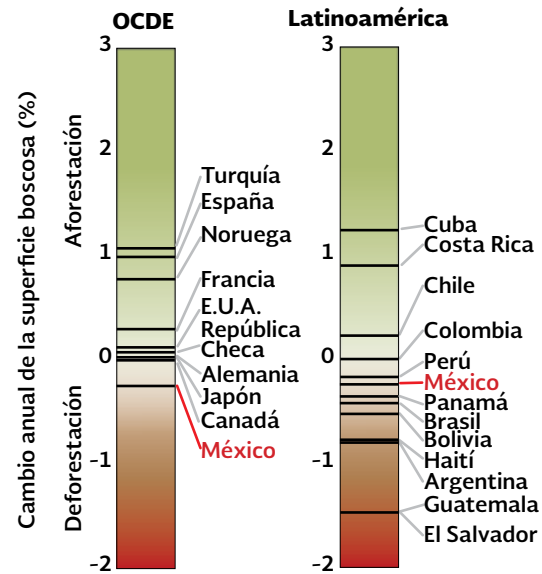
<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)} \times 100) - 100)$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_2$  y  $s_1$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.

**Fuente:**

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2010*. Roma, 2010.

### México en el mundo: tasas de deforestación 2005 - 2010 para países de la OCDE y de Latinoamérica

Figura 2.10

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: FAO. *Forest Resources Assessment 2010*. Roma, 2010.

de 10.9 millones de ha), Oceanía (que lo hizo en 1.4 millones de ha) y Centroamérica (870 mil ha). Por el contrario, en Europa las superficies forestales se incrementaron en esos 20 años en 2.2 millones de hectáreas, mientras que en Asia y Norteamérica comenzaron a hacerlo desde el año 2000, acumulando diez años después un total de 4.5 millones y 408 mil hectáreas, respectivamente.

Sin embargo, cuando la comparación se realiza considerando las tasas de deforestación, el panorama es distinto. Centroamérica, Oceanía y África son las regiones con las mayores estimaciones para el periodo 2005-2010 (Figura 2.9b). Siguiendo las comparaciones internacionales, 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 2.10).

Periodo	Referencia	Superficie deforestada (miles de hectáreas/año)
1976-2000	Velázquez et al., 2002	350
1980-1990	SARH, 1990	329
1980-1990	SARH, 1991	316
Mediados de los ochenta	Masera et al., 1992	668
1988-1994	Castillo et al., 1989	746
1990-2000	FAO, 2010	354
1993-2000	Velázquez et al., 2002	776
2000-2005	FAO, 2010	235
2005-2010	FAO, 2010	155

El tema de la deforestación en México se ha caracterizado por la gran disparidad en las estimaciones que diferentes fuentes arrojan sobre el tema. Tan sólo en los últimos veinte años se han generado cifras que van desde las 155 mil hasta 776 mil hectáreas al año (Tabla 2.3). Las estimaciones oficiales más recientes corresponden a los Informes Nacionales de México presentados por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) en el marco de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (*Forest Resources Assessment, FRA*) que realizó la FAO para sus ediciones 2000, 2005 y 2010. Los cálculos se basaron en comparaciones espacialmente explícitas de las áreas con vegetación forestal para los periodos 1990-2000 (empleando las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Series II y III) y 2005-2010 (con base en las Series III y IV).

La estimación más reciente de la Conafor reportada a la FAO, que abarca el periodo 2005-2010, alcanza las 155 mil hectáreas

deforestadas por año. De esta manera, de acuerdo con los informes para la FAO, entre 1990 y 2010 se observa una tendencia a la reducción de la superficie deforestada anualmente en el país: mientras que entre 1990 y 2000 se calcula que se perdían 354 mil hectáreas anuales, esta cifra se redujo a 235 mil y 155 mil para los periodos 2000-2005 y 2005-2010, respectivamente.

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 los bosques, principalmente los dominados por una especie, lo que hace rentable su explotación intensiva aun 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. De igual forma, el aumento de los precios de los productos agropecuarios provoca la deforestación, pues entonces los usos no forestales del suelo son más redituables.

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 por qué los bosques y las selvas perturbadas son luego desmontados y convertidos a terrenos dedicados a las 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 (ver Figura 2.7).

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. Por su parte, los incendios forestales también son una causa importante que promueve la deforestación. Hasta hace algunos años, era frecuente que una zona forestal incendiada no se recuperara debido a que era inmediatamente ocupada para otros usos del suelo, como el agropecuario o el urbano. Por esta razón, una fracción importante de los incendios eran 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; ver Recuadro *Deforestación y emisiones de GEI*). Actualmente, cuando

una superficie forestal se quema, puede recuperarse después de un tiempo debido a que las autoridades no autorizan el cambio de uso del suelo, lo que también pretende promover la desaparición de esa práctica.

## 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), 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 afecta su estructura y funcionamiento.

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, 2010), desde el año 2000 se han perdido alrededor de 40 millones de hectáreas de bosques primarios en el mundo, dejando tan sólo el 36% de la superficie remanente en ese estado (Figura 2.11). El caso de México también es preocupante, ya que actualmente tan sólo el 36 y el 62% de las selvas y los bosques, respectivamente, son primarios según la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV. Por su parte, durante el periodo 2002-2007 la vegetación secundaria ha aumentado a un ritmo cercano a las 296 mil hectáreas por año (considerando tan sólo bosques y selvas), siendo los bosques templados los que han sufrido una degradación más intensa (poco más de 181 mil ha anuales), mientras que las selvas se degradaron a un ritmo de 115 mil hectáreas al año aproximadamente.

Tanto la deforestación como la alteración afectan negativamente a los bienes y servicios que proveen los ecosistemas naturales. El considerar de manera conjunta

Las comunidades vegetales dominadas por formas de vida arbórea constituyen enormes reservas de carbono en forma de materia orgánica. Estimaciones recientes señalan que los bosques del planeta almacenan unas 289 gigatoneladas (Gt<sup>1</sup>) de carbono en la biomasa de los árboles (FAO, 2010). La eliminación de la cubierta forestal (principalmente por medio del fuego) libera carbono a la atmósfera, con lo que contribuye y exacerba el efecto invernadero y el cambio climático. De acuerdo a los cálculos del IPCC (2007), en el año 2004 la deforestación mundial (y en menor grado otras actividades forestales) fueron la tercera fuente más importante de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, con el 17% de la emisión total, después de la generación de energía y las actividades industriales. Según la FAO (2010), la deforestación ocurrida entre 2005 y 2010 redujo anualmente las existencias de carbono forestal en 0.5 Gt.

En el caso de México, se estima que anualmente, durante el periodo 2003-2006, las emisiones promedio nacionales de bióxido de carbono asociadas al cambio de uso del suelo forestal ascendieron a 7 189 gigagramos<sup>2</sup> (Gg) de bióxido de carbono, es decir, alrededor del 10.3% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> por cambio de uso del suelo y silvicultura para ese periodo (INE-Semarnat, 2010; **IB 1.2-2** y **1.2-3**). Dicha estimación fue menor que la registrada para el periodo 1990-2002 (11 445 Gg de CO<sub>2</sub> anuales), lo



cual puede explicarse por la reducción en el cambio de uso del suelo forestal registrado entre 2003 y 2006.

En el sentido inverso, la vegetación secuestra el carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis, la cual puede reducirse significativamente cuando se retira la vegetación o se cambia a ciertos usos del suelo. Ello explica también que la carencia de superficie forestal, fundamental para absorber nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, produzca que la emisión de GEI sea el factor que más contribuye al fuerte “déficit ecológico” en la Huella Ecológica calculada para México (ver el capítulo de *Población*). Esto pone de manifiesto la importancia de mantener y acrecentar la cobertura vegetal para alcanzar el desarrollo sustentable.

**Notas:**

<sup>1</sup> Una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas métricas.

<sup>2</sup> Un gigagramo equivale a 1 millón de kilogramos.

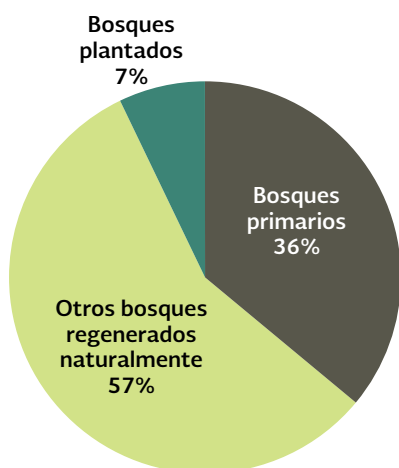
**Referencias:**

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2010*. FAO. 2010.

Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE, Semarnat. 2010.

## Estado de los bosques del mundo, 2010

Figura 2.11



Fuente:  
FAO. *Global Forest Resources Assessment 2010*. Roma. 2010.

a la deforestación y la alteración permite obtener una evaluación aproximada del ritmo de “deterioro” general de la vegetación. De la década de los setentas al 2007, la tasa anual de deterioro (considerando la deforestación más la degradación) de los bosques y selvas del país fue de cerca de 711 mil hectáreas por año, es decir, poco más de tres veces la tasa de deforestación *sensu stricto* para ese mismo periodo (213 mil ha por año; Figura 2.12).

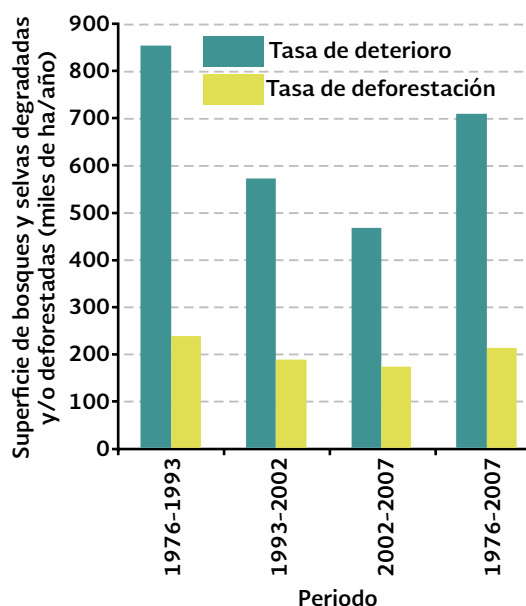
La vegetación forestal secundaria que cubre actualmente grandes extensiones del territorio nacional es el resultado tanto de la regeneración de sitios que fueron previamente deforestados, como del deterioro (sin remoción completa de árboles) de la vegetación primaria. Al menos en los últimos años, la vía más importante en este proceso es la segunda: entre 2002 y 2007 de la superficie que se convirtió a bosques y selvas secundarios, cerca del 47% provino de la regeneración de terrenos agropecuarios y el restante 53% de la degradación de bosques y selvas primarios.

La forma de alteración más semejante a la deforestación es la extracción selectiva de maderas. En cada hectárea de selva coexisten, a diferencia de los bosques templados, decenas de especies diferentes de árboles, la

mayoría de las cuales carecen de mercado, por lo que su aprovechamiento no es redituable. Dispersas entre éstos crecen otras especies de maderas preciosas, como la caoba (*Swietenia*) y el cedro rojo (*Cedrella*), que son taladas sin aprovechar las plantas circundantes. A la anterior se une otra forma de explotación de la madera, 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. En la actualidad cerca del 17% de los habitantes del país utilizan leña o carbón para cocinar (Presidencia de la República, 2011) y, aunque no se tiene una

## Tasas de deforestación<sup>1</sup> y deterioro<sup>2</sup> anuales en México, 1976 - 2007

Figura 2.12



### Notas:

<sup>1</sup> Se calculó a partir de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación con base en el cambio neto en la superficie de bosques y selvas en los periodos correspondientes. Pueden diferir de las reportadas por la Conafor a la FAO por los criterios empleados para su cálculo.

<sup>2</sup> Incluye la pérdida de cubierta forestal y la degradación de la vegetación (entendida como la transformación de superficies de vegetación primaria a secundaria) en áreas con ecosistemas forestales.

### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1: 250 000. México. 2004.  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.



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 pueden dañarse entre el 30 y el 50% de los individuos adyacentes (Kartawinata, 1979 en Challenger, 1998), provocando según la magnitud del daño, su muerte o haciéndolos más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades.

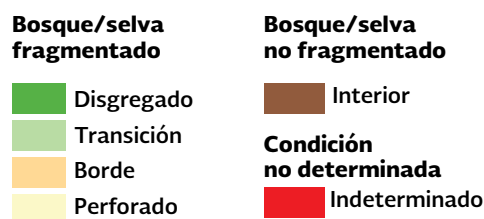
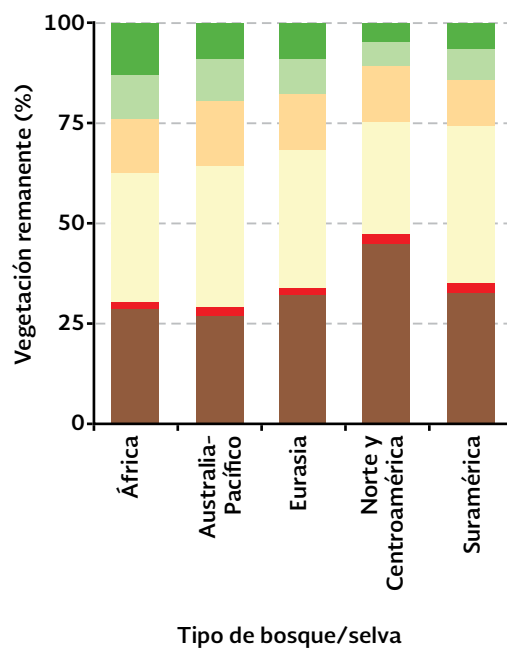
## FRAGMENTACIÓN

Cuando se elimina la vegetación original de una zona, por fenómenos naturales o por las actividades humanas, con frecuencia quedan pequeños manchones relativamente intactos inmersos en una matriz degradada o con usos del suelo distintos a los de la cubierta original. Cada una de estas “islas” de vegetación alberga generalmente a un menor número de especies nativas en comparación con una superficie equivalente sin fragmentar. Esto se debe a que algunas de las especies nativas son incapaces de vivir en los fragmentos pequeños y a que numerosos procesos de degradación tienen lugar en sus bordes. Por estas razones, cuando se busca conservar la vida silvestre no basta con conocer la superficie que abarca la vegetación, sino también se requiere evaluar el estado o grado de continuidad que presenta. No es lo mismo contar con una masa selvática de 100 mil hectáreas que con cien fragmentos de mil hectáreas cada uno.

Según Ritters y colaboradores (2000), la fragmentación de las selvas y bosques a nivel mundial es muy alta: apenas el 35% de la superficie arbolada no está fragmentada (formando zonas continuas de más de 80 km<sup>2</sup>) ni sufre efectos de borde (esto es, se encuentra a más de 4.5 km de un borde del fragmento remanente). A nivel regional, Australia-Pacífico mostró la mayor proporción de bosques fragmentados en el mundo (71%; Figura 2.13); y considerando el tipo de ecosistema, las selvas resultaron los ecosistemas más fragmentados.

## Vegetación remanente con fragmentación<sup>1</sup> en diferentes regiones del mundo, 2000

Figura 2.13



### Nota:

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

### Fuente:

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

En el caso de México, las cartas de Uso del Suelo y Vegetación permiten hacer estimaciones gruesas del nivel de fragmentación de la vegetación natural del país. Para medir el grado de fragmentación de los ecosistemas,

en esta obra se consideraron como áreas fragmentadas todas aquellas superficies de vegetación natural menores a 80 kilómetros cuadrados; esta superficie se ha considerado como la mínima adecuada para mantener en condiciones óptimas la diversidad y las poblaciones biológicas en ciertos ecosistemas (ver Sánchez-Colón y colaboradores, 2009).

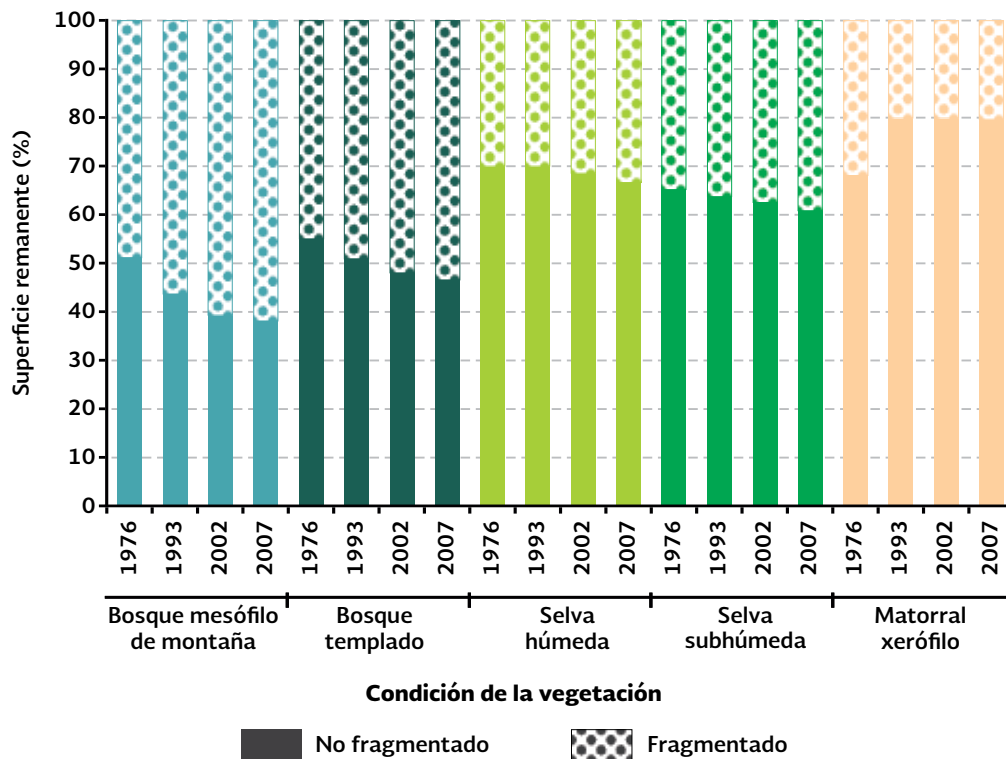
De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV, en el 2007 los bosques (incluyendo los templados y mesófilos de montaña) fueron los ecosistemas forestales más fragmentados del país: 54% de su superficie remanente (alrededor de 18.4 millones de ha) se repartía en fragmentos

menores a 80 kilómetros cuadrados. Cuando se desagrega esta formación vegetal, el panorama se agrava para algunos tipos de vegetación. Por ejemplo, el bosque mesófilo de montaña fue en ese año el tipo de vegetación forestal más fragmentado, alcanzando esta condición el 62% de su superficie remanente, es decir, 1.14 millones de hectáreas<sup>4</sup> (Figura 2.14).

Con respecto a las selvas, cerca del 38% de su superficie está en fragmentos menores a 80 kilómetros cuadrados, es decir, 12.1 millones de hectáreas (Figura 2.14). De entre ellas, las selvas subhúmedas presentaron menor continuidad que las húmedas, con 39 y 34% de su superficie fragmentada, respectivamente.

### Fragmentación<sup>1</sup> de algunos ecosistemas terrestres en México, 1976 - 2007

Figura 2.14



**Nota:**

<sup>1</sup> Para considerar un área de vegetación natural como fragmentada, se tomó como criterio que su superficie fuese menor a 80 km<sup>2</sup>.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

<sup>4</sup> Esta cifra podría estar influida por el hecho de que el bosque mesófilo de montaña, al igual que otros tipos de vegetación, no se distribuye de manera natural en superficies continuas de gran extensión.

Finalmente, los matorrales mostraron el menor grado de fragmentación: cerca del 80% de su superficie (40.1 millones de ha) no mostraba evidencias de esta condición.

La fragmentación de los ecosistemas afecta tanto a la vegetación primaria como a la secundaria. Grandes superficies de vegetación primaria del país permanecen en forma de fragmentos. Esta condición los hace susceptibles de degradarse más rápidamente, aún sin la intervención humana, que las superficies conservadas más extensas. En el año 2007, la fragmentación de la vegetación primaria ya era considerable para algunos ecosistemas: 55% de la superficie remanente primaria de los bosques mesófilos y 44% de los bosques templados (Figura 2.15) estaban en esa condición. Porcentajes menores, aunque no por ello poco importantes, fueron los de las selvas subhúmedas y húmedas (25 y 20% de su superficie primaria, respectivamente) y los matorrales (17%).

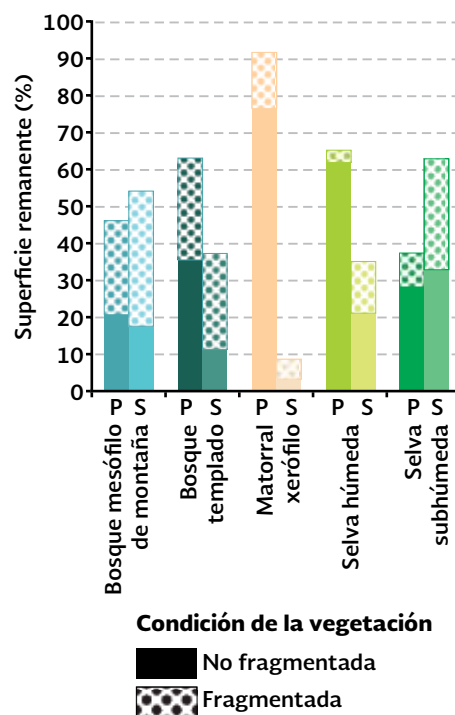
## DEGRADACIÓN DE MATORRALES

Los matorrales, huizachales y mezquitales que caracterizan a las zonas áridas de México también han sido deteriorados por las actividades humanas. No obstante, el ritmo con el que han sido transformados a otros usos del suelo es aún más difícil de evaluar que la deforestación. De acuerdo con los inventarios nacionales, los matorrales constituyen la formación vegetal que más lentamente está siendo transformada a otros usos y que se preserva, por tanto, en mayor proporción como vegetación primaria (91.5% en el año 2007 según la Serie IV; Figura 2.2). No obstante, en términos absolutos, este nivel de degradación no es despreciable, ya que los matorrales secundarios ocupan poco más de 43 mil kilómetros cuadrados, una extensión similar a la de Yucatán o Quintana Roo.

Los matorrales adquieren una gran diversidad de formas aún dentro de un área reducida. La vegetación que es resultado de la alteración en un sitio puede ser considerada natural en otro. Por ello es difícil reconocer cómo debió ser la vegetación primaria de un sitio dado o si se trata

## Grado de fragmentación<sup>1</sup> y condición de la vegetación de algunos ecosistemas terrestres en México, 2007

Figura 2.15



### Nota:

<sup>1</sup> Para considerar un área de vegetación natural como fragmentada, se tomó como criterio que su superficie fuese menor a 80 km<sup>2</sup>.

**P:** Vegetación primaria  
**S:** Vegetación secundaria

### Fuente:

Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

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 suficientes estudios directos en el campo. Un análisis realizado por el Instituto Nacional de Ecología (Semarnat, INE, 2003) utilizando técnicas alternativas para determinar la degradación, mostró que en muchos municipios del país el número de cabezas de ganado rebasa la capacidad máxima de sus ecosistemas 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 de las Series I, II, III y IV. Según el estudio del INE, únicamente los

matorrales del occidente 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 2.8).

Con base en el estudio de la degradación del suelo causada por el hombre (Semarnat y CP, 2003), se realizó una estimación del nivel de sobrepastoreo por entidad federativa del país (Mapa 2.9); el cual señaló que la superficie afectada por sobrepastoreo alcanzaría en el año 2002 unas 47.6 millones de hectáreas (24% de la superficie nacional) y aproximadamente 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país. Como es evidente, la degradación de los ecosistemas de las zonas áridas todavía es incierta y se requieren estudios específicos para estimar con precisión tanto la superficie afectada como su magnitud.

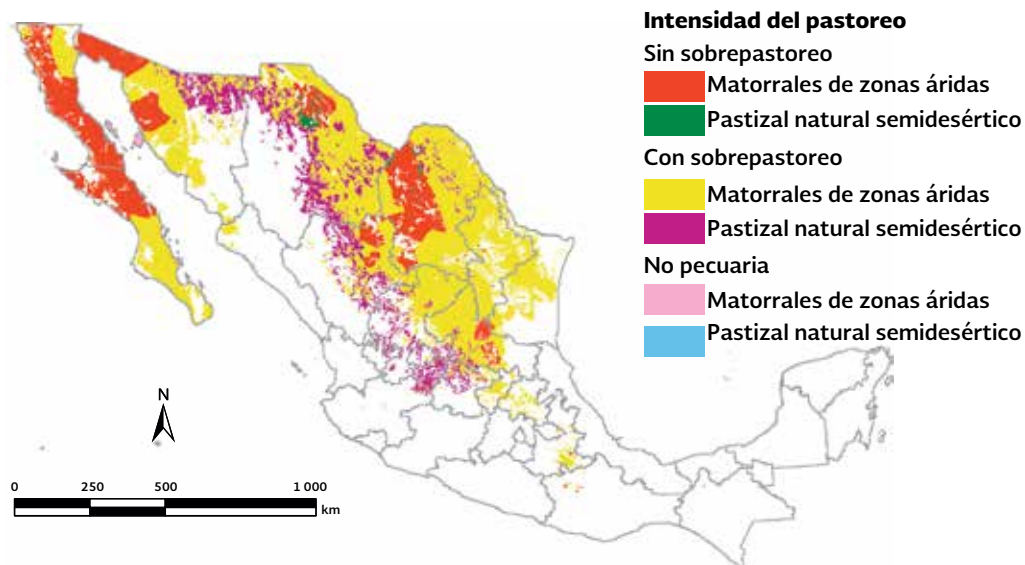
Aunque el tema de los incendios comúnmente se relaciona más con los bosques, la realidad es que la mayor parte de la superficie afectada en nuestro país ha correspondido a pastizales, matorrales y vegetación arbustiva. En el periodo 1998-2011, el 84.5% de la superficie

total incendiada en el país correspondió a pastizales y matorrales. Ciertos años también pueden ser particularmente devastadores sobre estos tipos de vegetación: en 2011, en Coahuila, la superficie incendiada de matorrales alcanzó poco más de 272 mil hectáreas, esto es, 44.5% de la superficie incendiada a nivel nacional en ese año.

Cuando todos los factores anteriores actúan, solos o en conjunto, para alterar la cubierta vegetal de un desierto, sus condiciones ambientales se vuelven generalmente aún más agrestes, al menos más secas y con temperaturas mayores. Las plantas y los animales que pueden sobrevivir en estos ambientes modificados corresponden a los típicos de zonas aún más áridas, por lo que el sitio parece más desértico que en su condición original. De ahí el término desertificar: “hacer desiertos”. La definición más aceptada de desertificación, propuesta por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), la define así “...es la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diferentes factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas”. La degradación implica tanto a la cubierta

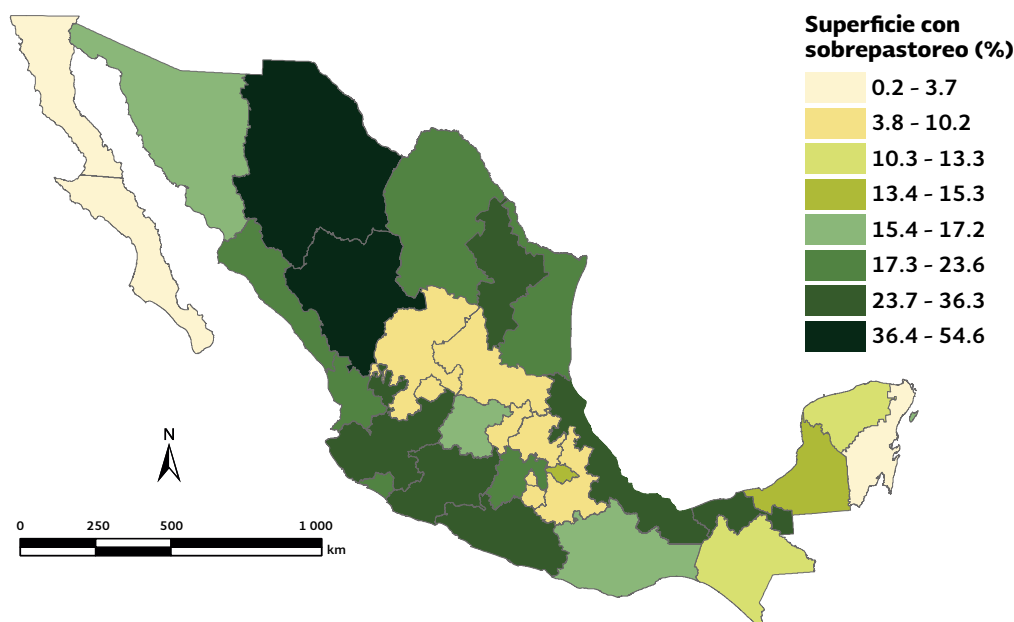
## Intensidad de pastoreo en matorrales y pastizales naturales

Mapa 2.8



**Fuente:**

Dirección General de Ordenamiento y Conservación de Ecosistemas, INE, Semarnat. México. 2003.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.

vegetal como a los suelos que la soportan (véase también la sección *El problema de la desertificación* en el capítulo de *Suelos*).

## OTRAS AMENAZAS A LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

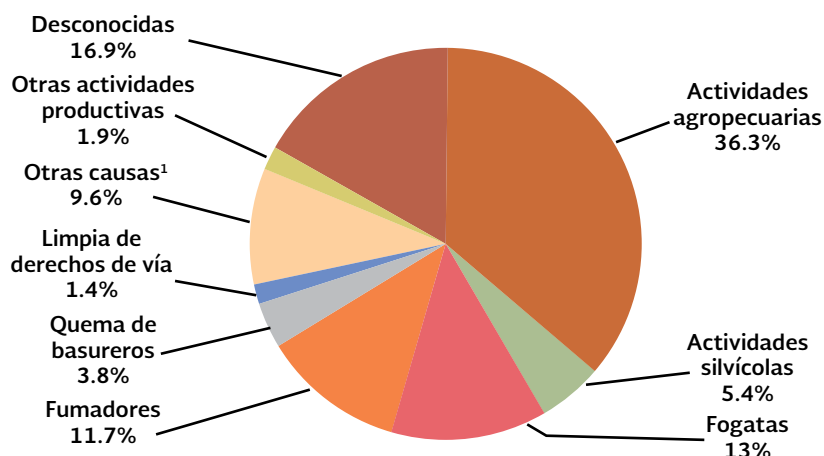
### Incendios forestales

Además de las actividades humanas mencionadas anteriormente, los ecosistemas están sujetos a otros factores naturales que pueden alterarlos, como son los incendios, sequías, deslizamientos de tierra, especies invasoras, plagas forestales y fenómenos meteorológicos extremos, como los huracanes (Dale et al., 2001). En algunos casos, estos factores multiplican su impacto en los ecosistemas al actuar sinérgicamente con las actividades humanas.

Los incendios forestales ocurren de manera natural y constituyen un factor importante para la dinámica natural de muchos ecosistemas terrestres, sobre todo en los bosques templados y algunos matorrales.

Debido a ellos, se incrementa la disponibilidad de los nutrimentos 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, los patrones naturales de ocurrencia de incendios se han modificado. Actualmente, muchos de los incendios forestales ocurren en zonas en las que anteriormente no se presentaban, mientras que en zonas con regímenes de fuego periódicos, se han suprimido (SCBD, 2001c; Castillo et al., 2003).

Los efectos de los incendios sobre los ecosistemas son diversos y dependen de su intensidad y frecuencia. El efecto directo más importante es la remoción de la biomasa vegetal en pie, que junto con la eliminación de los renuevos de las poblaciones de las especies arbóreas, daña sus poblaciones y 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). En el caso de la



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye litigios, rencillas, aprovechamientos, cazadores furtivos, descargas eléctricas, cultivos ilícitos y ferrocarriles.

**Fuente:**

Gerencia de Planeación y Evaluación, Conafor, Semarnat. México. 2012.

fauna, su efecto inmediato directo puede ser la muerte (específicamente de los organismos que tienen poca capacidad de desplazamiento), mientras que entre los efectos indirectos pueden mencionarse la pérdida y modificación del hábitat y la escasez de alimento (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003; Haltenhoff, 2005). Todo lo anterior puede ocasionar alteraciones en las redes tróficas y en el balance natural de los ecosistemas, lo cual, en el mediano o largo plazos puede llevar a la reducción de la biodiversidad y la pérdida o degradación de sus servicios ambientales (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003). Otro de sus efectos, pero a nivel global, es la liberación a la atmósfera de grandes cantidades de carbono acumuladas a lo largo de muchos años en la biomasa de los árboles, la cual contribuye a incrementar la concentración del bióxido de carbono y, consecuentemente, a exacerbar el problema del cambio climático.

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, en 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). En ambos casos, el resultado final puede ser la reducción de la producción forestal o del potencial de una zona para ser aprovechado, con las consecuencias sociales y económicas derivadas.

Los factores que inciden mayormente en la ocurrencia de incendios en 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 no apagadas adecuadamente y por fumadores que por descuido arrojan los cerillos o las colillas de los cigarros todavía encendidas al suelo con material combustible, entre otras causas. En México, en el 2011 las principales causas de los incendios forestales fueron las quemadas asociadas a las actividades agropecuarias (36.3%), seguidas por las fogatas (13%) y los fumadores (11.7%; Figura 2.16).

El número de incendios ocurridos en México y la superficie siniestrada se han mantenido relativamente constantes a lo largo de los últimos quince años (Figura 2.17). Entre 1991 y 2011, el promedio anual de incendios fue de 8 276 conflagraciones, con una superficie siniestrada promedio anual de alrededor de 270 mil hectáreas. Sin embargo, en ese periodo algunos años fueron de incendios particularmente intensos, como 1998 y 2011, que tanto en México como en otras zonas del mundo, registraron cifras elevadas: en el país en esos años se registraron 14 445 y 12 113 incendios, respectivamente, con una superficie total afectada de alrededor de 850 mil y 956.4 mil hectáreas, respectivamente. Esta superficie fue equivalente a cerca de tres veces el promedio anual siniestrado entre 1991 y 2011.

A nivel de entidad federativa, entre 1998 y 2011, las que registraron las mayores superficies afectadas por incendios fueron Coahuila (alrededor de 547 mil ha; 13% del total nacional del periodo), Oaxaca (522 mil ha; 12%) y Chiapas (464 mil ha; 11%, Mapa 2.10; Cuadro D3\_RFORESTA05\_02). Con respecto a la superficie afectada, el mayor porcentaje

correspondió a arbustos y matorrales, seguidos por los pastos y la vegetación arbolada. En el año 2011, los porcentajes para estos tipos de vegetación fueron, respectivamente, 55, 38 y 7%, respectivamente (Figura 2.18; Cuadro D3\_RFORESTA05\_03).

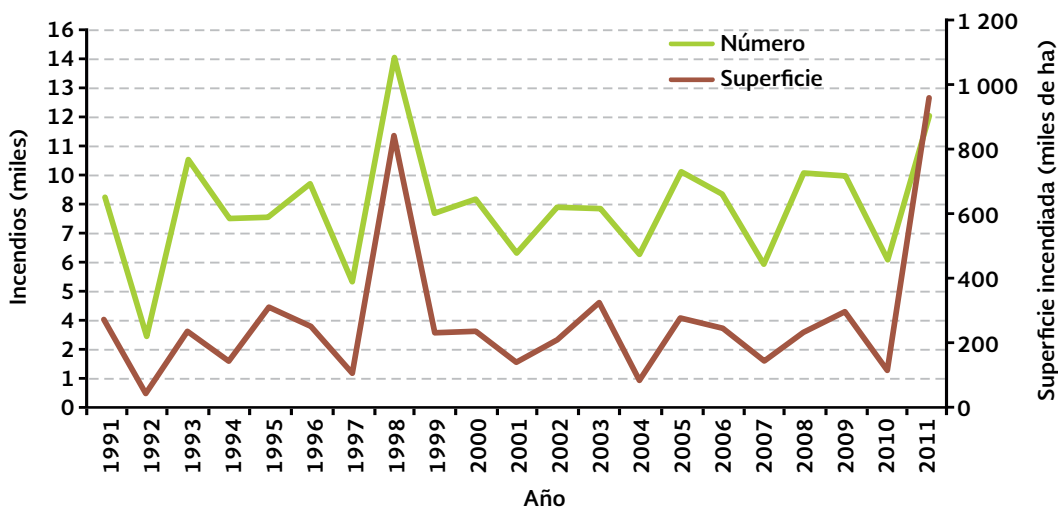
### Plagas y enfermedades forestales

Para el caso de México, las plagas son consideradas como una de las principales causas de disturbio en los bosques templados. Actualmente se tiene registro de alrededor de 250 especies de insectos y patógenos que afectan al arbolado del país, algunas de las cuales se muestran en la Tabla 2.4.

De acuerdo con el monitoreo periódico que realiza la Semarnat de las zonas forestales del país, en el periodo 1990-2011, el promedio de la superficie afectada anualmente por plagas y enfermedades forestales fue de 38 640 hectáreas. De la superficie afectada en ese periodo, la mayor parte correspondió a los muérdagos (36%), seguidos por los descortezadores (33%), defoliadores (20%) y

**Incendios forestales y superficie afectada en México, 1991 - 2011<sup>1</sup>**

**Figura 2.17**

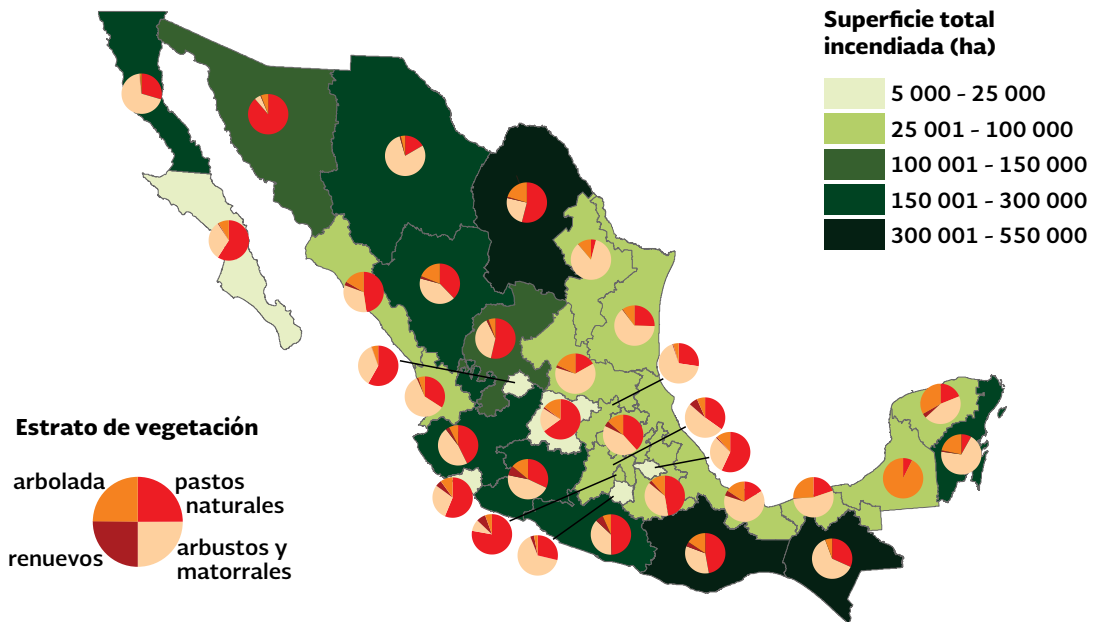


**Nota:**  
<sup>1</sup> Los datos del 2011 son al mes de septiembre.

**Fuentes:**  
Conafor, Semarnat. México. 2011.  
Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997-1999*. México. 1998-2000.

## Superficie estatal incendiada y por estrato de vegetación, 1998 - 2011<sup>1,2</sup>

Mapa 2.10

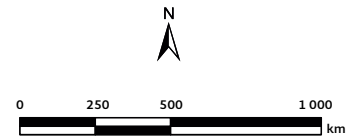


**Notas:**

<sup>1</sup> Las gráficas circulares muestran la contribución del estrato de vegetación afectado con respecto a la superficie total incendiada en el periodo.  
<sup>2</sup> Los datos del 2011 son al mes de septiembre.

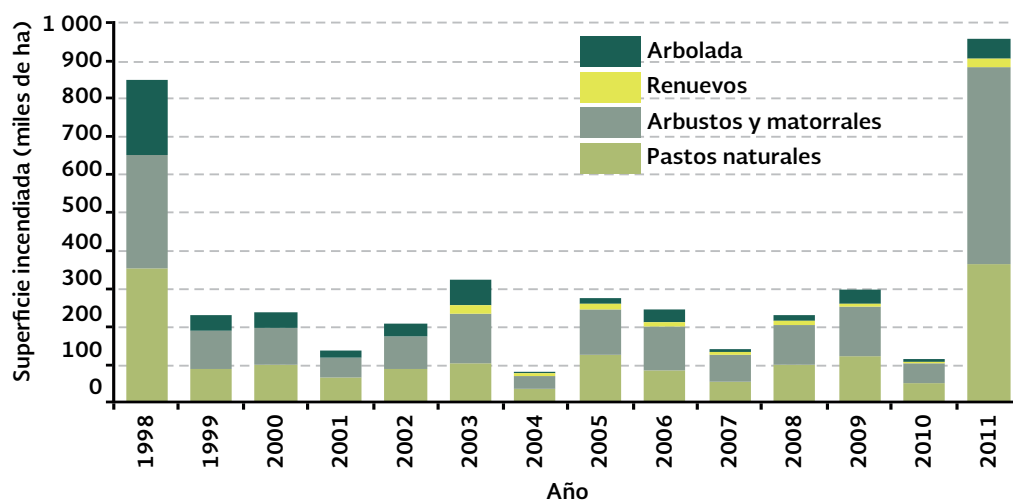
**Fuentes:**

Conafor, Semarnat. México. 2012.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1998, 1999*. México. 1999-2000.



## Superficie afectada por incendios forestales según estrato de vegetación, 1998 - 2011<sup>1</sup>

Figura 2.18



**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos del 2011 son al mes de septiembre.

**Fuentes:**

Conafor, Semarnat. México. 2011.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997-1999*. México. 1998-2000.



Especie	Nombre común	Tipo de vegetación afectada
<i>Conophthorus edulis</i>	Barrenador de cono de pinos	Áreas de pino piñonero
<i>Conophthorus sp.</i>	Barrenador de cono de pinos	Áreas de pino piñonero
<i>Phytophthora cinamomi</i>	Muérdago verdadero	Bosque templado
<i>Arceuthobium blumeri</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Apogonalia mediolineata</i>	Defoliables y chupadores	Bosque templado
<i>Arceuthobium globosum</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Arceuthobium sp.</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Arceuthobium strictum</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Arceuthobium vaginatum</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Cronartium quercum</i>	Roya de los pinos	Bosque templado
<i>Cryptostegia grandiflora</i>	Caucho de la India	Bosque templado
<i>Cydia sp.</i>	Barrenador de conos de pino	Bosque templado
<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 pseudotsugae</i>	Descortezador de pino pseudotsuga	Bosque templado
<i>Dendroctonus sp.</i>	Descortezador	Bosque templado
<i>Diabrotica spp.</i>	Escarabajo defoliador de las hojas	Bosque templado
<i>Fusarium circinatum</i>	Cancro resinoso del pino	Bosque templado
<i>Hemiceras sp.</i>	Defoliables y chupadores	Bosque templado
<i>Ips caligraphus</i>	Escarabajo descortezador	Bosque templado
<i>Ips cibricollis</i>	Escarabajo descortezador	Bosque templado
<i>Ips spp.</i>	Escarabajo descortezador	Bosque templado
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Enfermedad de la parota	Bosque templado
<i>Neodiprion bicolor</i>	Mosca sierra	Bosque templado
<i>Neodiprion omusus</i>	Mosca sierra	Bosque templado
<i>Phoradendron bolleanum</i>	Muérdago verdadero	Bosque templado
<i>Pithyophthorus sp.</i>	Barrenador de ramillas	Bosque templado
<i>Scolytus sp.</i>	Descortezador	Bosque templado
<i>Zadiprion falsus</i>	Mosca sierra mayor	Bosque templado
<i>Dendroctonus rhizophagus</i>	Descortezador de la raíz del pino	Bosque templado en regeneración

## Principales plagas forestales de importancia económica y ecológica en México (conclusión)

Tabla 2.4

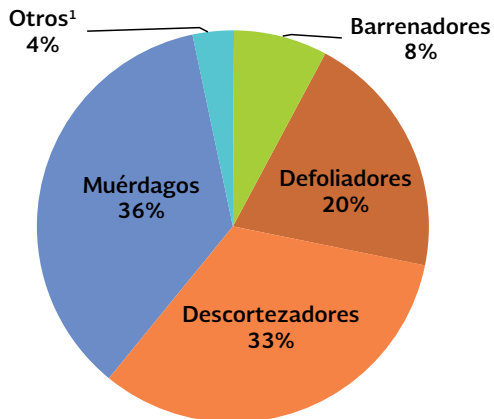
Especie	Nombre común	Tipo de vegetación afectada
<i>Antiteuchus piceus</i>	Chinche de los pinos	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Neodiprion autumnalis</i>	Mosca sierra	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron californicum</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron galeotti</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron juniperinum</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron minutifolium</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron sp.</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Phoradendron villosum</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Psittacanthus spp.</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Struthanthus quercicola</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Struthanthus sp.</i>	Muérdago verdadero	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Tillandsia recurvata</i>	Heno motita	Bosques de latifoliadas y coníferas y vegetación urbana
<i>Cladocolea sp.</i>	Muérdago	Bosques de latifoliadas, vegetación urbana
<i>Rhynchophorus palmarum</i>	Picudo de la palma	Palmares
<i>Raoiella indica</i>	Ácaro rojo	Palmares y zonas costeras
<i>Atta spp.</i>	Hormiga arriera	Plantaciones forestales
<i>Chrysobothris sp.</i>	Barrenador de tallo del cedro rojo	Plantaciones forestales
<i>Chrysobothris yucatanensis</i>	Barrenador de tallo del cedro rojo	Plantaciones forestales
<i>Olivea tectonae</i>	Roya de la teca	Plantaciones forestales
<i>Eulepte gastralis</i>	Gusano esqueletizador	Plantaciones forestales
<i>Hypsipyla grandella</i>	Barrenador de brotes de las meliáceas	Plantaciones forestales
<i>Hyblaea puera</i>	Defoliadores y chupadores	Selva baja y mediana
<i>Malacosoma sp.</i>	Defoliador del ahuejote	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Paranthrene dollii</i>	Barrenador del álamo	Vegetación urbana y plantaciones
<i>Scolytus multistriatus</i>	Descortezador del olmo	Vegetación urbana y plantaciones

**Fuente:**

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Semarnat. México. 2012.

### Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales, 1990 - 2011

Figura 2.19



**Nota:**

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

**Fuente:**

Gerencia de Planeación y Evaluación, Conafor, Semarnat. México. 2012.

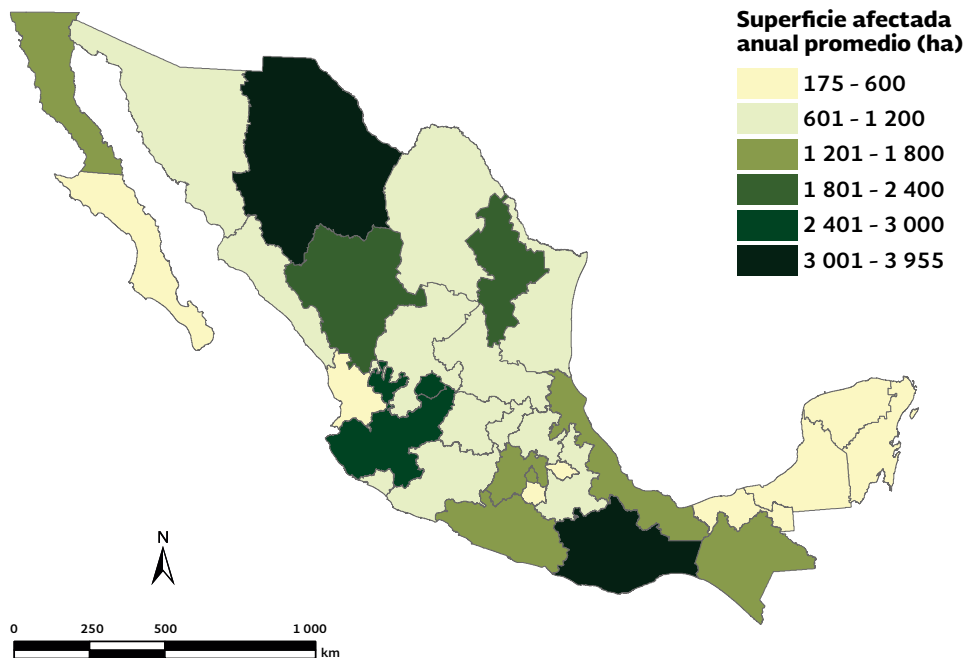
barrenadores (8%; Figura 2.19). Los estados con mayor superficie promedio afectada por enfermedades forestales en ese periodo fueron Oaxaca (3 955 ha anuales), Chihuahua (3 119 ha), Aguascalientes (2 685 ha) y Jalisco (2 645 ha; Mapa 2.11).

## 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 mayor de recursos, y que para satisfacerla se hace necesario que las superficies ocupadas por las comunidades naturales sean sustituidas por terrenos dedicados al cultivo, a la ganadería o a cualquier otra actividad productiva. A pesar de que se

### Superficie afectada anual promedio por plagas y enfermedades forestales por entidad federativa, 1990 - 2010

Mapa 2.11



**Fuentes:**

Conafor, Semarnat. México. 2011.

Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo, Semarnat. México. 2011.

acepta que el incremento de la población y sus necesidades son importantes para explicar el cambio de uso del suelo, la relación no es tan simple. Las tasas de crecimiento poblacional y de expansión de la frontera agropecuaria no crecen a la misma velocidad: en las últimas décadas, en términos generales, la superficie agropecuaria ha crecido más lentamente que la población mundial debido, en parte, a que la producción se ha hecho más eficiente. Otros factores, 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

En general, existe una relación positiva entre el tamaño poblacional y la superficie dedicada a las actividades agropecuarias. Esta relación es más intensa en la medida en 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 (ver el Recuadro *La inercia del pasado* en la Edición 2002 del Informe). Este desfase histórico en el uso del suelo es, en parte, 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 la 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 manifestarían posiblemente 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, 2010). 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 entre 1980 y 2010: osciló entre 18 y 23.3 millones de hectáreas, con un promedio de poco más de 21 millones de hectáreas ([Cuadro D2\\_AGRIGAN03\\_01](#)).

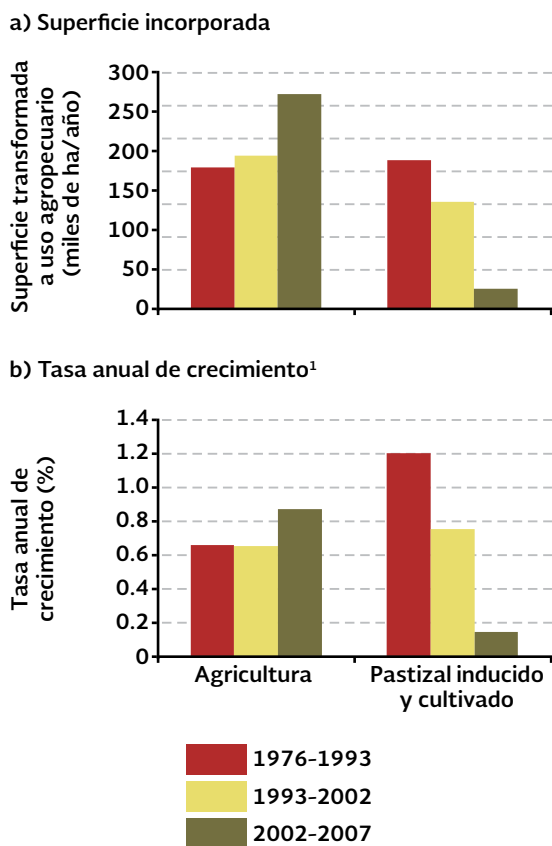
No obstante, las cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI señalan que la superficie agrícola ha seguido creciendo en el país, incluso más rápidamente en los últimos años. Mientras que entre 1976 y 1993 se transformaban poco más de 179 mil hectáreas anualmente en promedio, esta cifra alcanzó las 272 mil entre 2002 y 2007 (Figura 2.20a). En este último periodo, de la vegetación natural transformada en tierras agrícolas, 31% provino de selvas subhúmedas, 23% de matorrales xerófilos, 15% de bosques templados, 13% de pastizales naturales y 6% de selvas húmedas. En contraste, el crecimiento de las áreas destinadas a la ganadería (los pastizales cultivados o inducidos) se ha reducido de manera notable: el promedio anual de transformación entre 2002 y 2007 fue poco más de siete veces menor que el observado entre 1976 y 1993 (Figura 2.20b).

La ganadería se practica en todos los estados del país, abarcando, según los datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca, 2004), alrededor de 109.8 millones de hectáreas<sup>5</sup>, es decir, cerca del 56% de la superficie total de la república. Considerando esta estimación y tomando en cuenta que para el año 2007 los pastizales inducidos y cultivados cubrían poco menos de

<sup>5</sup> Aunque los datos citados corresponden a 1994, la información fue revisada en junio de 2009 por la Cotecoca, quien determinó que no era necesaria su actualización.

## Superficie incorporada al uso agropecuario y tasa de crecimiento anuales en México, 1976 - 2007

Figura 2.20



**Nota:**

<sup>1</sup> Se calculó con la fórmula  $r = ((s_2/s_1)^{1/t}) \times 100 - 100$ , donde  $r$  es la tasa,  $s_2$  y  $s_1$  son las superficies para los tiempos final e inicial, respectivamente, y  $t$  es el tiempo transcurrido entre fechas.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986)*, escala 1: 250 000. México. 2003.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1: 250 000. México. 2004.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

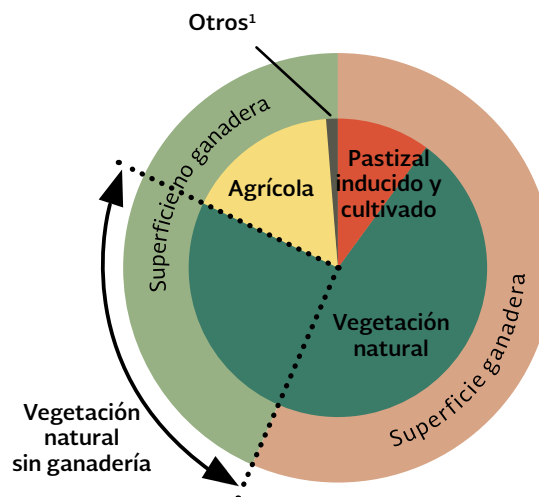
19 millones de hectáreas (cerca de 10% del país), entonces las restantes 90.8 millones de hectáreas de superficie ganadera debían encontrarse en vegetación natural, con lo cual sólo alrededor de 49 millones de hectáreas de vegetación natural (35% de la superficie remanente) podrían estar libres de actividades ganaderas (Figura 2.21).

A nivel estatal, según la Cotecoca, las mayores superficies ganaderas relativas se registran en Sonora (83% del estado), Coahuila (77%), San Luis Potosí (74%), Chihuahua y Zacatecas (cada una con 72%) y Nuevo León (71%). En contraste, los estados con menores coberturas ganaderas son Nayarit (14%), el Distrito Federal (11%) y Tlaxcala (6.5%; Mapa 2.12; Cuadro D2\_AGRIGAN04\_02).

En el ámbito pecuario se ha observado una reducción 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 2010 se registraron 4.8 millones de cabezas menos (62.8 millones). El descenso neto más marcado se observó en el ganado bovino, que disminuyó de 34.6 millones de cabezas a 30.3 millones (12.5%); por su parte, el número de ovejas aumentó 25% con respecto a 1980 y el de cabras se redujo 7% (Figura 2.22).

## Superficie ganadera y usos del suelo en México, 2007

Figura 2.21

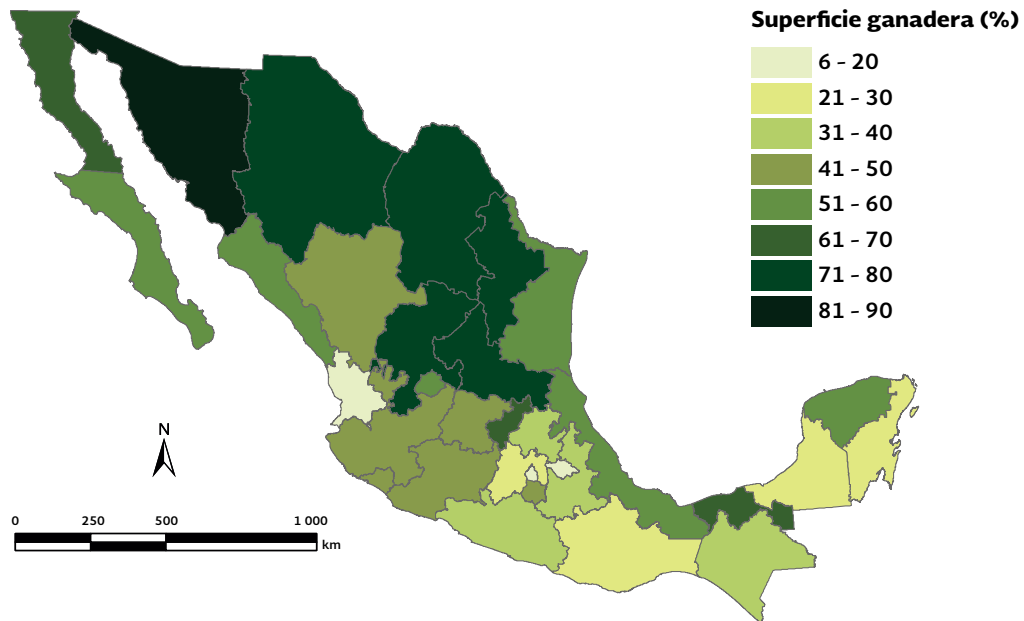


**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye zonas urbanas, forestales y cuerpos de agua.

**Fuentes:**

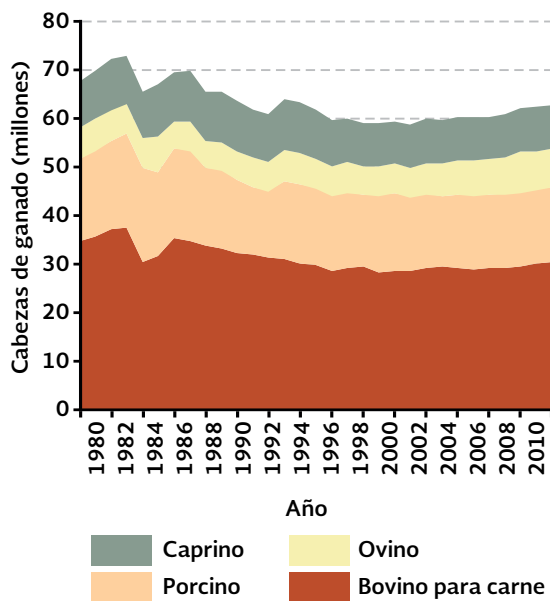
Elaboración propia con datos de:  
 Cotecoca, Sagarpa. *Monografías de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1981*. México. 2004.  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Cotecoca, Sagarpa. México. 2009.

**Población de ganado bovino, caprino, ovino y porcino en México, 1980 - 2010**

Figura 2.22

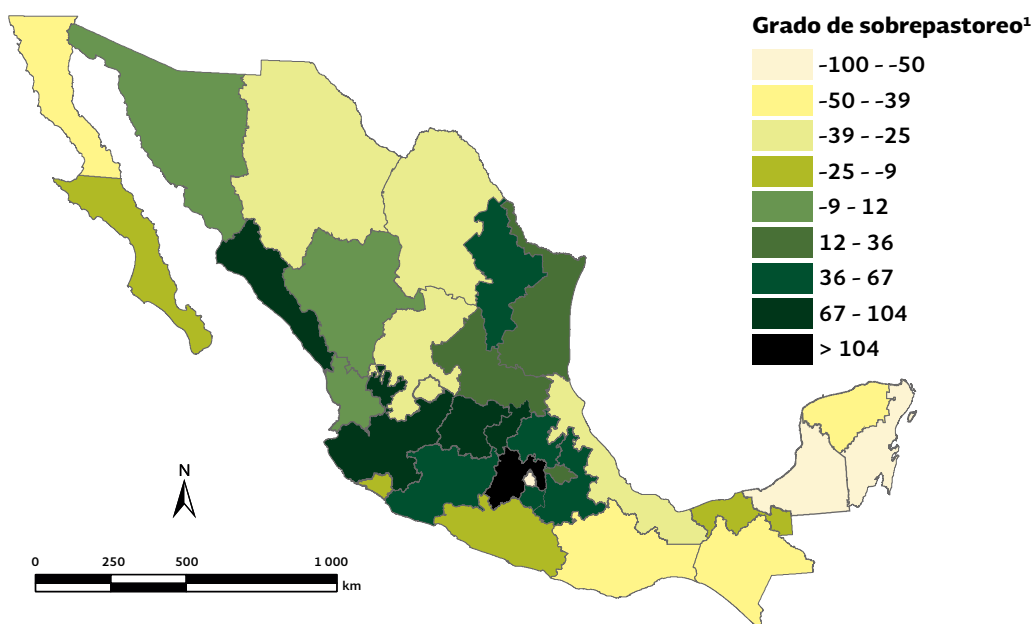


**Fuente:**  
Sagar-Sagarpa. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). México. 1980-2009.

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 2.13). Cabe señalar que los estados con mayor sobrepastoreo no coinciden necesariamente con aquellos que tienen mayor densidad de cabezas de ganado.

**URBANIZACIÓN**

Si bien es cierto que a escala nacional la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña, se trata del uso del suelo que más rápido está creciendo en algunas regiones del país. Para el año 2007, la superficie urbana era de poco más de 1.56 millones de hectáreas, es decir, el 0.82% 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 puede ser pequeño a nivel local, indirectamente afectan los usos del suelo de grandes extensiones fuera del área urbana



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

**Fuente:**  
 Cotecoca-Sagar, con datos de:  
 Cotecoca-SARH. *Monografías de coeficientes de agostadero, años 1972-1981.* México. 2004.

para satisfacer las necesidades de alimentos, madera, recreación y disposición de residuos de la población que ahí habita (ver el Recuadro *La huella ecológica de México* en el capítulo de *Población*).

## 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 plantas y animales domesticados, esto no significa que su dependencia de la vida silvestre sea mínima o nula. Una proporción importante de la población, sobre todo la que se encuentra en situación de pobreza y 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., en granjas piscícolas), es aún muy común en los países en desarrollo que el hombre no intervenga en la producción o crianza de los organismos que consume, 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 y preferentemente forestales, es decir, de los recursos maderables y no maderables de bosques y selvas. Esto responde básicamente a la existencia, calidad y disponibilidad de la información. En el caso del uso de la vida silvestre, se analiza en otra sección de este capítulo y en el dedicado a la *Biodiversidad*.

Las selvas y bosques, como ya se ha mencionado, brindan diversos servicios ambientales a la sociedad. 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, tablonés, vigas y materiales de empaque), papel, chapa, triplay y para la generación de energía a través de la quema de leña; y por otro los productos no maderables, un conjunto vasto que incluye a la tierra de monte, resinas, fibras, ceras, frutos y plantas vivas, entre muchos otros (SCBD, 2001b).

### RECURSOS FORESTALES MADERABLES

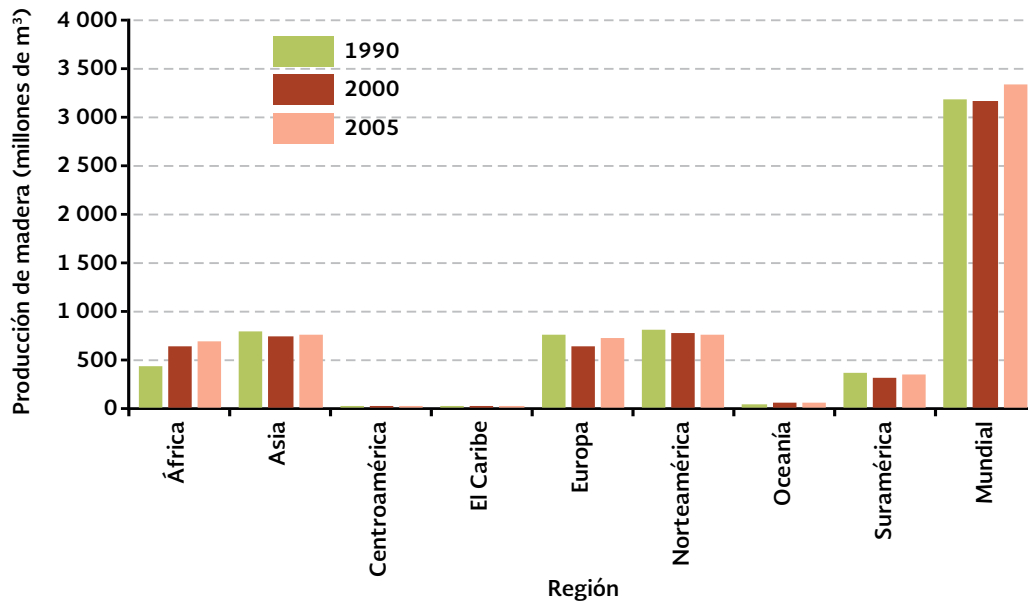
Entre 1990 y 2005, la producción mundial de madera se mantuvo relativamente constante, con volúmenes ligeramente mayores a los 3 mil millones de metros cúbicos de madera anuales, que incluían tanto la madera en rollo para uso

industrial como la que se emplea como leña (Figura 2.23). Las regiones más productivas en madera en el 2005 fueron Norteamérica (con el 23% de la producción mundial), Europa y Asia (cada una con 22%) y África (21%); en contraste, las regiones con menores volúmenes fueron Centroamérica (0.6% del total) y El Caribe (0.2%). A pesar de la estabilidad en los valores de la producción mundial en ese periodo, entre 2000 y 2005 algunas regiones mostraron tasas de crecimiento negativas en su producción maderable, como son los casos de los países de El Caribe (-0.15%) y Norteamérica (-0.39%).

A nivel de país, los mayores productores de madera en rollo en 2005 fueron Estados Unidos (27% de la producción global), Canadá (12%), la Federación de Rusia (8%), Brasil (7%), Suecia y China (cada una con 4%; Figura 2.24). Los países mencionados, en conjunto, contabilizaron el 62% de la producción mundial de madera de ese año, mientras que México contribuyó con tan sólo el 0.3% de la producción mundial.

**Producción mundial de madera<sup>1</sup> según región, 1990 - 2005**

**Figura 2.23**



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye madera industrial en rollo y leña.

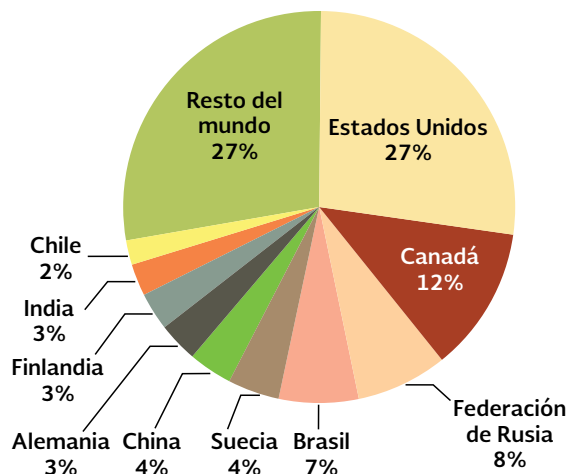
**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
FAO, *Forest Resources Assessment 2010*. Roma, 2010.



## Contribución a la producción maderera<sup>1</sup> mundial, según país, 2005

Figura 2.24



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye sólo madera industrial en rollo.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: FAO. Forest Resources Assessment 2010. Roma. 2010.

Las existencias maderables de un país dependen principalmente de la extensión de sus bosques y selvas. Sin embargo, también es determinante la cantidad de madera que tienen por unidad de superficie, que depende en última instancia 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. Los países con las mayores existencias de madera son la Federación de Rusia, Brasil, Canadá y Estados Unidos. En el caso particular de los bosques de México, se considera que se encuentran entre los que tienen menores existencias por hectárea tanto de los países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) como en América Latina (Figura 2.25).

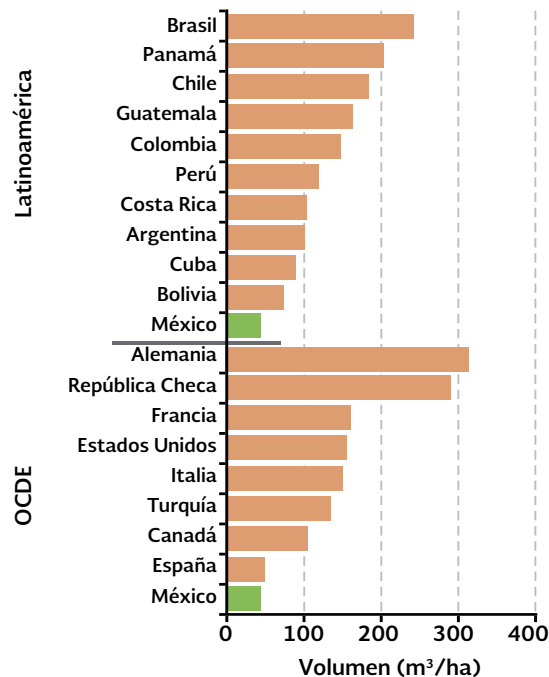
## EXISTENCIAS MADERABLES NACIONALES

A la fecha se han realizado cuatro inventarios forestales nacionales, aunque por los métodos empleados sus resultados no son comparables

entre sí. El primer inventario se realizó en el periodo 1961-1985, utilizando fotografías aéreas y efectuando muestreos de campo intensivos. El segundo, el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión de 1991, fue el primero en contener información a escala nacional. 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 su 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. Finalmente, el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 (INFyS; Conafor, 2011) es la versión más reciente. Para este inventario se realizaron muestreos de campo directos, entre octubre de 2004 y noviembre de 2007,

## México en el mundo: existencias de madera por hectárea en bosques, 2010

Figura 2.25



**Fuente:**

FAO. Situación de los bosques del mundo. FAO. Roma. 2011.

en más de 20 mil conglomerados (es decir, en parcelas con cuatro sitios de muestreo cada una), lo que equivaldría a más de 80 mil sitios distribuidos en todos los tipos de vegetación del país, de los cuales el 98% fue muestreado para la toma de datos forestales relevantes sobre el arbolado y el estrato arbustivo, así como distintos aspectos del suelo y del ambiente.

Uno de los aspectos más destacables de este inventario es la riqueza de la información que contiene. Su diseño muestral hizo posible obtener información estadística confiable de una gran diversidad de variables (se midieron un total de 112 variables en campo), entre las que destacaron la densidad y altura del arbolado, datos para el cálculo del volumen de madera en rollo y el incremento medio anual del volumen, entre otros, todo a nivel de ecosistema y por tipo de formación.

Según los datos preliminares obtenidos a partir del inventario, entre 2004 y 2007 había en el país alrededor de 3 887.4 millones de metros cúbicos de madera en rollo en pie en las selvas y bosques de país, todo en una superficie forestal de alrededor de 63.4 millones de hectáreas. Del total de madera, el mayor porcentaje está en los bosques<sup>6</sup> (62% del total, es decir, alrededor de 2 424 millones de m<sup>3</sup>) y el restante en las selvas (38%, que equivale a cerca de 1 463 millones de m<sup>3</sup>; Figura 2.26).

Los depósitos más importantes de madera en rollo en el país se encuentran en los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, con cerca del 32% del volumen total nacional, es decir, cerca de 1 240 millones de metros cúbicos (Figura 2.26). Les siguen las selvas altas y medianas (28%, poco más de mil millones de m<sup>3</sup>), los bosques de coníferas (18%, alrededor de 707 millones de m<sup>3</sup>) y los bosques de latifoliadas (12%, 477 millones de m<sup>3</sup>).

## Existencias maderables en bosques y selvas en México, 2004 - 2009

Figura 2.26



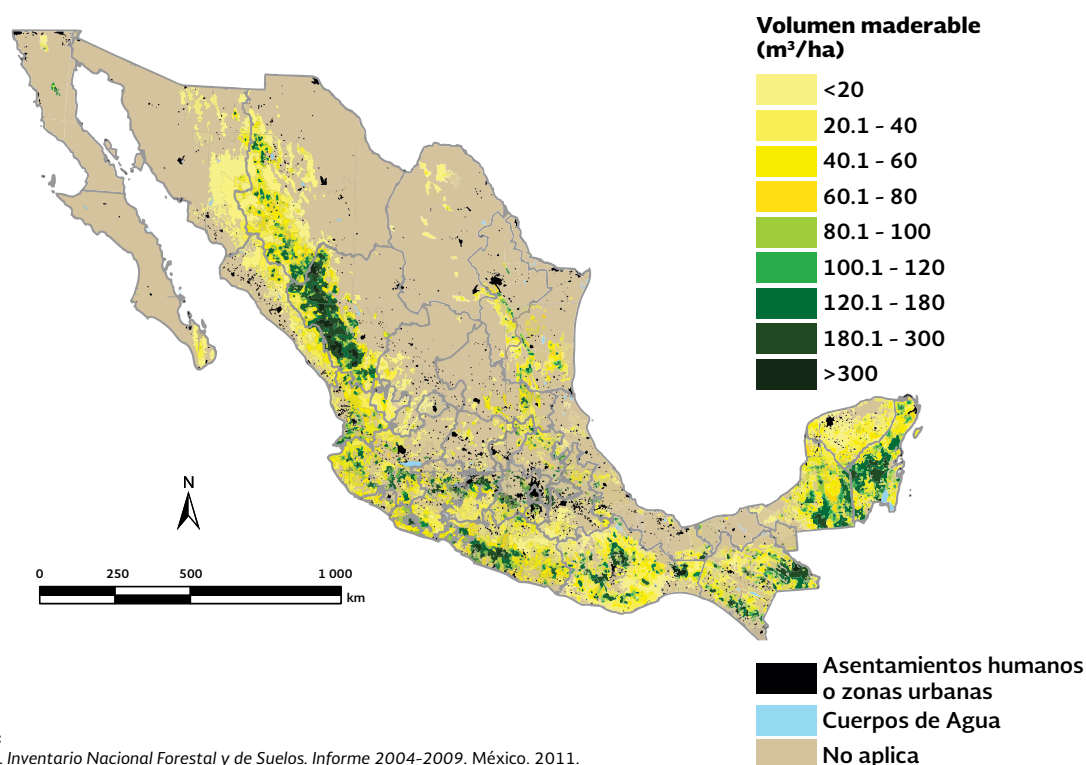
**Fuente:**

Conafor. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009*. México, 2011.

Geográficamente, las áreas boscosas con los mayores volúmenes de madera se encuentran en las serranías del estado de Durango, con valores por arriba de los 100 metros cúbicos por hectárea (Mapa 2.14), aunque también pueden encontrarse áreas con grandes volúmenes en los bosques de Oaxaca, Chiapas y Guerrero. Por su parte, las selvas con los mayores volúmenes maderables se localizan en el sureste en los estados de Chiapas, Quintana Roo y Campeche. Como puede observarse en el Mapa 2.14, la mayor parte de la superficie forestal nacional corresponde a zonas con volúmenes reducidos de madera almacenada, es decir, a bosques y selvas con productividades alrededor de los 60 metros cúbicos o menos por hectárea.

La condición de la vegetación marca también diferencias importantes en los volúmenes de madera que guardan los bosques y selvas:

<sup>6</sup> El Inventario clasifica dentro de la categoría de bosques a los de coníferas, coníferas y latifoliadas y latifoliadas. Su agrupación considera a todos los tipos de vegetación que esta publicación clasifica como "bosques templados", además del bosque de galería (ver Tabla 2.1). En el caso de las selvas (que el Inventario clasifica como altas y medianas y bajas) no incluye al matorral subtropical que esta obra sí clasifica dentro de la categoría de "selvas".

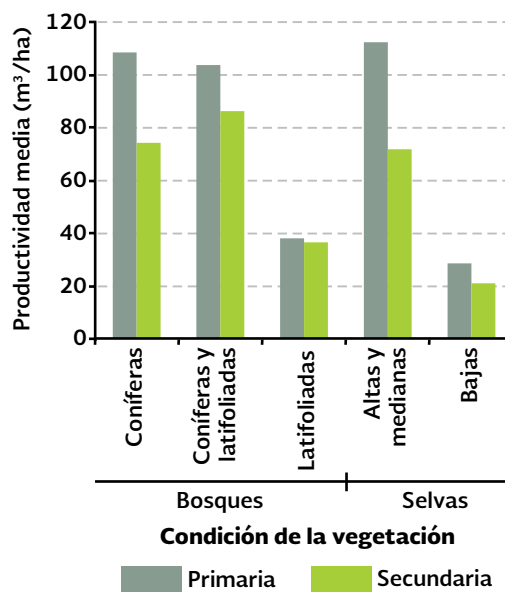


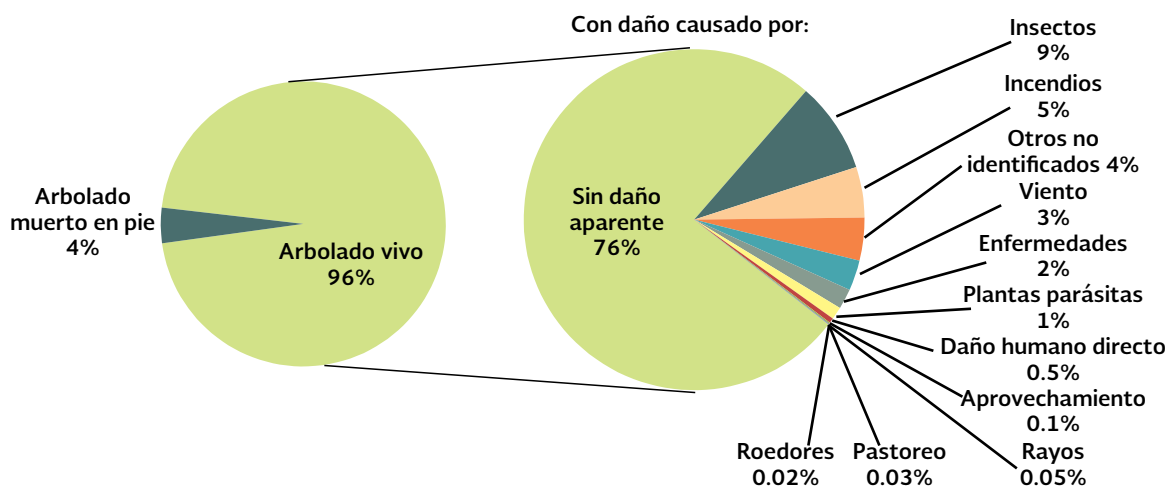
la mayor proporción de las existencias maderables del país se encuentra en la vegetación primaria: cerca del 60% del volumen total nacional, es decir, cerca de 2 417 millones de metros cúbicos. La formación con mayor productividad media son las selvas altas y medianas primarias (alrededor de 112 m<sup>3</sup>/ha, valor 36% mayor que su contraparte secundaria), seguidas por los bosques de coníferas (108 versus 74 m<sup>3</sup>/ha en su condición secundaria) y los de coníferas y latifoliadas (104 versus 86 m<sup>3</sup>/ha; Figura 2.27).

Anualmente, por el crecimiento de los árboles y de sus renuevos, se incrementa el volumen de madera que existe en las masas forestales. Dicho crecimiento resulta fundamental para calcular los volúmenes que pueden aprovecharse de manera sostenible en una zona en un periodo particular. Según los datos del INFyS, el volumen de madera que se acumula en los bosques de coníferas del país asciende a 2.29 metros cúbicos por hectárea por año, el cual supera los 1.88

**Productividad en bosques y selvas en México según condición de la vegetación, 2004 - 2009**

Figura 2.27



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Conafor. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. México. 2011

metros cúbicos por hectárea estimados para los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas. Considerando la productividad de todos los tipos de bosques del país se puede estimar que cada año los bosques nacionales aumentarían sus existencias en 15.5 millones de metros cúbicos. En el caso de las selvas, es imposible estimar el aumento de las existencias nacionales puesto que el INFyS 2004-2009 tan sólo midió el incremento medio anual en volumen en coníferas y no en las especies propias de las selvas.

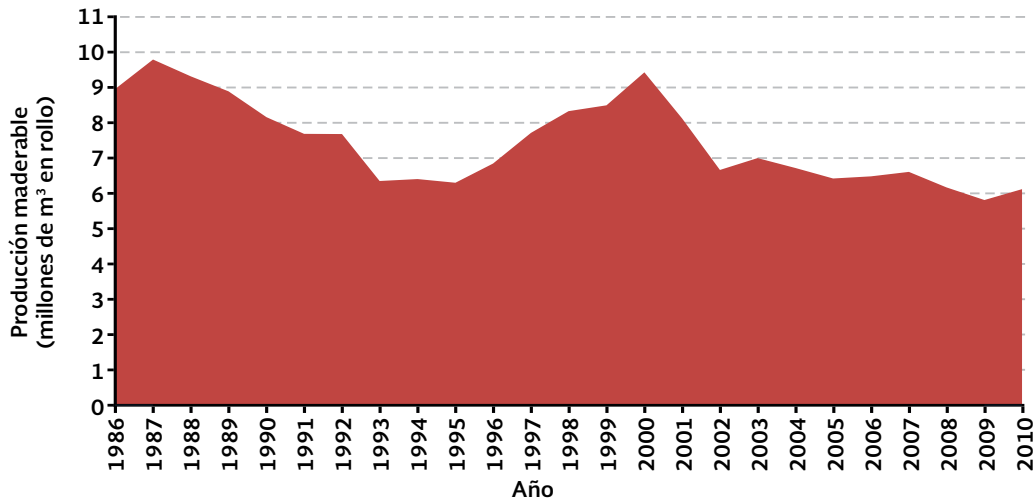
Por otro lado, la salud de las masas forestales es relevante no sólo porque permite una adecuada explotación de sus recursos, sino también porque mantiene los demás servicios ambientales que brindan a la sociedad los bosques y selvas. El INFyS también evaluó la salud de los bosques y selvas nacionales a través de los impactos ambientales y de los agentes de perturbación que las deterioran. De acuerdo a sus resultados, de la totalidad del arbolado muestreado, el 96% correspondió a árboles vivos y el restante 4% se encuentra muerto en pie (Figura 2.28). Aunque resultó imposible conocer las causas de mortalidad de la totalidad de los árboles, se reconoció a los insectos, los incendios, el viento y las enfermedades como los principales agentes.

Sin embargo, no todo el arbolado vivo muestreado se encontró sano. Aunque el 76% de los árboles examinados no evidenció daño aparente, el restante 24% mostraba signos de algún agente causal: insectos (9%), incendios (5%), viento (3%), enfermedades (2%) y plantas parásitas (1%), entre otros agentes (Figura 2.28).

## PRODUCCIÓN FORESTAL MADERABLE

La producción maderable anual entre 1986 y 2010 promedió una cifra cercana a los 7.5 millones de metros cúbicos en rollo; sin embargo, aunque la producción ha mostrado un comportamiento variable, puede observarse una tendencia a su reducción (Figura 2.29; [Cuadro D3\\_RFORESTA04\\_01](#)). Prueba de ello es que el promedio de la producción durante la primera década del siglo XXI fue cerca de 13% menor al promedio registrado entre 1986 y el año 1999.

La producción nacional está basada sobre todo en la madera de los bosques templados: las coníferas (que comprenden pinos y oyameles, entre otras) y las latifoliadas (encinos y otras especies) contabilizaron en el periodo 1990-2010 cerca del 95% de la producción nacional,



**Fuentes:**  
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. *Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993*. México. 1994.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998*. México. 1996-1999.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006*. México. 2000-2007.

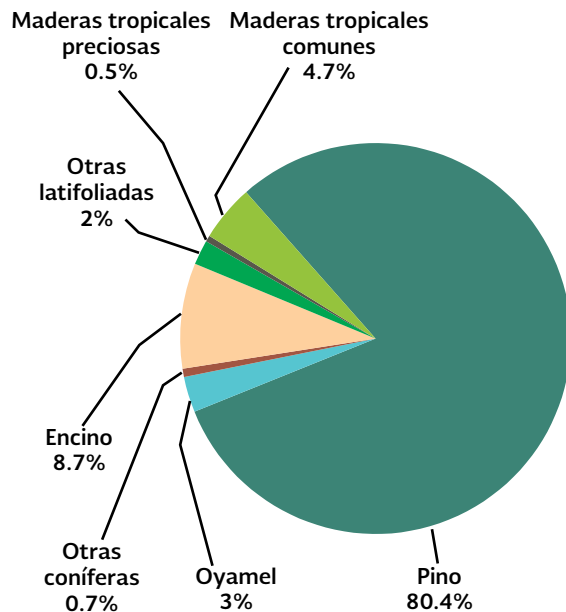
seguidas por las maderas tropicales comunes (4.7%) y las maderas preciosas, que aportaron poco al volumen de madera producida (tan sólo el 0.5%) en el mismo periodo (Figura 2.30; Cuadro D3\_RFORESTA04\_02). Las principales especies aprovechadas entre esos años fueron el pino (120.3 millones de m³ en rollo, esto es, 80.4% de la producción del periodo) y el encino (13 millones de m³, 8.7%; Figura 2.30).

Los estados que más contribuyeron a la producción forestal maderable en el periodo 1990-2011 fueron Durango (1.95 millones de m³ anuales en promedio, 27% de la producción total del periodo), Chihuahua (1.41 millones, 20%) y Michoacán (971 mil, 14%; Mapa 2.15; Cuadro D3\_RFORESTA04\_01). En contraste, Baja California, Morelos y Colima fueron los que contribuyeron en menor proporción al volumen total nacional (0.03, 0.04 y 0.06%, respectivamente).

A diferencia de lo que ocurre en otros países, donde la creciente demanda de celulosa para la fabricación de papel es el motor más importante detrás del aumento en la explotación maderera, en México el principal uso de la madera ha sido para la escuadría, es decir, para la producción de tablas, tablones,

Producción maderable según especie, 1990 - 2010

Figura 2.30



**Fuentes:**  
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. *Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993*. México. 1994.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998*. México. 1996-1999.  
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006*. México. 2000-2007.

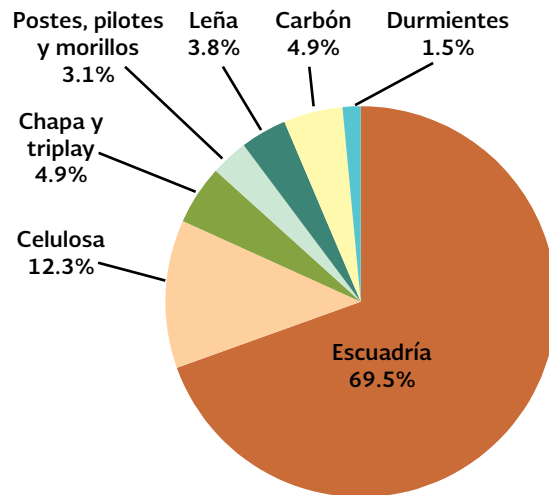
vigas y material de empaque. El 69.5% del volumen total de madera extraída entre 1997 y 2011 se destinó a este fin (Figura 2.31; Cuadro D3\_RF0RESTA04\_03); le siguen la extracción para la fabricación de celulosa (12.3% del total del volumen del mismo periodo) y para chapa y triplay y carbón (cada una con 4.9%).

La caída de la extracción maderera nacional se refleja en la disminución de la producción de escuadría y celulosa durante el periodo 1997-2011 (Figura 2.32). En el caso de la escuadría, el volumen de la producción de los últimos nueve años no ha excedido el 70% de la producción máxima en el periodo (cerca de 6.5 millones de m<sup>3</sup> en rollo en el año 2000). El caso de la celulosa es también significativo: el valor de 2011 fue de tan sólo el 28% de la producción del año 2000 (alrededor de 1.72 millones de m<sup>3</sup> en rollo).

De acuerdo con estos datos, el uso de la madera como energético es mínimo en México, pues entre 1997-2011 se empleó en promedio

**Usos principales de la madera en México, 1997 - 2011**

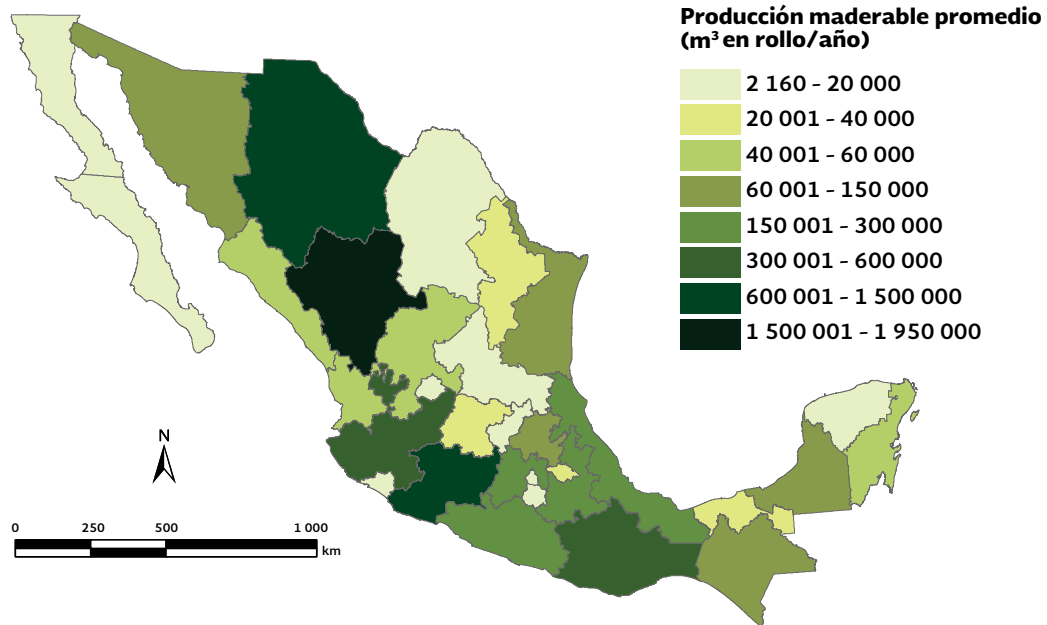
**Figura 2.31**



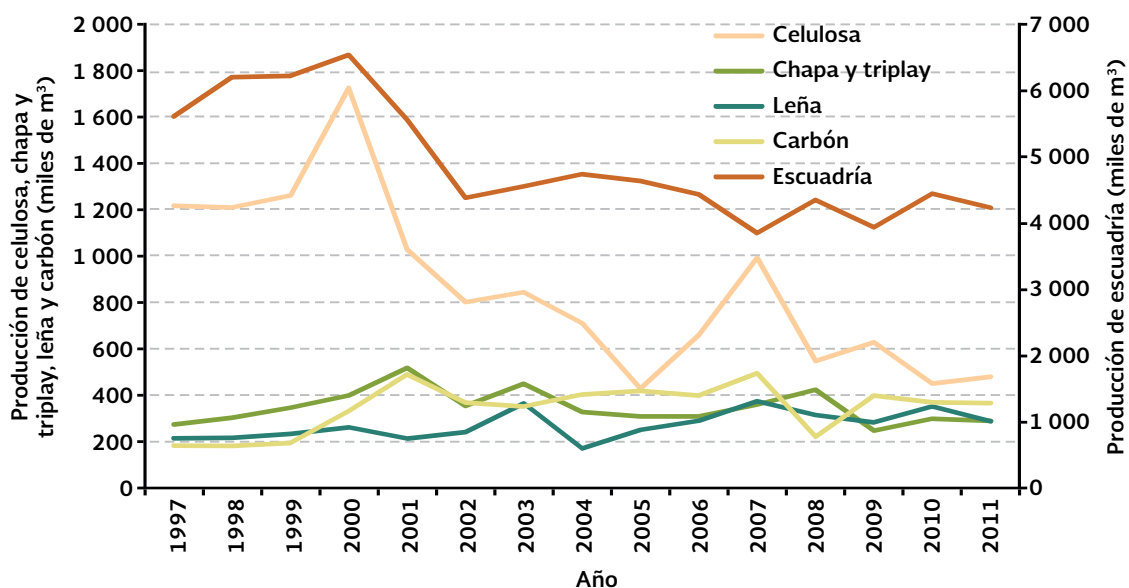
**Fuentes:**  
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. México. 1994.  
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. México. 1996-1999.  
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. México. 2000-2007.

**Producción maderable anual promedio por entidad federativa, 1990 - 2011**

**Mapa 2.15**



**Fuentes:**  
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. México. 1994.  
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. México. 1996-1999.  
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. México. 2000-2007.

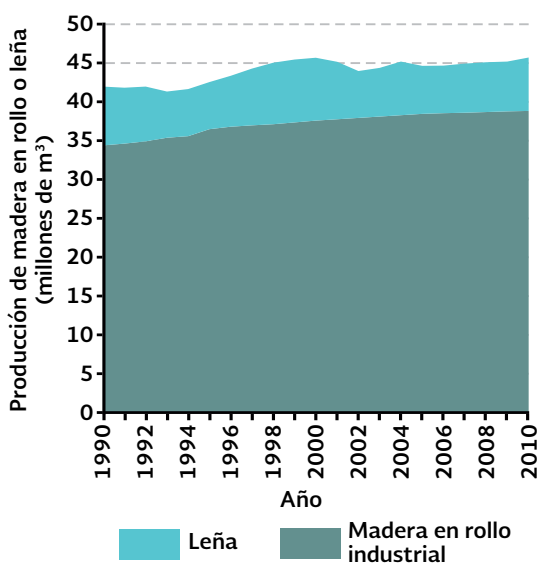


Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. México. 1994.  
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. México. 1996-1999.  
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. México. 2000-2007.

Producción de madera según su empleo como leña o en la industria, 1990 - 2010

Figura 2.33



Fuente:

FAO. ForeSTAT. Roma. 2012  
 Disponible en: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=626&lang=es#ancor>. Fecha de consulta: marzo de 2012.

sólo el 3.8% de la producción como leña y 4.9% como carbón (Figura 2.31). Estas cifras contrastan fuertemente con la estimación que realizó la FAO de alrededor de 38 millones de metros cúbicos anuales en promedio entre 1997 y 2010 y que corresponderían al 85% de la producción nacional maderable de ese periodo (Figura 2.33).

Es importante señalar que los datos de producción maderable no incluyen la “cosecha de leña” en gran parte de las zonas rurales, las zonas áridas o en las orillas de los caminos, la cual es empleada principalmente por la población rural como combustible. Es muy probable que el factor que incide de 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 y es administrada, en el mejor de los casos, 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 la base de recursos naturales se degrada y se compromete la disponibilidad futura de los mismos. El INFyS 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 estos datos, el aumento anual de coníferas en México es de aproximadamente 15.5 millones de metros cúbicos de madera en rollo, el cual está por arriba (poco más de tres veces) de la producción registrada para este grupo de especies en 2011. Si bien esto sugeriría que no se ha sobrepasado la capacidad de producción de los bosques de coníferas del país, debemos recordar que la heterogeneidad en la disponibilidad, el aprovechamiento y el cambio de uso del suelo en el país podrían mostrar a nivel local panoramas distintos.

## RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES

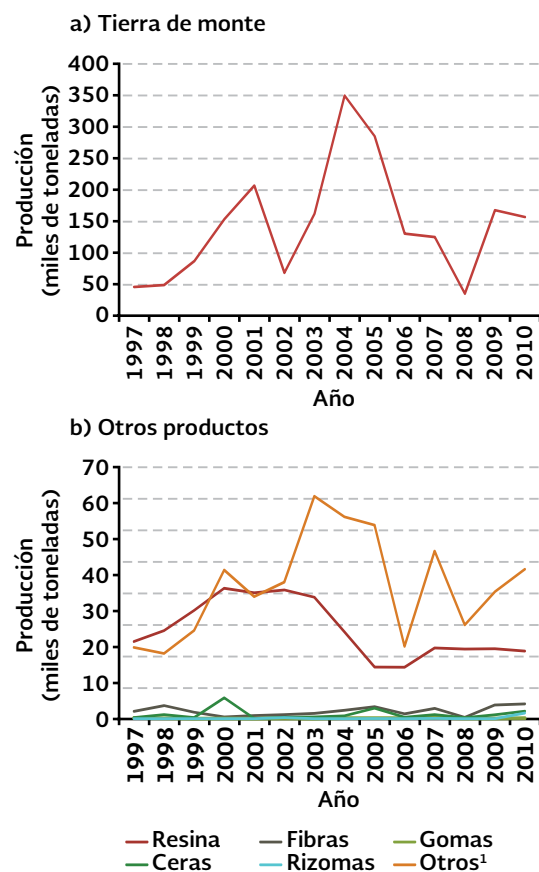
Los productos forestales no maderables (PFNM) reciben, por lo general, una menor atención en comparación con los recursos maderables. Sin embargo, comprenden una importante variedad de productos medicinales, alimenticios, materiales para la construcción, resinas, gomas, tintes, ceras, tierra de monte, esencias y aceites, entre otros. En general 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 la obligación de reportar su extracción. Por ello, los valores reportados aquí 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.

La producción nacional de PFNM mostró fuertes oscilaciones en el periodo 1997-2010,

promediando poco más de 209 mil toneladas por año. La producción está influenciada mayormente por la extracción de tierra de monte, la cual osciló entre poco menos de 35 mil y 350 mil toneladas anuales y acumuló el 68.8% del volumen total de PFNM entre esos años (alrededor de 2 millones de toneladas, Figura 2.34a). Le siguen en importancia por su volumen de producción en el periodo, las resinas (11.8% del volumen total de PFNM, cerca de 347 mil toneladas) y las fibras (1%, poco más de 29 mil toneladas; Figuras 2.34b y 2.35; [Cuadro D3\\_RFORESTA04\\_05](#)).

### Producción forestal no maderable, 1997 - 2010

Figura 2.34



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye: hongos, semillas, hojas, nopal, tallos, frutos, musgo, heno, etc.

**Fuentes:**

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.

SARH. *Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993*. México. 1994.

Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998*. México. 1996-1999.

Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006*. México. 2000-2007.

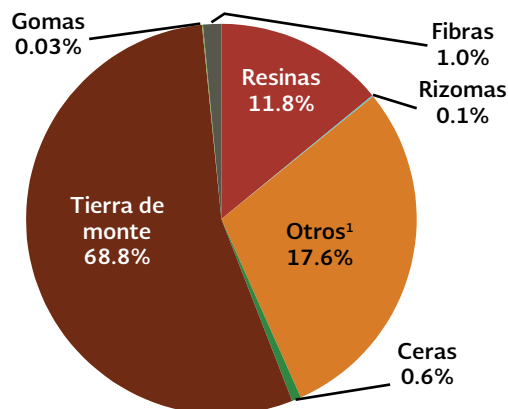


Si bien las fibras y las ceras no son los productos más importantes en cuanto al volumen de producción (en conjunto sumaron tan sólo 1.6% del volumen de PFNM del periodo; Figura 2.35), representan el sustento para muchas familias de bajos ingresos en el país. Generalmente se producen en las zonas áridas y semiáridas a partir de plantas de las familias de las agaváceas, bromeliáceas y euforbiáceas. Los estados que registraron la mayor producción no maderable entre 1997 y 2010 fueron el estado de México (728 273 toneladas; 21.9% del total para el periodo), Distrito Federal (591 288 t; 17.8%) y Sonora (587 987 t; 17.7%); en contraste, algunos de los que menos produjeron fueron: Quintana Roo (682 toneladas; 0.02% del total), Aguascalientes (753 t; 0.023%) y Baja California Sur (968 t; 0.03%; Mapa 2.16; Cuadro D3\_RFORESTA04\_04).

Una característica de la explotación de los PFNM es la escasa variedad de productos y especies silvestres en las cuales se concentra.

**Producción forestal no maderable según producto, 1997 - 2010**

**Figura 2.35**



**Nota:**

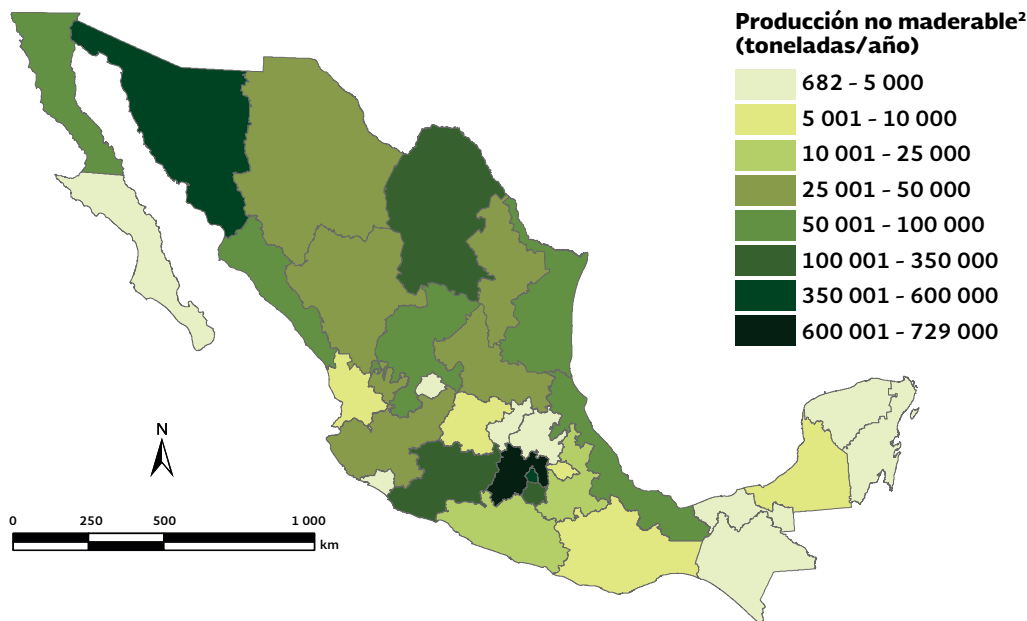
<sup>1</sup> Incluye: hongos, semillas, hojas, nopal, tallos, frutos, musgo, heno, etc.

**Fuentes:**

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997-1999. México. 1998-2000.  
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1990-2005. México. 1991-2006.

**Producción no maderable por entidad federativa, 1997 - 2010<sup>1</sup>**

**Mapa 2.16**



**Notas:**

<sup>1</sup> Los datos de 2010 corresponden a proyecciones del área.

<sup>2</sup> Los datos incluyen tierra de monte.

**Fuentes:**

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007-2010.  
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. México. 1994.  
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. México. 1996-1999.  
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. México. 2000-2007.

Si consideramos que la riqueza florística del país alcanza poco más de 25 mil especies tan sólo para el caso de las plantas superiores, el número de ellas que se utiliza es muy reducido, ya que no llegan a 100 especies las que se explotan comercialmente y menos de un millar las que tienen aprovechamiento regional (Figura 2.36; [Cuadro D3\\_RFORESTA04\\_06](#)).

Un efecto colateral de esta concentración en unos pocos productos es que la economía de las personas y comunidades que dependen de ellas se torna vulnerable a las fluctuaciones del mercado, lo que ocasiona que si los precios de estos productos se desplomaran, podrían dejar a los productores en una situación muy comprometida; este caso ya ha ocurrido en el pasado, por ejemplo, a los productores de cera de candelilla, de chicle y de barbasco. Además de su potencial económico, se ha sugerido que incentivar el uso de algunos de los PFNM puede ser una excelente alternativa para la conservación de la vegetación natural donde se encuentran, ya que para su permanencia requieren de ecosistemas naturales con cierto grado de conservación.

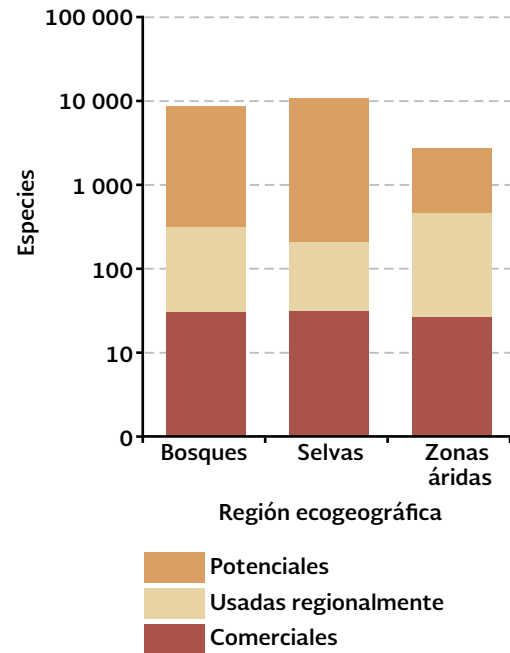
## CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS RECURSOS NATURALES

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 de buena parte del territorio nacional. 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

### Especies aprovechadas y con potencial de aprovechamiento según región y formación vegetal

Figura 2.36



**Fuentes:**

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

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 la 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, lluvias torrenciales, inundaciones, ventiscas 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 que pueden resultar en fenómenos sociales negativos para la sociedad en su conjunto. En este sentido, el desarrollo de la sociedad ha dependido, y lo seguirá haciendo, del continuo y adecuado aprovisionamiento de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas, el cual está inevitablemente ligado a su integridad y funcionamiento.

Frente a este panorama, ha sido evidente la necesidad de poner en marcha, desde el gobierno federal, estrategias que permitan garantizar la permanencia del capital natural nacional y del abastecimiento continuo de los servicios que brindan. En general, son tres las líneas dentro de las cuales pueden agruparse a los programas y acciones federales encaminadas a cumplir estos propósitos.

En primer lugar, están los instrumentos que buscan proteger y detener la pérdida de la superficie remanente de los ecosistemas naturales, con lo cual, además de salvaguardar a ecosistemas y especies representativas de la biodiversidad nacional, se conservan los servicios ambientales de muchas regiones del país. Dentro de ellos 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 y faunísticos—, 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 fue 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 los 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 la Edición 2008 del Informe). 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, el tercer grupo de instrumentos se encamina, por un lado, a revertir la pérdida de la vegetación natural, básicamente a través de la reforestación; y por otro, a detener la amenaza que constituyen, principalmente para los ecosistemas forestales, los incendios forestales y las enfermedades y plagas que los atacan. Debe mencionarse que también existen otros instrumentos que han servido, de manera indirecta, para la protección de los ecosistemas terrestres del país: los ordenamientos ecológicos del territorio y las evaluaciones de 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 de 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

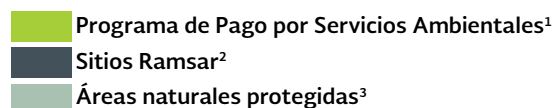
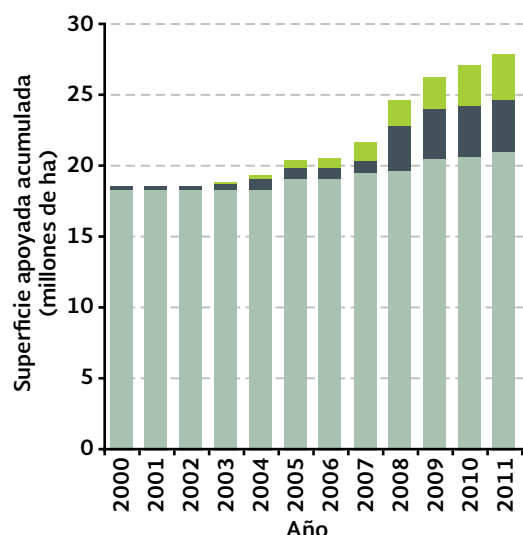
La estrategia de conservación de los ecosistemas terrestres pretende, básicamente, procurar la protección de zonas naturales importantes por su biodiversidad y/o los servicios ambientales que brindan a la sociedad. Dentro de esta estrategia, los instrumentos más importantes impulsados han sido las áreas naturales protegidas federales (ANP), los humedales de la Convención Ramsar y los programas de pago por servicios ambientales (PSA). En conjunto, estos instrumentos protegían, a diciembre de 2011, alrededor de 27.5 millones de hectáreas, lo que equivale aproximadamente al 14% de la superficie nacional continental (Figura 2.37).

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 servicios ambientales de diversos tipos y albergan recursos naturales importantes o especies de importancia ecológica, económica y/o cultural. A nivel global, las áreas protegidas cubren 17 millones de kilómetros cuadrados, lo que equivale a cerca del 13% de la superficie terrestre (UNEP, 2011).

En México, el crecimiento de la superficie protegida de ecosistemas terrestres por ANP federales ha sido importante: pasó de 16.4 millones a 20.7 millones de hectáreas entre 1994 y diciembre de 2011, lo que representa, para este último año, alrededor del 10.5% 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 2011 corresponde al 81.2% de la superficie total incluida en este instrumento, ya que el restante 18.8% (4.8 millones de ha) corresponde a zonas marinas

### Superficie apoyada por programas con enfoque de conservación de los ecosistemas, 2000 - 2011

Figura 2.37



#### Notas:

<sup>1</sup> La superficie de Programas de Servicios Ambientales incluye al Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y al 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).

<sup>2</sup> La superficie por Ramsar corresponde a la que se encuentra fuera de las ANP.

<sup>3</sup> La superficie de Áreas Naturales Protegidas sólo incluye las de carácter federal.

#### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
 Conafor, Semarnat. México. 2012.  
 Conanp, Semarnat. México. 2012.

(para mayores detalles ver el capítulo de **Biodiversidad**). En las ANP federales terrestres los ecosistemas mayormente representados son los matorrales xerófilos (cerca de 7.3 millones de ha, 36% de la superficie terrestre protegida), los bosques templados (4.2 millones de ha, 21%) y las selvas subhúmedas y húmedas (3.1 millones de ha en conjunto, 9 y 7%, respectivamente).

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, además de las llamadas áreas certificadas (mayores detalles acerca de estos instrumentos pueden consultarse en el capítulo de *Biodiversidad* en su sección de *Protección de la biodiversidad*). Al año 2010 se habían decretado 296 ANP a nivel estatal y 98 de carácter municipal, que ocupaban una superficie aproximada de 3.3 y 0.17 millones de hectáreas, respectivamente (Bezaury et al., 2009a y b). En el caso de las áreas certificadas, para septiembre de 2012 se contaban 324 áreas, con poco menos de 317 mil hectáreas.

México también participa en 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 los de importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos. A diciembre de 2011, México había inscrito 134 sitios a la Convención, los cuales ocupaban alrededor de 8.9 millones de hectáreas. En el territorio continental del país están registrados 124 humedales Ramsar, con una superficie de alrededor de 6.6 millones de hectáreas, que protegen, entre otros ecosistemas, manglares, ciénegas, lagunas y desembocaduras de ríos. De ellos, 63 humedales están incluidos, total o parcialmente, dentro de las ANP —con una superficie de 3.1 millones de ha— mientras que 61 quedan excluidos de las áreas protegidas (con un área de cerca de 3.6 millones de ha). Para mayor información de los *humedales de la Convención Ramsar*, ver también el capítulo de *Biodiversidad*.

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 propietarios de los terrenos que mantienen a los ecosistemas que producen ciertos servicios ambientales, reciban un pago por ello, incentivando su protección y evitando el

cambio de uso del suelo. En su mayoría, esta estrategia ha estado dirigida, 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 fue en el año 2003 con el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), a cargo de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) y que formó parte 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 comenzó en el año 2004. Promueve el acceso de los propietarios de terrenos forestales a los mercados nacionales 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 a diciembre de 2011 los 3.23 millones de hectáreas, de las cuales 2.42 millones (75%)

pertenecen al PSAH y las restantes 809.6 mil hectáreas (25%) al PSA-CABSA. La superficie estatal apoyada por los programas de servicios ambientales entre 2003 y 2011 se muestra en el Mapa 2.17. El estado que contó con la mayor superficie beneficiada en este periodo fue Oaxaca (con poco menos de 391 mil ha, es decir, 12.1% de la superficie total beneficiada por el programa), seguido por Durango (269 mil ha; 8.3%), Chihuahua (236 mil ha; 7.3%) y Chiapas (227 mil ha; 7%).

### USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

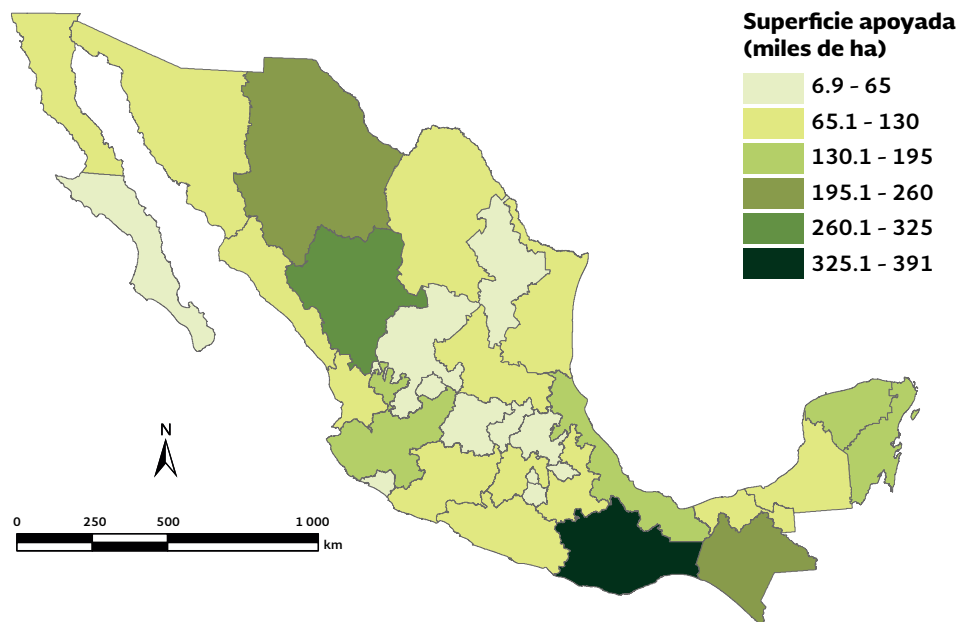
En México y el mundo, los recursos naturales fueron vistos durante mucho tiempo como fuentes inagotables de sustento o ingreso económico. De ahí que su aprovechamiento, en muchos casos, se haya regido exclusivamente

por su demanda en el mercado o las necesidades cotidianas, ignorando 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 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 posibiliten su aprovechamiento en el largo plazo.

Con el fin de lograr el uso de la vida silvestre nacional bajo criterios de sustentabilidad, se han diseñado e implementado diversos

#### Superficie apoyada por los Programas de Pago por Servicios Ambientales<sup>1</sup> (PSA) por entidad federativa, 2003 - 2011

Mapa 2.17



**Nota:**

<sup>1</sup> La superficie incluye al Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y al 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).

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Conafor, Semarnat. México. 2012.

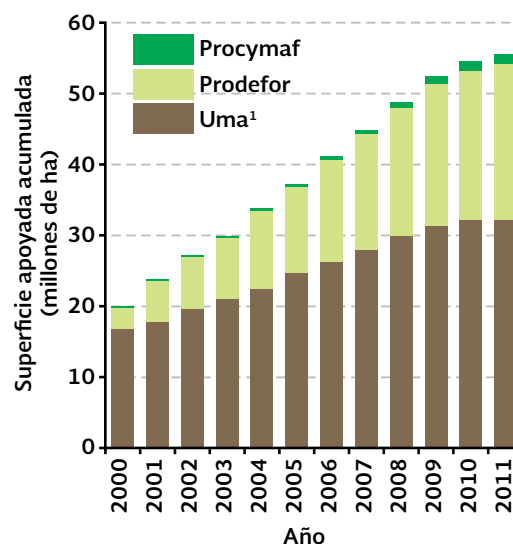
instrumentos que pueden agruparse en dos ejes principales: el encaminado al manejo de la vida silvestre de interés cinegético u ornamental, representado por las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma); y en segundo lugar, aquél que busca el desarrollo de la actividad forestal por medio del aumento de la productividad y la diversificación en el uso de los ecosistemas forestales, a cargo del 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 2011, una superficie total cercana a los 55.6 millones de hectáreas (Figura 2.38), lo que equivale al 28.3% de la superficie continental del país. De la superficie beneficiada a 2011, el 57.9% pertenecía a las Uma (alrededor de 32.2 millones de ha<sup>7</sup>), 39.7% al Prodefor (22.1 millones de ha) y el restante 2.4% (cerca de 1.32 millones de ha) al Procymaf.

Las Unidades de Manejo de la Vida Silvestre (Uma) fueron establecidas en 1997 y son coordinadas por la Semarnat a través de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS). Buscan el aprovechamiento de la vida silvestre de forma legal y viable, a la vez que promueven esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, por medio del uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales. 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 podría conservar colateralmente el hábitat

### Superficie apoyada con programas con enfoque de uso sustentable de los ecosistemas, 2000 - 2011

Figura 2.38



**Nota:**

<sup>1</sup> La superficie de Uma reportada para cada entidad corresponde a la que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como las unidades vigentes a diciembre de 2011.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2012.  
Conanp, Semarnat. México. 2012.

de las especies objetivo —necesario para mantener el buen estado de las poblaciones aprovechadas—, así como los servicios ambientales que generan.

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. Los estados con mayor superficie acumulada de Uma extensivas vigentes entre 1999 y 2011 fueron Sonora (7.9 millones de ha, 24.5% de la superficie nacional de Uma extensivas), Coahuila (4.9 millones de ha, 15.1%), Baja California (2.8

<sup>7</sup> La superficie de Uma reportada en el texto corresponde a la que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como la de las unidades vigentes a diciembre de 2011. No obstante, el valor histórico reportado por esa Dirección, que incluye a las que ya se han dado de baja, contabiliza a la misma fecha una superficie de 36.1 millones de hectáreas.

millones de ha; 8.8%) y Baja California Sur (2.6 millones de ha, 8.2%; Mapa 2.18).

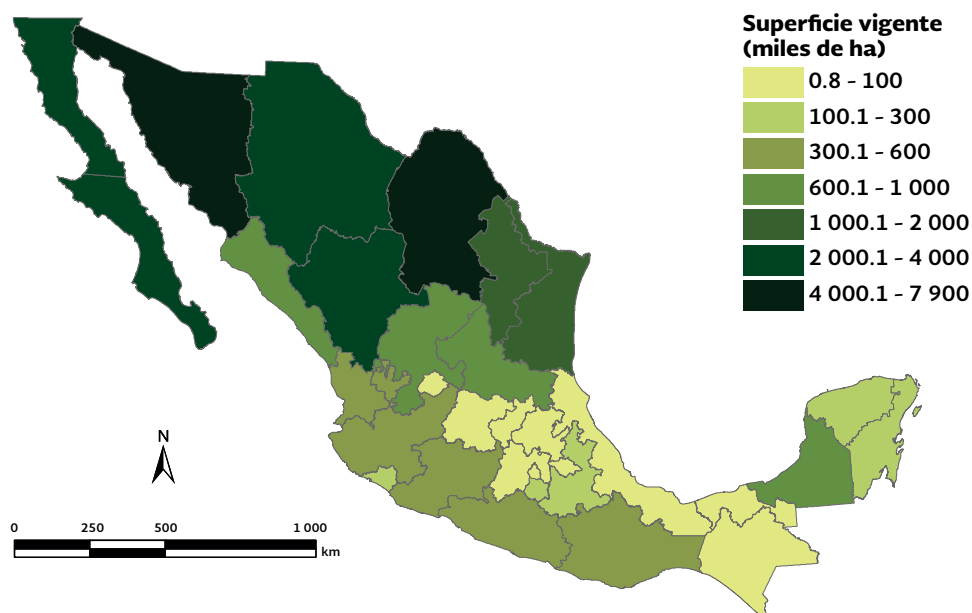
En algunos casos, la instalación de las Uma se ha llevado a cabo dentro de las ANP, lo que ha generado beneficios adicionales, entre ellos la disminución de la presión de las comunidades en las zonas protegidas. Aunque no se posee una cifra reciente de la superficie de Uma incluida en ANP, en 2005 ascendía 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 del capítulo de *Biodiversidad* en su sección de Protección de la biodiversidad.

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, que pueden ser ejidos, comunidades y pequeños propietarios. Este programa se coordina con los gobiernos de los estados. El Prodefor ha crecido significativamente desde su creación: pasó de 3 millones de hectáreas apoyadas para su incorporación o reincorporación en el periodo 1997-2000, a 22.2 millones en 2011. 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 2011 se muestra en el Mapa 2.19. Los estados con mayor superficie apoyada por este programa en ese periodo fueron Sonora (12% de la superficie total apoyada, 1.76 millones de

### Superficie de Unidades de Manejo de la Vida Silvestre (Uma)<sup>1</sup> extensivas por entidad federativa, 1999 - 2011

Mapa 2.18



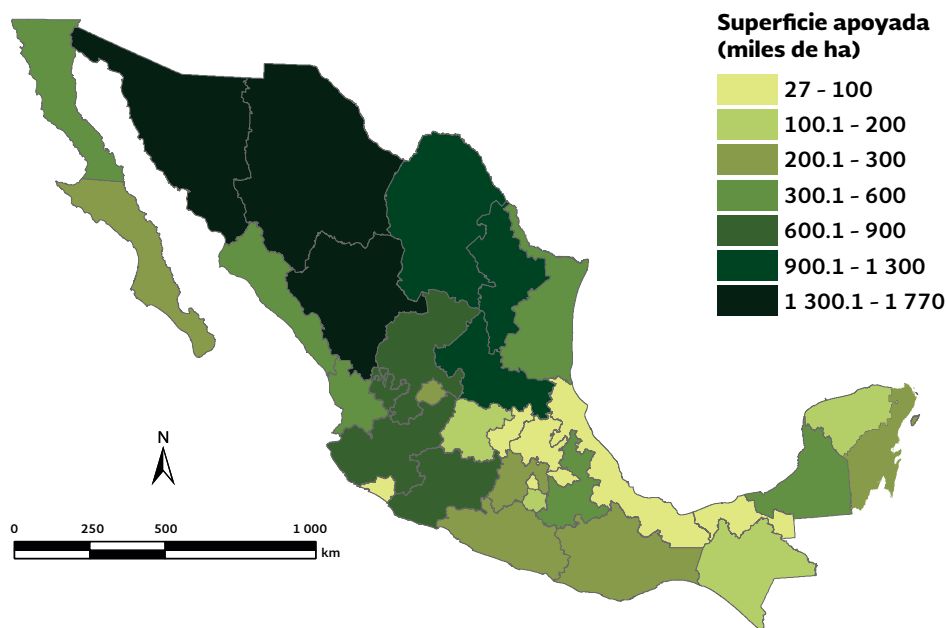
**Nota:**

<sup>1</sup> La superficie de Uma reportada para cada entidad corresponde a la que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como las unidades vigentes a diciembre de 2011.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2011.





**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

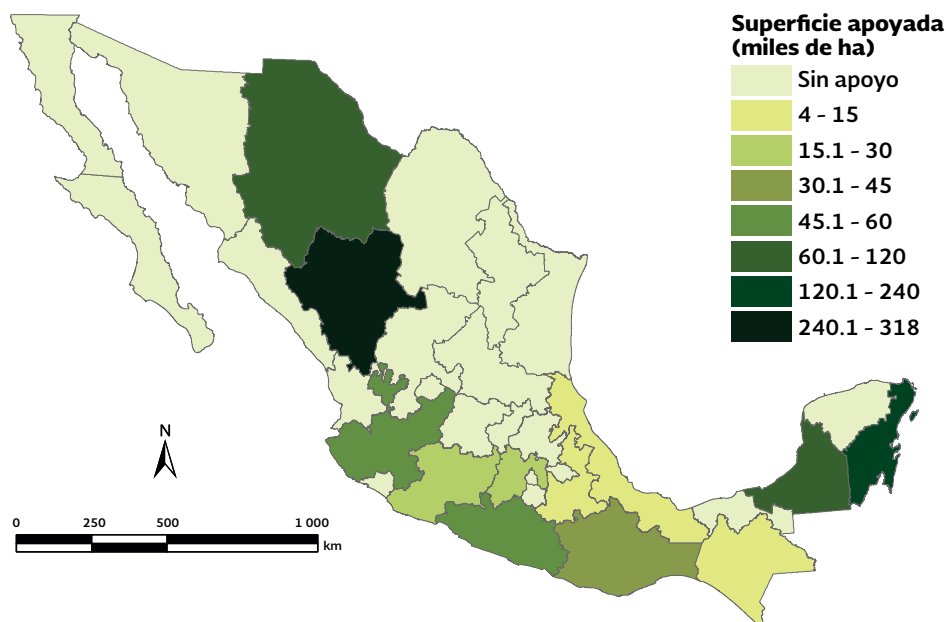
ha), Durango (10%, 1.51 millones de ha), Chihuahua (9%, 1.34 millones de ha) y San Luis Potosí (7%, 1.1 millones de ha).

Por su parte, el Programa de Desarrollo Forestal Comunitario (Procymaf) busca 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 2003, este programa benefició bajo el concepto de buen manejo técnico cerca de 272 mil hectáreas; mientras que en su segunda fase (Procymaf II) benefició entre 2003 y 2010 un total de 1.32 millones de hectáreas. De los 12 estados en los que se ha implementado el programa, los que incorporaron una mayor superficie entre 2007

y 2010 fueron Durango (poco menos de 318 mil ha, es decir, cerca del 36% de la superficie total apoyada en el periodo), seguido por Quintana Roo (224 mil ha, 25%) y Campeche (cerca de 80 mil ha, 9%: Mapa 2.20).

### RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

Ante la significativa pérdida y alteración de los ecosistemas naturales del país, fue indispensable 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 aquéllas en las que los ecosistemas naturales hubiesen desaparecido. Las principales estrategias dentro de esta línea han sido tradicionalmente



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

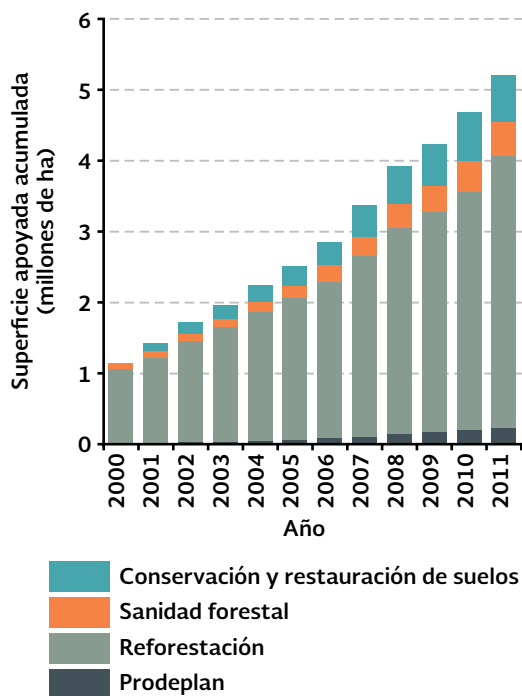
la reforestación, el impulso al establecimiento de plantaciones forestales, la restauración de suelos, el combate a los incendios forestales y las prácticas de sanidad forestal.

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, sí pueden contribuir a detener la degradación ambiental y mantener ciertos servicios ambientales básicos, como son la recarga de los acuíferos y 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 el 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 2011, según datos preliminares, ascendió a poco menos de 5.2 millones de hectáreas, de la cual 74.1% correspondió a los esfuerzos de reforestación (cerca de 3.8 millones de ha), 9.3% a las labores de sanidad forestal (alrededor de 481 mil ha), 12.5% a la conservación y restauración de suelos forestales (cerca de 650 mil ha) y 4.1% a las plantaciones forestales comerciales (alrededor de 212 mil ha; Figura 2.39). En total, la superficie atendida por estos instrumentos hasta 2011 ascendió al 2.6% de la superficie terrestre nacional.

## Superficie apoyada con programas con enfoque de recuperación de los ecosistemas, 2000 - 2011

Figura 2.39



Fuente:  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor. México. Febrero 2012.

Una estrategia adoptada por el Gobierno Federal para detener y revertir el deterioro de la cubierta forestal del país ha sido la reforestación. En 1995 se creó el Programa Nacional de Reforestación (Pronare), con el objeto de conseguir una reforestación apropiada en sitios estratégicos; fue transferido en 2001 a la Conafor y forma parte actualmente del Programa de Reforestación, del Procoref. En la actualidad, las labores de reforestación se realizan principalmente en áreas forestales perturbadas, con énfasis en las 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 procura el empleo de especies nativas apropiadas para cada ecosistema. En

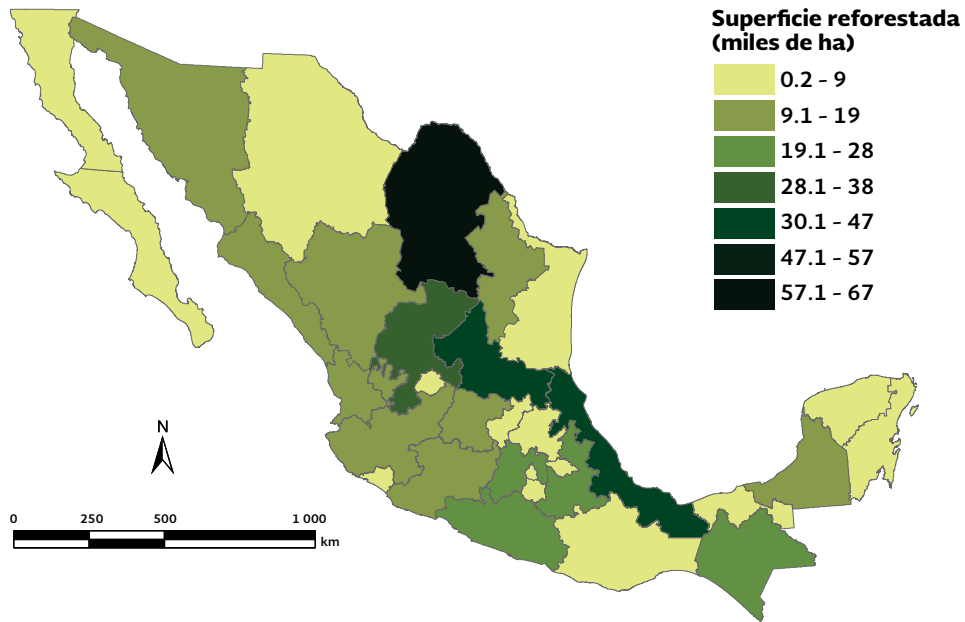
el caso de las especies tropicales, se prefiere el cedro rojo, la caoba, el palo de rosa y la primavera, mientras que para las regiones templadas se eligen coníferas, principalmente pinos. Para las regiones semiáridas, se producen agaves<sup>8</sup>, nopales, mezquites, sotoles y pinos piñoneros.

La superficie reforestada en el país ha seguido una tendencia creciente desde principios de los años ochenta hasta el presente: mientras que en 1993 se reforestaron cerca de 14 500 hectáreas, para el 2011 alcanzaron las poco menos de 481 mil. En este último año, los estados en los que se reforestó una mayor superficie fueron Coahuila (66 561 ha), Veracruz (40 791 ha), San Luis Potosí (39 622) y Zacatecas (30 678 ha; Mapa 2.21). En contraste, los estados con menores superficies reforestadas fueron el Distrito Federal (232 ha) y Baja California Sur (1 562 ha).

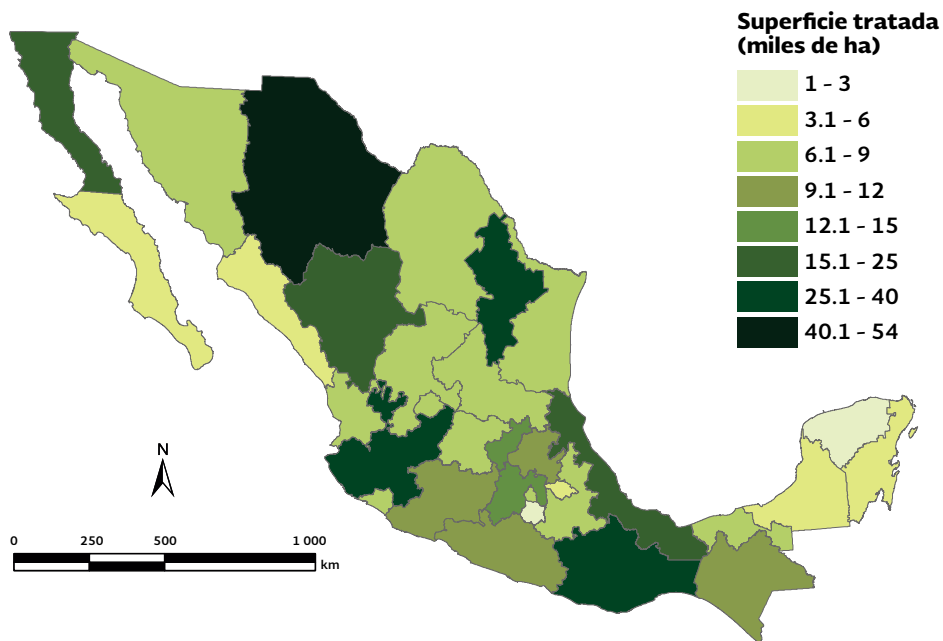
Las plagas y enfermedades forestales pueden ocasionar graves efectos a los ecosistemas y, paralelamente, a las comunidades rurales dedicadas a la actividad forestal. Las prácticas de sanidad forestal que realiza el Procoref están encaminadas fundamentalmente a prevenir y combatir plagas y enfermedades forestales que podrían tener impactos ecológicos, económicos y sociales. Las acciones incluyen el diagnóstico fitosanitario, el cual se realiza principalmente en las 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 2011, la superficie promedio tratada a nivel nacional fue de poco más de 43 mil hectáreas. Los estados que mayor superficie trataron en ese periodo fueron Chihuahua (poco menos de 54 mil ha), Jalisco (cerca de 39 mil ha) y Nuevo León (31 mil ha), mientras que las menores superficies que se registraron por el mismo concepto fueron Morelos (1 296 ha), Yucatán (2 551 ha) y Baja California (3 355 ha; Mapa 2.22).

<sup>8</sup> Aunque los agaves, nopales y otras especies de suculentas de las zonas áridas y semiáridas no son árboles, son 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.



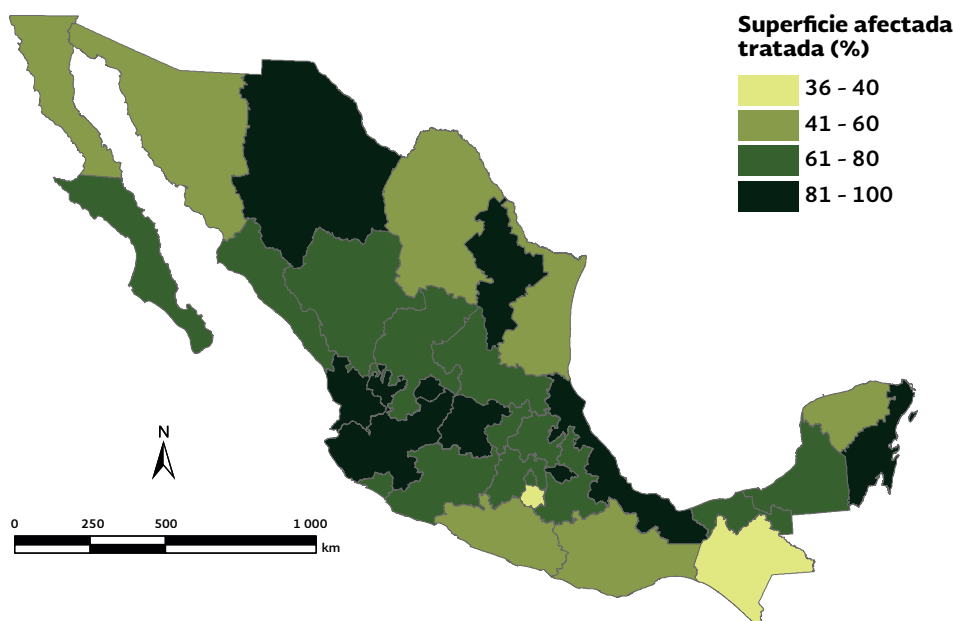
**Fuente:**  
Gerencia de Planeación y Evaluación, Conafor, Semarnat. México. 2012



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

## Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales que recibió tratamiento por entidad federativa, 2003 - 2011

Mapa 2.23



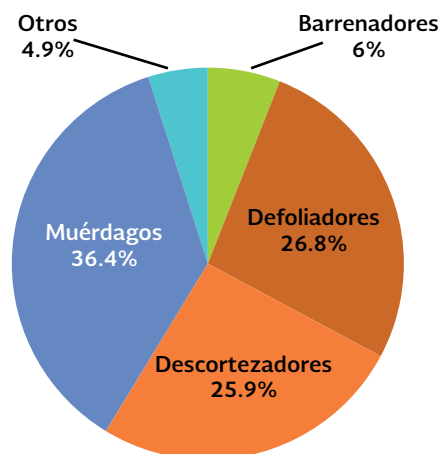
**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

El esfuerzo nacional en el tratamiento de las superficies afectadas por enfermedades o plagas forestales resulta aún insuficiente, puesto que de la superficie afectada en el periodo 2003-2011, sólo se realizaron actividades sanitarias en poco más del 67% de la superficie con algún tipo de afectación. Los estados que trataron el mayor porcentaje de su superficie afectada fueron Aguascalientes y Nayarit (ambos con la totalidad del área afectada), Nuevo León (con poco más del 97%) y Guanajuato (poco más del 93%). En contraste, los estados que trataron una proporción menor de su superficie afectada fueron Morelos (alrededor del 36%), Chiapas (poco menos del 37%) y Guerrero (alrededor del 42%; Mapa 2.23).

Considerando la superficie tratada, las plagas más combatidas en el periodo 2003-2011 fueron los muérdagos, con 141 351 hectáreas (equivalente al 36.4% de la superficie tratada en el periodo), seguidos por los defoliadores (104 242 ha; 26.8%), los descortezadores (100 583 ha; 25.9%) y los barrenadores (23 249 ha; 6%; Figura 2.40).

## Superficie tratada por plagas y enfermedades forestales, según tipo, 2003 - 2011

Figura 2.40



**Fuentes:**  
Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. Abril 2011.  
Gerencia de Sanidad Forestal, Conafor, Semarnat. México. Abril 2011.

La presión sobre los ecosistemas forestales por la extracción de madera y productos no maderables afecta la calidad de los bosques, pasando de bosques primarios a bosques secundarios más pobres en especies y con servicios ecosistémicos alterados. Una de las opciones empleadas a lo largo del mundo para reducir las presiones sobre las comunidades forestales ha sido el establecimiento de sistemas manejados de donde puedan obtenerse los productos que se extraen de la vegetación natural de manera fácil y rentable. Estos sistemas no sólo reducen la presión sobre los recursos forestales, sino también evitan paralelamente la degradación del suelo y favorecen la recarga de los mantos acuíferos, entre otros servicios ambientales. En el mundo, desde 1990, las plantaciones forestales han crecido a una tasa del 2.2% anual, esto es, alrededor de 4.6 millones de hectáreas anuales, para totalizar en 2010 con alrededor de 265 millones de hectáreas (UNEP, 2011).

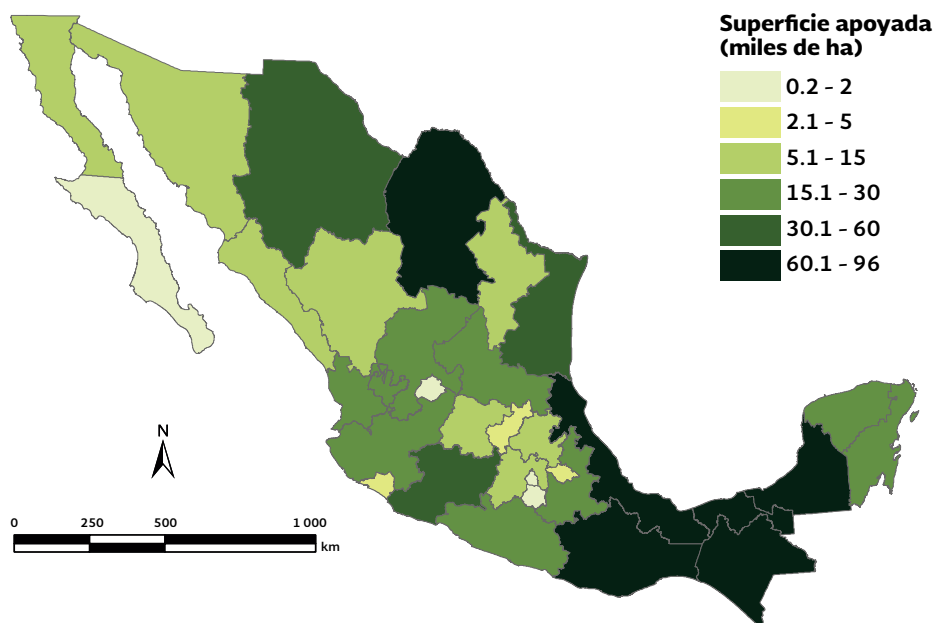
En México, en 1997 se puso en operación el Programa para el Desarrollo de Plantaciones

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 1997 al 2011 se han apoyado plantaciones en poco más de 788 mil hectáreas, cubriendo todas las entidades del país, sin embargo, Veracruz (poco más de 95 mil ha), Campeche (poco menos de 92 mil ha), Coahuila (cerca de 67 mil ha) y Chiapas (66 mil ha) fueron las entidades con mayor superficie apoyada en ese periodo (Mapa 2.24).

Otro frente de lucha contra la destrucción de la cobertura 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 las quemadas 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

### Superficie apoyada por el Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan) por entidad federativa, 1997 - 2011

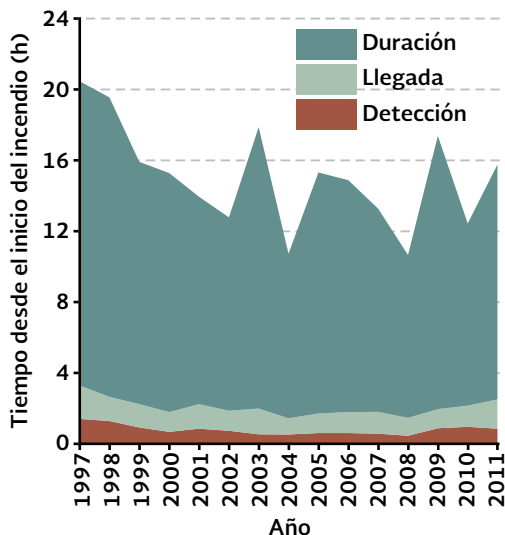
Mapa 2.24



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

## Duración promedio de los incendios forestales en México, 1997 - 2011

Figura 2.41



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor, Semarnat. México. 2012.

sequías y altas temperaturas. Paralelamente, y mediante un acuerdo con el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá se administra el Sistema de Información de Incendios Forestales de México. Por este medio se genera un índice de riesgo de incendios basado en datos meteorológicos, la cantidad de materia combustible y la topografía, entre otros criterios.

A partir de esta información se genera una representación cartográfica que señala los puntos donde se pueden presentar incendios más severos. La detección de incendios en curso tiene lugar mediante avistamientos desde torres, aviones o vehículos terrestres. La Universidad de Colima y la Conabio monitorean constantemente vía satélite los “puntos de calor” del territorio, que son las zonas donde tienen lugar los incendios. Todo esto permite acudir lo antes posible a los sitios afectados para combatir el fuego. En el periodo 1997-2011, el tiempo promedio de detección de los incendios fue de 48 minutos, mientras que las llegadas promediaron una hora con 18

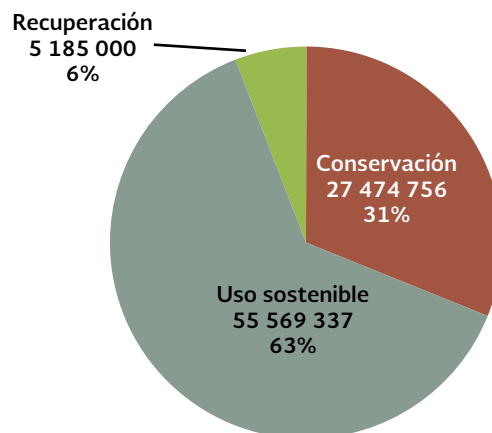
minutos y la duración de los incendios fue de 13 horas (Figura 2.41).

A manera de resumen, hasta diciembre de 2011 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 88.2 millones de hectáreas, lo que representaría alrededor de 44.9% del territorio continental nacional (Figura 2.42). No obstante, es muy importante considerar que, en virtud de que algunos instrumentos traslapan sus áreas de influencia (p. e., las Uma y los PSA con las ANP o las zonas que se reforestan dentro de las ANP), la superficie realmente atendida es menor.

## Superficie nacional con programas con enfoque de conservación, uso sostenible y de recuperación de los ecosistemas terrestres, 2011

Superficie en millones de hectáreas y en porcentaje

Figura 2.42



Superficie total bajo los tres enfoques<sup>1</sup>:  
88.2 millones de hectáreas, 44.9% de la superficie continental nacional

**Nota:**  
<sup>1</sup> Debido a que algunos instrumentos traslapan sus áreas de influencia, la superficie total real bajo los tres enfoques es menor a la citada.

**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conafor. México. Febrero 2012.  
Conanp. México. Enero 2011.  
Dirección General de Vida Silvestre, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. Marzo 2012.

## OTROS INSTRUMENTOS INDIRECTOS DE PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

### Ordenamiento ecológico del territorio

El uso del suelo ha estado regido principalmente por las necesidades de alimento, vivienda y costumbres de la sociedad, 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. Actualmente, 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 del tipo de decisiones que, tomadas sin conocimiento de la aptitud de los terrenos, han ocasionado mayores problemas ambientales y sociales en comparación con los beneficios que aportaron.

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 conocer 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 juegan un papel determinante al definir los límites para el desarrollo de las actividades productivas.

El instrumento que pretende conciliar las aptitudes, prioridades y necesidades de los usos del suelo, es 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 la Protección al Ambiente, Título Primero, Artículo 3, fracción XXIV).

A partir de la publicación en 2003 del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), el enfoque del OET se dirige hacia el logro de un balance entre las actividades productivas y la conservación de la naturaleza a través de un proceso participativo en el que los distintos sectores de una zona sujeta a ordenamiento hacen explícitas sus necesidades e intereses (tanto actuales como futuras); y buscan, mediante la negociación y la conciliación de intereses, el patrón de ocupación y uso del territorio y las regulaciones que minimicen el conflicto entre sus actividades, para adoptarlo y sujetarse a sus términos.

De acuerdo con la LGEEPA, existen cuatro modalidades de programas de ordenamiento ecológico: 1) 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 y que es competencia de la Federación; 2) el ordenamiento regional, aplicable a dos o más estados, a dos o más municipios o al estado completo y cuya expedición es competencia de las autoridades estatales; 3) el ordenamiento local, que se aplica en un municipio completo o en parte de éste y cuya expedición es competencia de las autoridades municipales, y 4) los ordenamientos ecológicos marinos, que incluyen las zonas marinas y las zonas federales adyacentes que son competencia de la Federación (ver el Recuadro *Ordenamientos ecológicos marinos*).



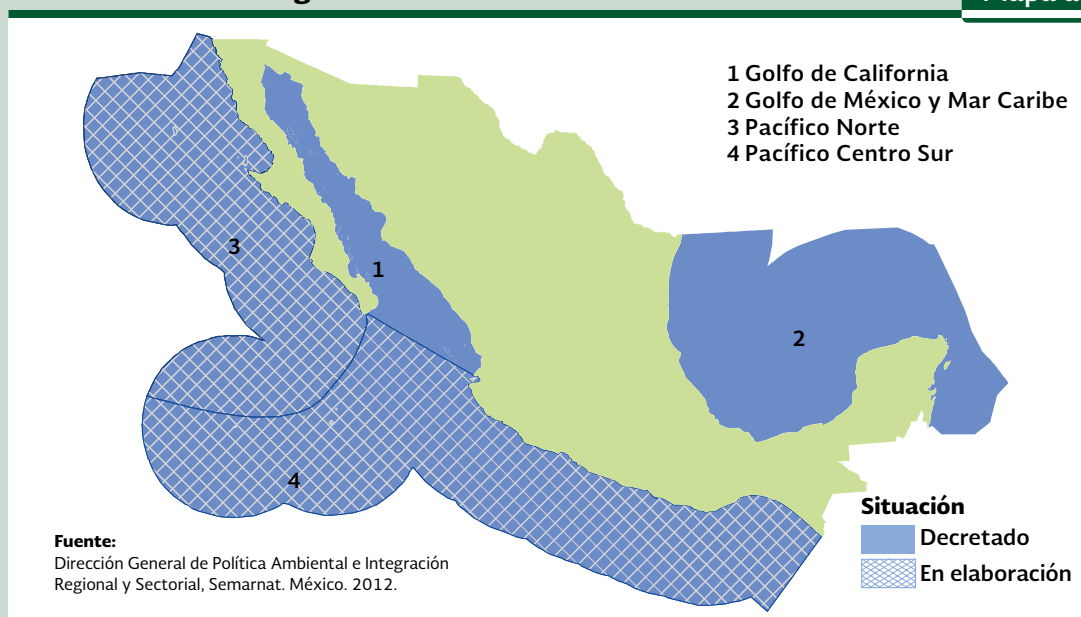
En el país actualmente se cuenta con dos ordenamientos marinos decretados y dos en proceso de elaboración. Los decretados corresponden al Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (OEMGC) y al Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (OEMyRGMMyMC). El primero de ellos cubre una superficie de 24.71 millones de hectáreas (Mapa a) y tiene entre sus objetivos 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 que el Comité de Ordenamiento Ecológico se consolide como espacio de gobernabilidad regional ambiental, por medio del cual se fortalezca la transversalidad de las políticas públicas, se informe sobre las acciones que el gobierno y la sociedad desarrollan en la región y se impulse el trabajo conjunto y la toma de decisiones plurales para la atención de los problemas y conflictos ambientales de la región. Cabe

señalar que el Golfo de California es 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: la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) y la vaquita marina (*Phocoena sinus*), ambas enlistadas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

En el caso del OEMyRGMMyMC, permitirá regular e inducir los usos del suelo y las actividades productivas de esa región, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y 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. El área sujeta a ordenamiento cubre cerca de 99.5 millones de hectáreas, de las cuales el 83% corresponde a zonas marinas (decretada en 2012) y el restante 17% a zonas terrestres (Mapa a). Desde el punto de vista ambiental,

### Ordenamientos ecológicos marinos

#### Mapa a



la región es importante por su riqueza de ecosistemas tanto en la porción marina, como en la terrestre e insular, que incluye arrecifes coralinos, humedales, selvas bajas y medianas y sistemas lagunares costeros. Desde el punto de vista económico, en esa zona se realizan dos actividades importantes para el país

en cuanto a la generación de ingreso: la producción petrolera y la industria turística. Los Ordenamientos Ecológicos Marinos y Regionales del Pacífico Norte (que comenzó en 2009) y del Pacífico Centro Sur (iniciado en 2011) están aún en etapa de elaboración.

#### Referencias:

Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2012.

DOF. Decreto por el que se aprueba el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2006 (29 de noviembre).

DOF. Acuerdo por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa. *Diario Oficial de la Federación*. México. 2012 (24 de noviembre).

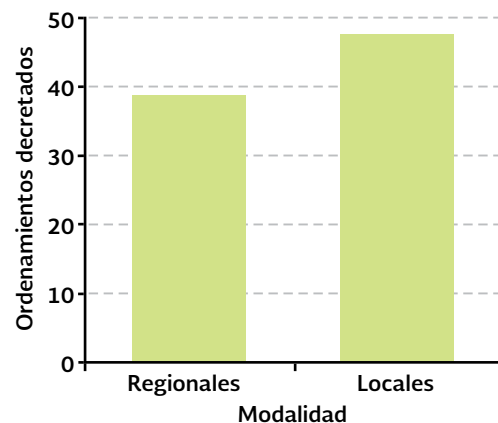
El Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT), publicado en septiembre de 2012, "...establece las bases que permiten que las secretarías de Estado se coordinen con estados y municipios para elaborar e instrumentar sus proyectos tomando en cuenta la aptitud territorial, las tendencias de deterioro de los recursos naturales, los servicios ambientales, los riesgos ocasionados por peligros naturales y la conservación del patrimonio natural" (Semarnat, 2012). En su formulación, que comenzó en el año 2008, participaron las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que realizan actividades que inciden en la ocupación del territorio (como las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Desarrollo Social; Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Turismo; Energía; Reforma Agraria; Economía, Gobernación y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía), y fue retroalimentado por las autoridades de planeación del desarrollo y ambiental de los estados y los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable.

Con respecto a los ordenamientos ecológicos locales, hasta diciembre de 2012 la Dirección

General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial de la Semarnat tenía registrados 48 decretados y varios más en proceso de formulación a cargo de los gobiernos municipales. En lo referente a los ordenamientos regionales, en esa misma

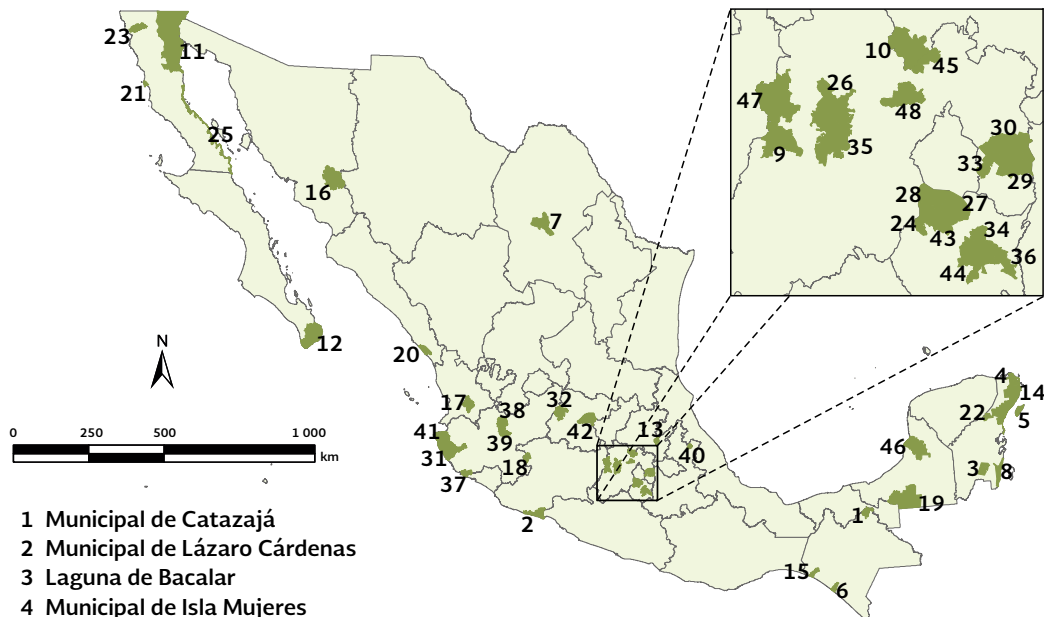
#### Ordenamientos ecológicos locales y regionales decretados, 2012

Figura 2.43



#### Fuente:

Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2012.

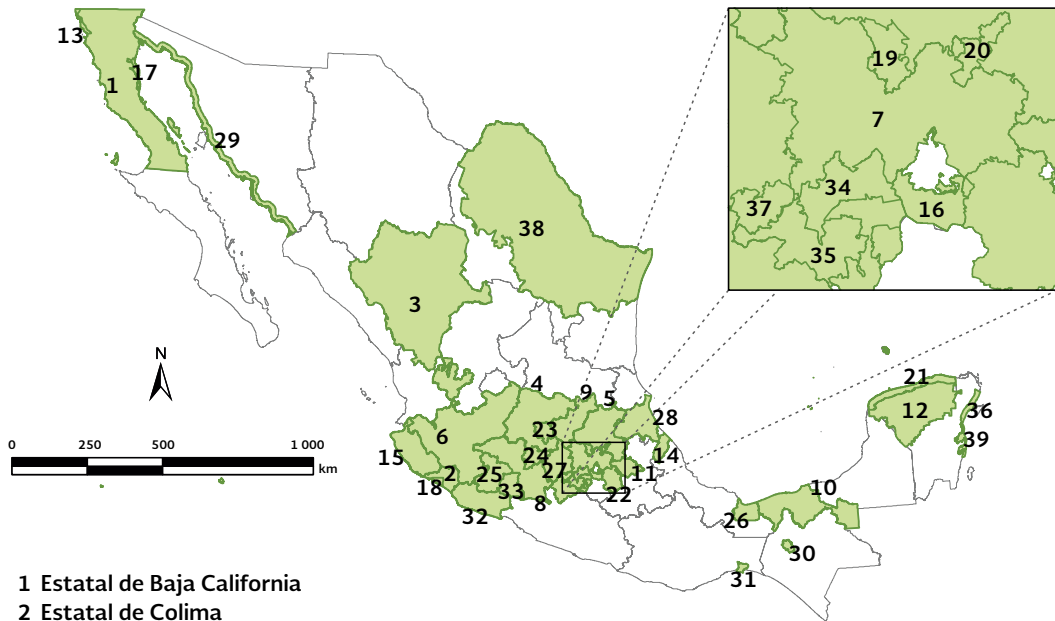


- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| 1 Municipal de Catazajá                                 | 27 Municipal de Tepoztlán           |
| 2 Municipal de Lázaro Cárdenas                          | 28 Municipal de Huitzilac           |
| 3 Laguna de Bacalar                                     | 29 Municipal de Tlalmanalco         |
| 4 Municipal de Isla Mujeres                             | 30 Municipal de Ixtapaluca          |
| 5 Municipal de Cozumel                                  | 31 Municipal de Tomatlán            |
| 6 Cuenca Río Coapa                                      | 32 Municipal de León                |
| 7 Cuatro Ciénegas                                       | 33 Municipal de Chalco              |
| 8 Costa Maya  | 34 Municipal de Cuautla             |
| 9 Municipal de Villa de Allende                         | 35 Municipal de Almoloya de Juárez  |
| 10 Municipal de Tepeji del Río de Ocampo                | 36 Municipal de Jonacatepec         |
| 11 Municipal de Mexicali                                | 37 Municipal de Cihuatlán           |
| 12 Municipal de Los Cabos                               | 38 Municipal de Zapopan             |
| 13 Municipal de Huasca de Ocampo                        | 39 Municipal de Tlajomulco          |
| 14 Municipal de Benito Juárez                           | 40 Municipal de Cuetzalan           |
| 15 Subcuenca del Río Zanatenco                          | 41 Municipal de Cabo Corrientes     |
| 16 Municipal de Rosario Tesopaco                        | 42 Municipal de Allende             |
| 17 Municipal de Santa María del Oro                     | 43 Municipal de Jiutepec            |
| 18 Municipal de Cotija                                  | 44 Municipal de Ayala               |
| 19 Municipal de Candelaria                              | 45 Municipal de Huehuetoca          |
| 20 Zona Costera del Municipio de Rosario                | 46 Municipal de Campeche            |
| 21 San Quintín  | 47 Municipal de San José del Rincón |
| 22 Municipal de Solidaridad                             | 48 Municipal de Nicolás Romero      |
| 23 Corredor San Antonio de las Minas Valle de Guadalupe |                                     |
| 24 Municipal de Cuernavaca                              |                                     |
| 25 Costero Terrestre Puertecitos - Paralelo 28          |                                     |
| 26 Municipal de Ixtlahuaca                              |                                     |

**Fuente:**  
 Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2012.

fecha, 39 contaban con decreto y varios más se encontraban en proceso de formulación a cargo de los gobiernos estatales (Figura 2.43). Actualmente, alrededor del 39% de la superficie terrestre nacional, es decir, 77.6 millones de hectáreas, cuenta con un ordenamiento ecológico decretado, ya sea regional o local.

La mayoría de los ordenamientos ecológicos decretados se localizan en el centro del país, la península de Yucatán y el norte de la península de Baja California, involucrando una gran parte de ellos la participación de los sectores de desarrollo urbano y turístico (Mapas 2.25 y 2.26). En el caso de ambas penínsulas, a través



- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Estatal de Baja California</li> <li>2 Estatal de Colima</li> <li>3 Estatal de Durango</li> <li>4 Estatal de Guanajuato</li> <li>5 Estatal de Hidalgo</li> <li>6 Estatal de Jalisco</li> <li>7 Estatal de México</li> <li>8 Estatal de Michoacán</li> <li>9 Estatal de Querétaro</li> <li>10 Estatal de Tabasco</li> <li>11 Estatal de Tlaxcala</li> <li>12 Estatal de Yucatán</li> <li>13 Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada</li> <li>14 Cuenca de los ríos Bobos y Solteros</li> <li>15 Costa Alegre de Jalisco</li> <li>16 General del Distrito Federal</li> <li>17 Corredor costero San Felipe-Puertecitos</li> <li>18 Subcuenca de la Laguna de Cuyutlán</li> <li>19 Tula-Tepeji</li> <li>20 Valle Pachuca-Tizayuca</li> <li>21 Costa de Yucatán</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>22 Volcán Popocatepetl y su Zona de Influencia</li> <li>23 Región Laja-Bajío</li> <li>24 Cuenca Lago de Cuitzeo</li> <li>25 Cuenca del río Tepalcatepec</li> <li>26 Cuenca Baja del río Coatzacoalcos</li> <li>27 Región Mariposa Monárca</li> <li>28 Cuenca del río Tuxpan (Veracruz)</li> <li>29 Costa de Sonora</li> <li>30 Subcuenca del río Sabinal</li> <li>31 Subcuenca del río Lagartero</li> <li>32 Sierra Costa de Michoacán</li> <li>33 Zona denominada Infiernillo</li> <li>34 Zona Metropolitana Valle de Toluca</li> <li>35 Subcuenca Nevado Sur</li> <li>36 Corredor Cancún-Tulum</li> <li>37 Subcuenca Valle de Bravo-Amanalco</li> <li>38 Cuenca de Burgos</li> <li>39 Zona Costera Reserva de la Biosfera Sian Ka'an</li> </ul> |
|--|--|

**Fuente:**  
 Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2012.

de los ordenamientos se busca la preservación del entorno para que los destinos continúen resultando atractivos a los turistas, ya que esta industria es una de las fuentes más importantes de ingresos en ambas regiones. Esto no excluye la participación de otros sectores orientados hacia la preservación ecológica y las actividades productivas, como el agropecuario, pesquero y forestal.

### La evaluación del 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 debería presentarse la información contenida en ellos. El 30 de mayo de 2000 fueron publicadas las modificaciones al Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (DOF, 2012), 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 regional y particular.

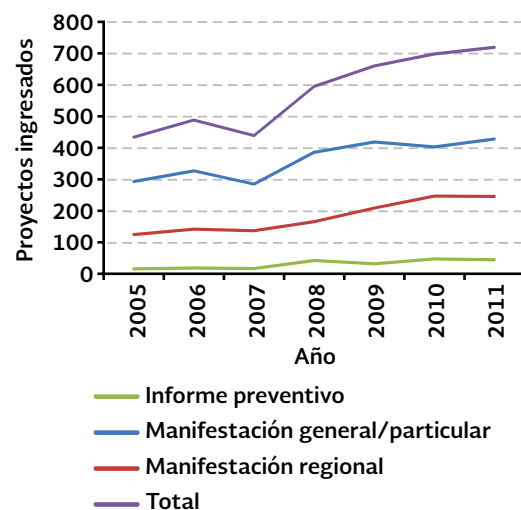
En términos generales, las manifestaciones de impacto ambiental deben presentarse

en la modalidad regional cuando se trata de proyectos que incluyen 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.

Para someter un proyecto a este procedimiento y obtener su autorización, el promovente deberá entregar a la Semarnat un Informe Preventivo o una Manifestación de Impacto

### Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por tipo de estudio, 2005 - 2011

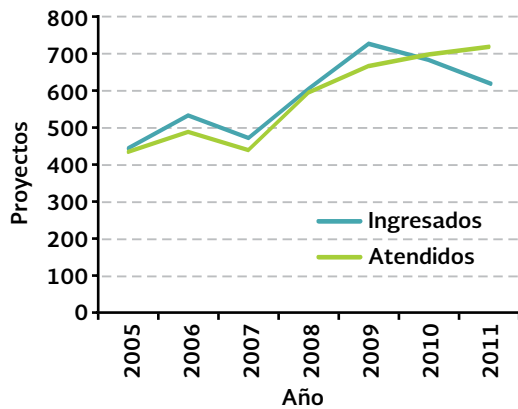
Figura 2.44



**Fuente:**  
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat.  
México, 2011.

**Proyectos ingresados y atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, 2005 - 2011<sup>1</sup>**

**Figura 2.45**



**Nota:**

<sup>1</sup> Los años en los que se atienden más proyectos que los que ingresan se debe a que incluyen los rezagos de años anteriores. El hecho de que un proyecto sea reportado como atendido no implica que haya sido autorizado.

**Fuente:**

Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. México. Febrero 2012.

Ambiental en la modalidad que corresponda de acuerdo al Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA). En la Figura 2.44 se muestran el número de proyectos ingresados para la evaluación de impacto ambiental en cada modalidad en el periodo 2005-2011 ([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.

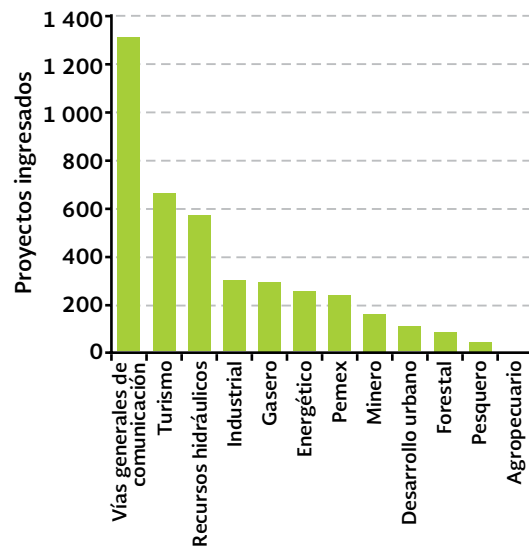
Se puede negar una autorización solicitada en aquellos casos en los que no se cumplan las leyes aplicables, cuando por la realización del proyecto se amenace o se ponga en peligro de extinción una o más especies o cuando exista falsedad en la información proporcionada por el promovente.

En el periodo 2005-2011, la Semarnat recibió 4 072 proyectos (582 en promedio por año) y atendió 4 033 evaluaciones ([Figura 2.45; Cuadro D4\\_IMPACTO00\\_02](#)). La mayoría de los proyectos ingresados correspondieron a obras y actividades de servicios de los sectores de vías generales de comunicación (1 314 proyectos), turismo (665), recursos hidráulicos (575), industrial (305) y gasero (297; [Figura 2.46; Cuadro D4\\_IMPACTO00\\_03](#)).

Los estados que en el periodo 2005-2011 ingresaron el mayor número de proyectos al procedimiento de impacto ambiental fueron Quintana Roo (432), Guerrero (387) y México (278); en contraste, Zacatecas (19), Morelos (22), Aguascalientes (23) y el Distrito Federal (27) fueron las entidades que tuvieron menor demanda de evaluación de proyectos ([Mapa 2.27; Cuadro D4\\_IMPACTO00\\_01](#)). El total de proyectos atendidos, por entidad federativa, se muestra en el [Mapa 2.28](#).

**Proyectos de impacto ambiental ingresados por tipo de obra o actividad, 2005 - 2011**

**Figura 2.46**

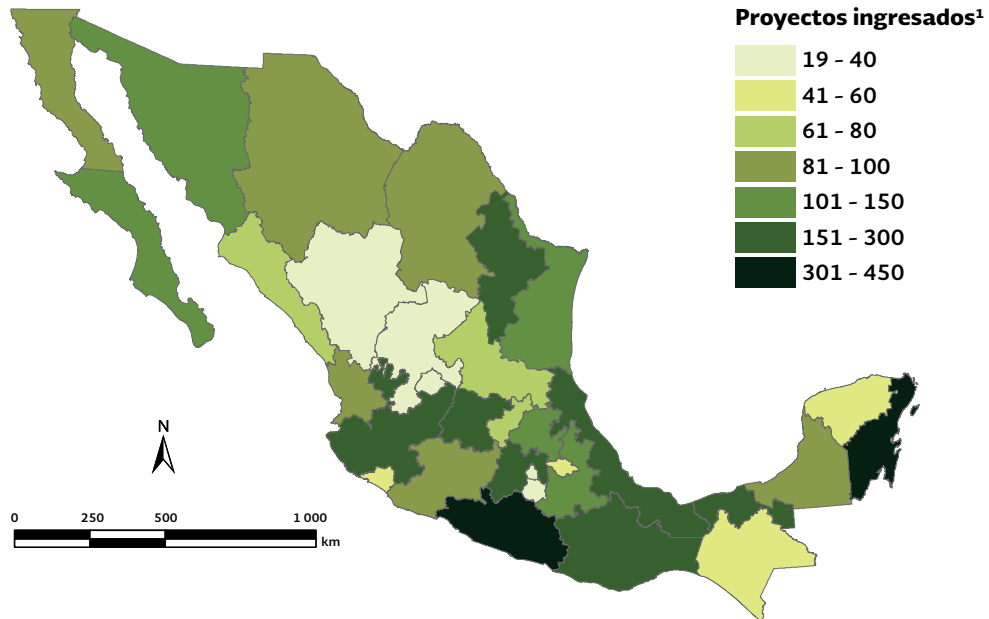


**Fuente:**

Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. Febrero 2012.

## Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por entidad federativa, 2005 - 2011

Mapa 2.27



**Nota:**

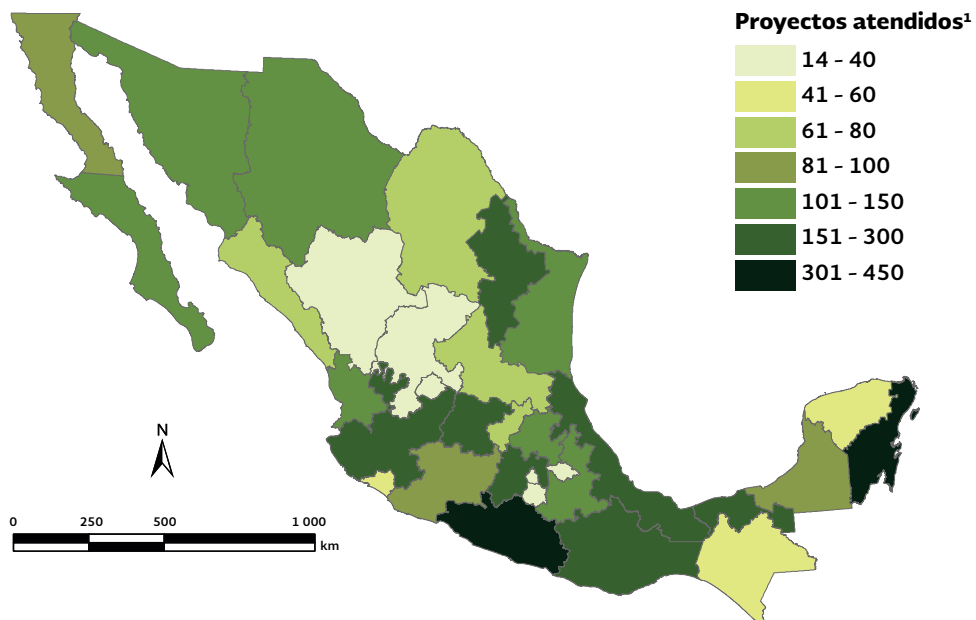
<sup>1</sup> Los datos presentados no incluyen los proyectos atendidos en las Delegaciones Federales de la Semarnat.

**Fuente:**

Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. México. 2012.

## Proyectos atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por entidad federativa, 2005 - 2011

Mapa 2.28



**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos presentados no incluyen los proyectos atendidos en las Delegaciones Federales de la Semarnat.

**Fuente:**

Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. México. 2012.

## REFERENCIAS

Bezaury-Creel J. E., J. F. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, M. Castro-Campos y N. Moreno. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales y del Distrito Federal de México, 2009*. Catálogo de metadatos geográficos. Conabio. México. 2009a.

Bezaury-Creel J. E., J. F. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, M. Castro-Campos y N. Moreno. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Municipales de México, 2009*. Catálogo de metadatos geográficos. Conabio. México. 2009b.

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*. México. 1998.

Conabio-IB UNAM-Sierra Madre. México. 1998.

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

Conafor. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009*. México. 2011.

Cotecoca. *Monografías de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1981*. México. 2004.

Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty, R. P. Neilson, M. P. Ayres, M. D. Flannigan, P. J. Hanson, L. C. Irland, A. E. Lugo, C. J. Peterson, D. Simberloff, F. J. Swanson, B. J. Stocks y B. M. Wotton. Climate change and forest disturbances. *Bioscience* 51: 723-734. 2001.

Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat *Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio*. México. 2012.

Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/OrdGenTerr.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Paginas/OrdGenTerr.aspx). Fecha de consulta: mayo 2012.

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

DOF. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental*. México. 2012. (26 de abril, última modificación).

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2010*. FAO. 2010.

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

Haltenhoff, H. *Manual de efectos del fuego y evaluación de daños*. Proyecto FAO/TCP/GUA/2903. Guatemala. 2005

INE, Semarnat. Dirección General de Ordenamiento y Conservación de Ecosistemas. México. 2003.

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.

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007), escala 1:250 000*. México. 2011.

IPCC. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, New York. 2007.



- 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](http://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.
- Presidencia de la República. *Los Objetivos de Desarrollo del Milenio en México. Informe de Avances 2010*. México. 2011.
- 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.
- Ritters, K., J. Wickham, R. O'Neill, B. Jones y E. Smith. Global scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Biology* 4: 3-13. 2000.
- Sánchez-Colón, S., A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.
- 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, Canadá. 2001c.
- Semarnat. *Inventario Forestal Nacional 2000*. México. 2001.
- 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 y CP. *Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana, a escala 1: 250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.
- UNEP. *Keeping Track of Our Changing Environment: From Rio to Rio+20 (1992-2012)*. UNEP. Nairobi. 2011.
- Velázquez, A., J. F. Mas, G. Bocco, y E. Ezcurra. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *INE-Gaceta Ecológica* 62: 21-37. 2002.



The image features a monochromatic, reddish-brown background with a stylized illustration of a plant's root system. The roots are depicted in a light, golden-brown color, extending from a central stem down into a pot. The pot is shown as a simple, rounded shape. The background is composed of various overlapping, semi-transparent shapes in shades of red and orange, creating a layered, abstract effect. The word "SUELOS" is written in a white, serif font, positioned in the lower-left quadrant of the image.

# SUELOS

# SUELOS

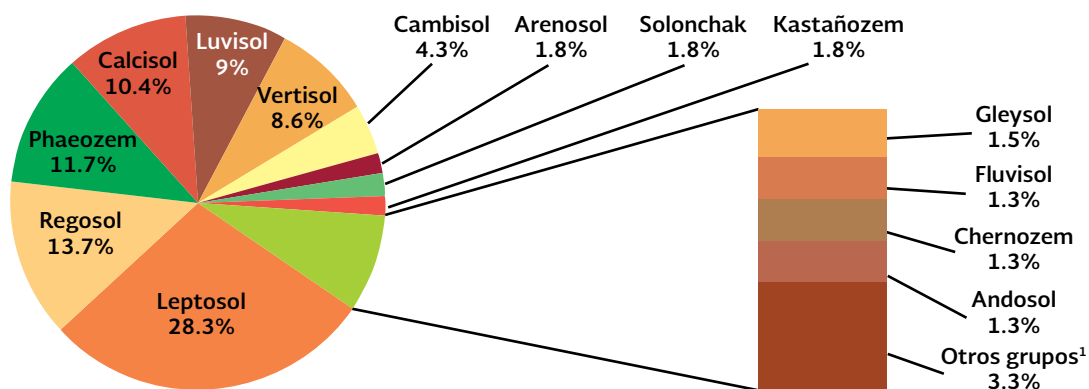
En México existe una gran diversidad de suelos que puede explicarse por la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico, el amplio gradiente altitudinal (que va de los cero a poco más de 5 600 metros sobre el nivel del mar), la presencia de cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen<sup>1</sup> y la enorme diversidad paisajística y de tipos de rocas que existen en el territorio (ver Recuadro *¿Qué es el suelo y cómo se forma?*).

## SUELOS DE MÉXICO

De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%) que, en conjunto, ocupan 81.7% de la superficie nacional (Figura 3.1).

**Superficie relativa de los principales grupos de suelo en México, 2007**

**Figura 3.1**



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye: Umbrisol, Durisol, Acrisol, Planosol, Solonetz, Gypsisol, Nitisol, Alisol, Lixisol, Histosol, Ferralsol y Plintosol.

**Fuente:**

INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional)*. México. 2007.

<sup>1</sup> Según la modificación de García (1988).

La definición de suelo depende del área de interés que se involucra con él. Desde una visión geotécnica, es el material sin consolidar que se encuentra sobre el lecho rocoso. Para la ingeniería civil es el material sobre el que se construye y excava, siendo sus propiedades determinantes para el tipo y características de la obra a construirse.

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, existen varias definiciones que incorporan su papel fundamental en 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<sup>1</sup> 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 las raíces de las plantas. En el caso de la actividad biológica, las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, liberan ácidos orgánicos débiles, como el ácido carbónico, que disuelve lentamente la roca madre. 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 está en constante 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](http://www.soils.org). Fecha de consulta: julio de 2012.

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

<sup>1</sup> Son los materiales que le dan origen al suelo. Pueden ser productos de la alteración de las rocas o sedimentos no consolidados de cualquier procedimiento y composición.

En el 52.4% del territorio nacional hay suelos someros y poco desarrollados: Leptosoles (54.3 millones de ha), Regosoles (26.3 millones) y Calcisoles (20 millones), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad a la erosión. Los suelos con mayor fertilidad: Phaeozems, Luvisoles y Vertisoles (22.5, 17.3 y 16.5 millones de ha, respectivamente) cubren en conjunto 29.3% del país (Figura 3.1; Mapa 3.1). En el resto del territorio (alrededor de 35 millones de hectáreas) se presentan los otros 20 grupos edáficos, los cuales se distribuyen en un gran número de relieves, microclimas y tipos de vegetación (*Cuadro D3\_SUELO01\_01*). Para mayores detalles respecto a las características de los suelos presentes en el país consultar el Recuadro *Grupos principales de suelos en México*.

### AGRICULTURA Y GRUPOS DE SUELO

En las últimas décadas, la intensidad en el desarrollo agropecuario del país determinó que los suelos más fértiles y profundos, con buena estructura y alto contenido de nutrimentos y

materia orgánica tuvieran mayor demanda. Entre la mitad de los años 70 y finales de la primera década del siglo XXI, el porcentaje de Luvisoles, Vertisoles y Phaeozems dedicados a las actividades agropecuarias pasó de 35.8% (24.1% dedicado a la agricultura y 11.7% en pastizales para la ganadería) a 44.4% (29.6% en agricultura y 14.8% en pastizales).

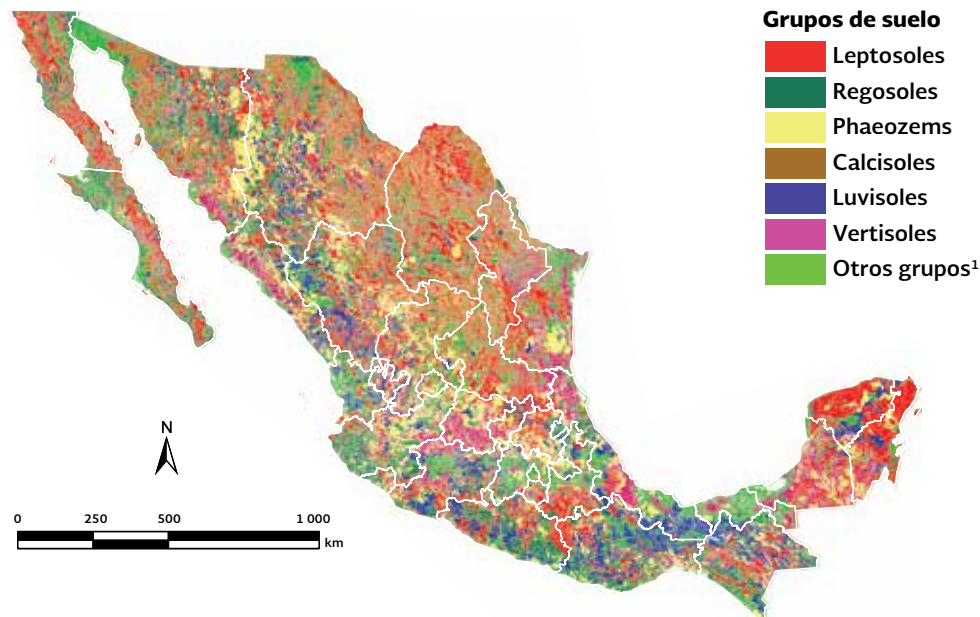
En menor magnitud, los suelos que se consideran poco aptos para la agricultura o la ganadería (como los Leptosoles, Regosoles y Calcisoles) también han sido utilizados para estos fines. A mitad de la década de los 70, el 9.9% de la superficie nacional de este conjunto de suelos estaba dedicado a las actividades agropecuarias, mientras que a finales de la primera década del siglo XXI, esta cifra se incrementó a 14% (7.4% en agricultura y 6.6% en pastizales; Figura 3.2).

### LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

El suelo es una parte fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas; en él se

#### Principales grupos de suelo en México, 2007

Mapa 3.1



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye: Cambisol, Arenosol, Solonchak, Kastañozem, Gleysol, Flusivol, Chernozem, Andosol, Umbrisol, Durisol, Acrisol, Planosol, Solonetz, Gypsisol, Nitisol, Alisol, Lixisol, Histosol, Ferralsol y Plintisol.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional)*. México. 2007.

En México existe una gran diversidad edáfica representada por 26 grupos de suelo. Sin embargo, sólo seis de ellos, en conjunto ocupan el 81.7% del territorio. Algunas de las características de estos grupos principales se presentan a continuación:

Los Leptosoles (del griego *leptos*, delgado), que se conocen 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 mayor distribución a nivel mundial (1 655 millones de hectáreas; IUSS, 2007) y están 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 planicies calizas superficiales, como las de la Península de Yucatán. 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 su uso agrícola es limitado si no se utilizan técnicas apropiadas, por ello, es preferible mantenerlos con la vegetación original.

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, pero también pueden presentar problemas de manejo agrícola por la escasa retención de humedad debido a lo somero del suelo y alta cantidad de afloramientos rocosos.

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 (IUSS, 2007). En otras clasificaciones se reconocen como Entisoles. En general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado<sup>1</sup>, 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, y 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 (IUSS, 2007). 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 eútricos y calcáricos que se caracterizan por tener una

<sup>1</sup> Es un agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

capa 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, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal; 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 cerca de una cuarta parte se encuentra en las pampas argentinas y uruguayas (IUSS, 2007). 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) son suelos propios de las zonas áridas y semiáridas, frecuentemente asociados a materiales parentales ricos en bases (depósitos aluviales, coluviales y eólicos). 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 (IUSS, 2007).

Es difícil calcular con exactitud la superficie mundial que ocupan 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 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. Son comunes en bosques de coníferas y selvas caducifolias del sur del país. 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 (IUSS, 2007). En México, se encuentran en la Sierra Madre Occidental, Guerrero,



Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán, entre otras regiones.

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 y matorrales. 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 (IUSS, 2007). A nivel mundial ocupan alrededor de 335 millones de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad se destinan al cultivo de maíz (IUSS, 2007).

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 particularmente de riego, 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, 2012).

#### Referencias:

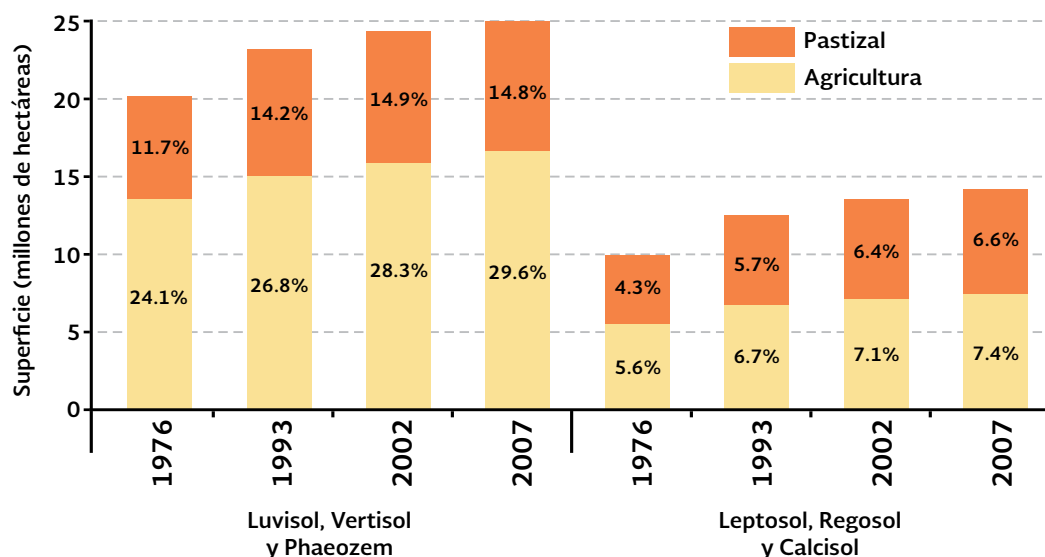
INEGI. *Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos Naturales. Edafología*. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx>. Fecha de consulta: febrero de 2012.

IUSS *Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. FAO. Roma. 2007.

realizan funciones tan importantes como los ciclos biogeoquímicos y la captura de agua (ver Recuadro *Los servicios ambientales del suelo*). Su formación involucra periodos que pueden llegar a miles de años, pero su degradación, algunas veces irreversible, puede realizarse en periodos considerablemente más cortos.

Cuando se habla de la degradación del suelo se hace referencia 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).

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, tanto en México como en el mundo se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y grado de afectación. En nuestro país se han realizado diversas evaluaciones, pero debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada, sus resultados no son comparables. Los dos más recientes se hicieron en los primeros años del siglo XXI y son la *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000* (Semarnat y UACH, 2003) y la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre*



**Notas:**

<sup>1</sup> Aunque la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I hace referencia al año 1976, para su elaboración se emplearon fotografías aéreas de prácticamente toda la década de los 70.

<sup>2</sup> Los porcentajes que aparecen en las barras, se calcularon tomando como base la superficie conjunta de estos suelos a nivel nacional reportada por INEGI (2007), y la extensión de uso del suelo y vegetación reportada también por INEGI (1993, 2004, 2005 y 2011) para los años 1976, 1993, 2002 y 2007.

**Fuentes:**

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1: 250 000. México. 1993.  
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1: 250 000. México. 2004.  
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2005.  
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000. México. 2011.  
 INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II, escala 1: 250 000 (Conjunto Nacional). 2007.

en la República Mexicana, escala 1: 250 000 (Semarnat y CP, 2003).

En el primer estudio, se evaluó de manera indirecta la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica a partir de información cartográfica (p. e., de edafología y precipitación) y de modelos paramétricos (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y Ecuación de la Erosión Eólica) que fueron alimentados por algunas variables evaluadas en muestras de suelo. Por su metodología, la estimación resultante es una medida de la degradación potencial<sup>2</sup> y no una evaluación directa de la degradación existente en el país. Este enfoque, sin embargo, permite identificar las zonas que se encuentran en mayor riesgo, y con ello contribuir a que se

tomen decisiones sobre el uso del suelo en el marco del desarrollo sustentable, de tal manera que se impida o reduzca su degradación.

Los resultados de este trabajo muestran que 42% de la superficie nacional podría resultar afectada por erosión hídrica, y que 17 entidades federativas mostrarían daño 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 riesgo de presentar alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica (Mapa 3.2).

<sup>2</sup> La degradación potencial es el pronóstico de las pérdidas, arrastre o transporte de partículas de suelo que tendría lugar en caso de no existir cubierta vegetal como consecuencia del efecto combinado de la lluvia, los escurrimientos, la erodabilidad de los suelos y el relieve (Moreira-Madueño, 1991; Centro de Información de Recursos Naturales, 2010).

Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican 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, principalmente de las primeras tres categorías, que son indispensables para el sustento de la humanidad. Entre estos servicios se encuentran:

- **Servicios de soporte:** se relacionan en gran parte con la propia heterogeneidad de suelo, ya que provee una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nemátodos que están involucrados en el reciclaje de la materia orgánica y en la continuidad de los principales ciclos biogeoquímicos. Además, el suelo es el sustrato donde las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico que después es 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 en la vegetación y cerca de dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera (FAO, 2004). Esta captura reduce su liberación a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases de efecto invernadero.

- **Servicios de regulación:** el suelo tiene la capacidad de 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.

Además de que la actividad microbiana y las interacciones químicas entre las partículas de arcilla y materia orgánica, pueden ayudar a degradar o desactivar estos compuestos. Asimismo, interviene en la regulación climática por medio de su papel en el ciclo hidrológico, y por su capacidad de absorber y posteriormente emitir calor.

- **Servicios de provisión:** se obtienen del suelo de manera indirecta, y tienen que ver con la producción de biomasa vegetal (alimentos) para el consumo humano y animal o para la producción de combustibles y textiles. El suelo aloja también organismos que son fuente de genes 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, así como piedras y metales preciosos.

#### 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](http://www.fao.org/docrep/007/y5738e/y5738e00.htm). Fecha de consulta: abril de 2012.

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. MEA. Island Press. Washington, D.C. 2005.

Con respecto a la erosión eólica potencial, se estimó que 89% del territorio nacional estaría en riesgo de ser afectado. Prácticamente el 100% del territorio de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango y Zacatecas, tendría alta y muy alta erosión eólica potencial, lo que concuerda con los tipos de vegetación y climas típicos en las zonas áridas y semiáridas del país. Sólo dos entidades mostraron menos de 30% de su territorio con riesgo de presentar erosión eólica: Chiapas (29.3%) y el Distrito Federal (21.8%; Mapa 3.3).

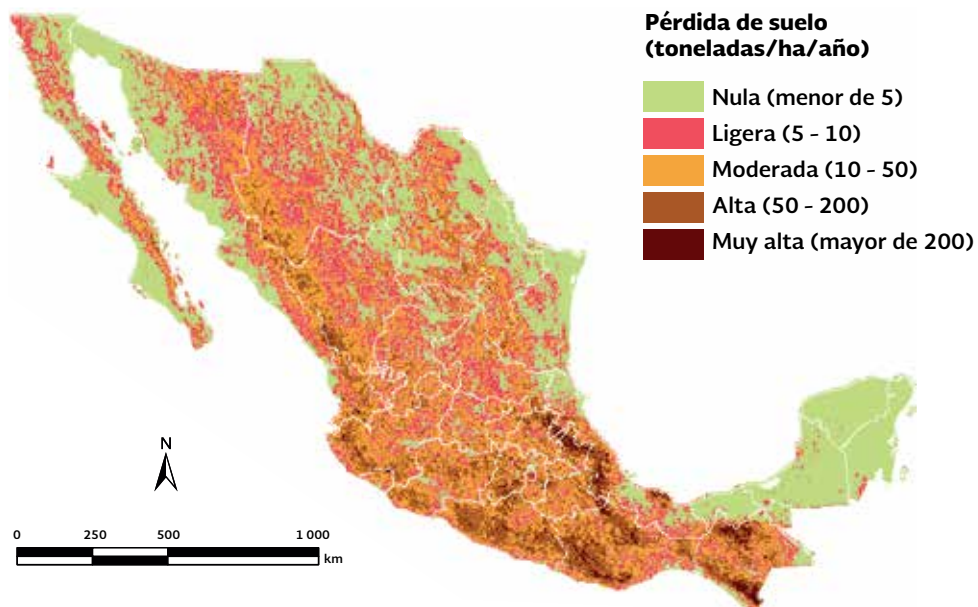
El segundo estudio reportado en este Informe es la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre* (Semarnat y CP, 2003). Es el más reciente y el de mayor nivel de resolución que se ha hecho para México, y a diferencia del anterior, se sustenta en un amplio muestreo en campo que permitió determinar de manera directa cuatro procesos de degradación del suelo: erosión hídrica y eólica y degradación física y química, así como sus causas, tipos específicos y niveles de afectación.

La erosión hídrica se define como la remoción laminar o en masa de los materiales del suelo debido a la acción del agua de lluvia, la cual puede deformar el terreno y originar canalillos y cárcavas. En la erosión eólica, el agente erosivo 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 la presencia de actividades agrícolas. 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.

De acuerdo con esta evaluación, el 44.9% de los suelos del país estaban afectados por algún proceso de degradación, los cuales se ubican tanto en zonas de ecosistemas naturales como manejados. La degradación química ocupaba el primer lugar (34.04 millones de hectáreas, 17.8% del territorio nacional), seguida por la erosión hídrica (22.72 millones de hectáreas, 11.9%), eólica (18.12 millones de hectáreas, 9.5%) y, al final, la degradación física (10.84

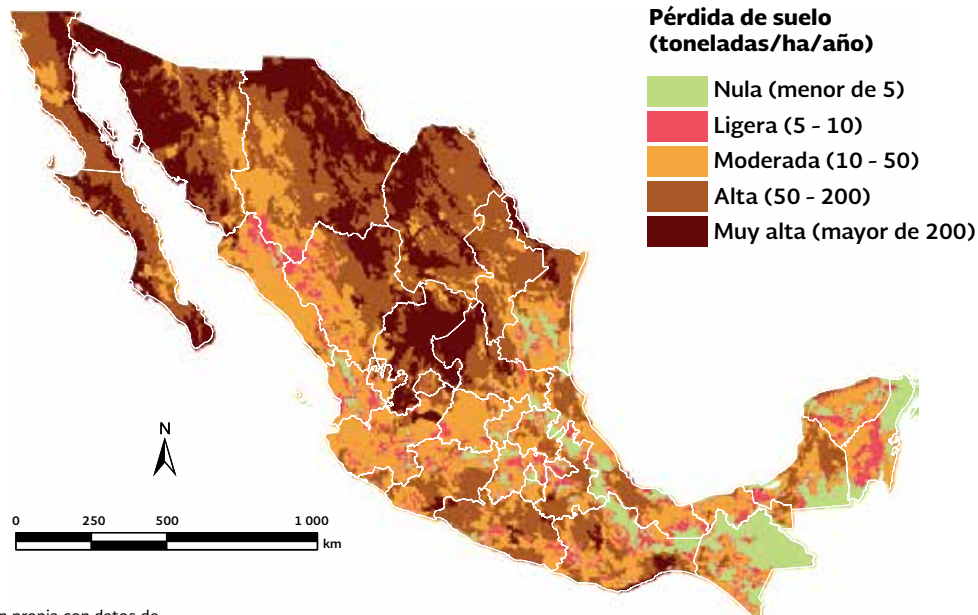
### Erosión hídrica potencial de suelos según nivel, 2002

Mapa 3.2



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.



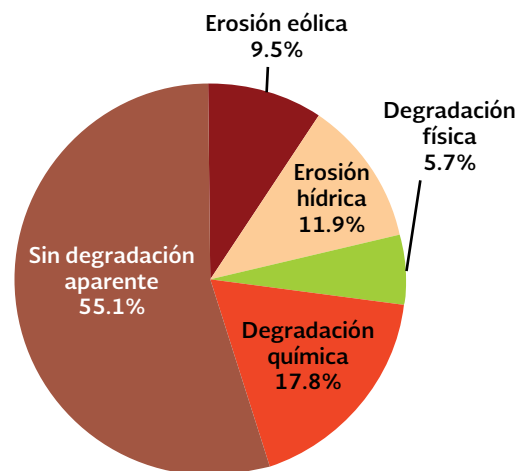
millones de hectáreas, 5.7%; Figura 3.3; **IB 3.3, IC 13**)<sup>3</sup>. Los suelos sin degradación aparente se encontraban en 55.1% del país (105.2 millones de hectáreas).

Con respecto a las subdivisiones de los cuatro grandes procesos, tanto en la erosión hídrica como en la eólica, el tipo específico dominante fue la pérdida de suelo superficial. En el caso de la hídrica, representó 88% de la superficie nacional afectada, y en la eólica, el 95.5%. En la degradación química predominó la disminución de la fertilidad del suelo (92.7% de la superficie nacional con degradación química) y en la física, la compactación (68.2% de la superficie nacional con degradación física; Figura 3.4; [Cuadro D3\\_SUELO03\\_01](#)).

Otro ángulo de análisis de la degradación de suelo es a través del nivel de afectación en que se encuentran los terrenos, el cual se determinó a partir de la reducción de la

**Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México, 2002<sup>1</sup>**

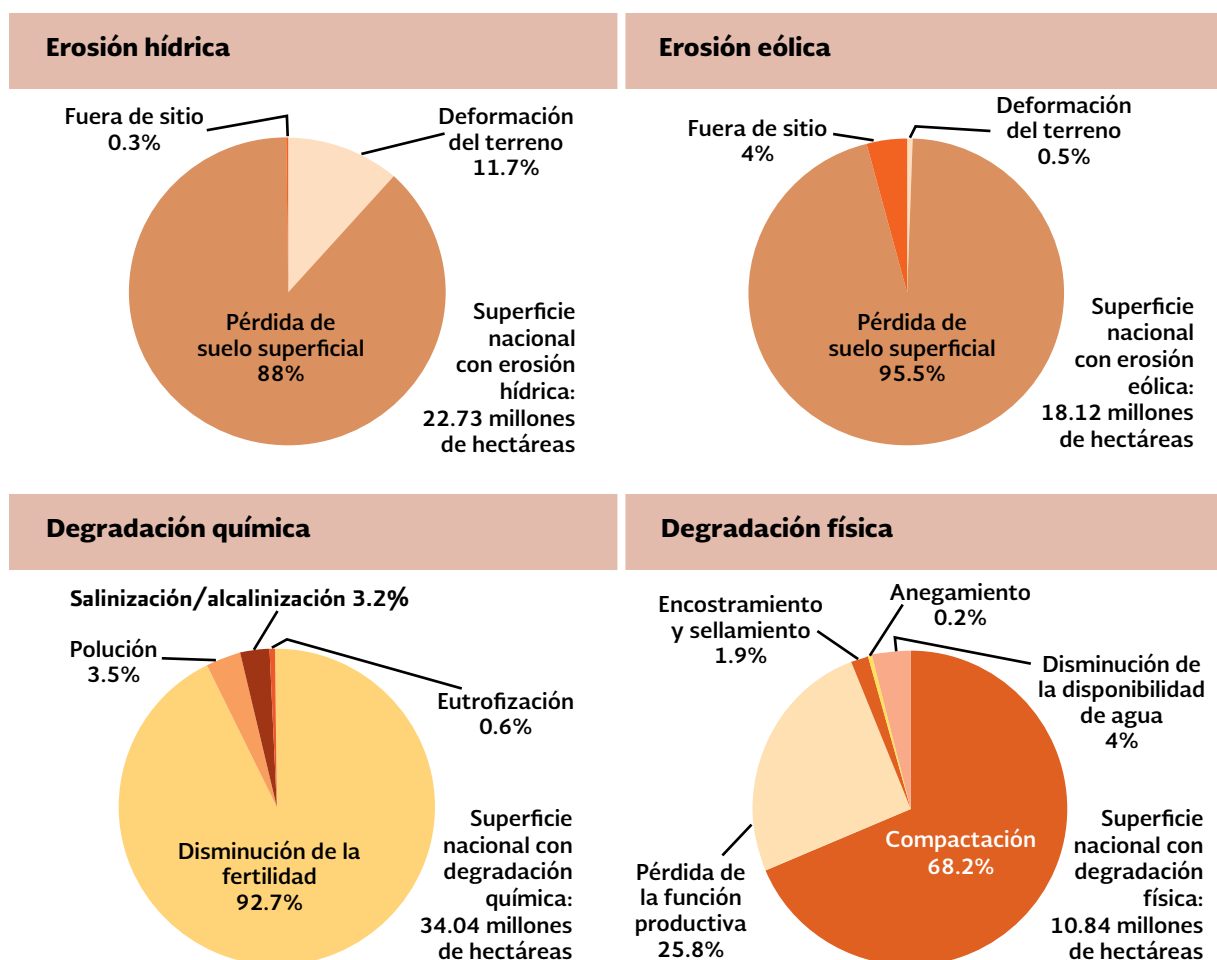
Figura 3.3



**Nota:**  
<sup>1</sup> Superficie nacional considerada: 1 909 818.5 km<sup>2</sup>. No incluye cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, regiones desprovistas de vegetación y superficie insular.

**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.

<sup>3</sup> Los porcentajes pueden variar con respecto a otros análisis por la superficie nacional considerada, que aquí fue de 1 909 818.5 km<sup>2</sup> y no incluye cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, regiones desprovistas de vegetación y superficie insular.



**Nota:**  
<sup>1</sup> Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

**Fuente:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 Semarnat y 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.

productividad biológica<sup>4</sup>. De esta manera, el 2.1% (3.97 millones de hectáreas) del país se ubicó en los niveles de fuerte a extremo y el 42.8% (81.78 millones de hectáreas) entre ligero y moderado (Figura 3.5; [Cuadro D3\\_SUELO03\\_01](#)). Al combinar los procesos y los niveles de degradación del suelo, se obtuvo que entre 55 y 62% de la superficie con degradación química y física y erosión hídrica se encontraba en nivel ligero, mientras que para el caso de la erosión eólica, el nivel dominante fue el

moderado, ya que estaba presente en cerca del 67% de la superficie afectada (Figura 3.6).

Las causas de la degradación de los suelos en el país involucran actividades de diversa índole: 35% de la superficie nacional degradada se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.4% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (Mapa 3.4).

<sup>4</sup> Nivel ligero: los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas locales presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad; nivel moderado: los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas locales presentan una marcada reducción en su productividad; fuerte: los terrenos a nivel de predio o de granja, tienen una degradación tan severa, que se pueden considerar con productividad irrecuperable a menos que se realicen grandes trabajos de ingeniería para su restauración; extremo: su productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible.

En virtud de las diferencias regionales en las afectaciones de los diferentes procesos de degradación del suelo, en las siguientes secciones de este capítulo se describen de manera detallada las características, niveles, distribución geográfica y causas de los cuatro procesos de degradación de suelo de acuerdo con la *Evaluación de la degradación de suelo causada por el hombre en la República Mexicana* (Semarnat y CP, 2003).

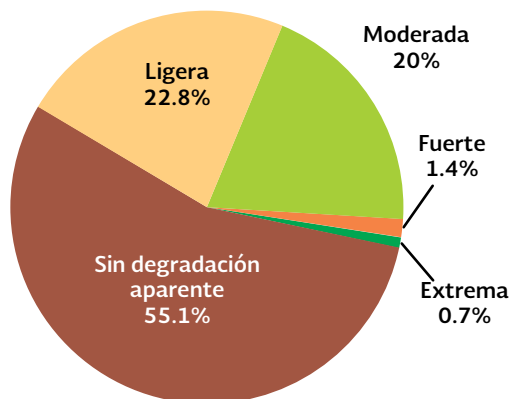
### EROSIÓN HÍDRICA

La compleja topografía del territorio nacional es un factor que, combinado con el manejo inadecuado de las tierras forestales, agrícolas y ganaderas, puede favorecer las escorrentías que erosionan las capas superficiales del suelo.

La erosión hídrica se divide en tres tipos: deformación de terreno, efectos fuera de sitio y pérdida de suelo superficial. Este último tiene serias consecuencias en las funciones del suelo: remueve los nutrientes y la materia orgánica, reduce la profundidad de enraizamiento de las

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

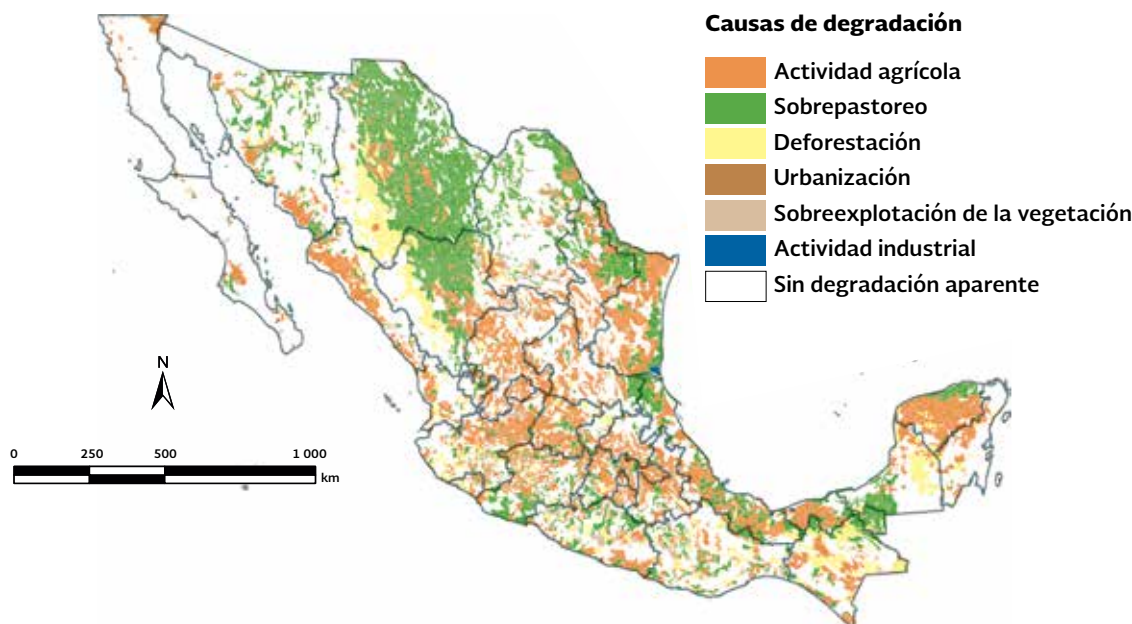
Figura 3.5



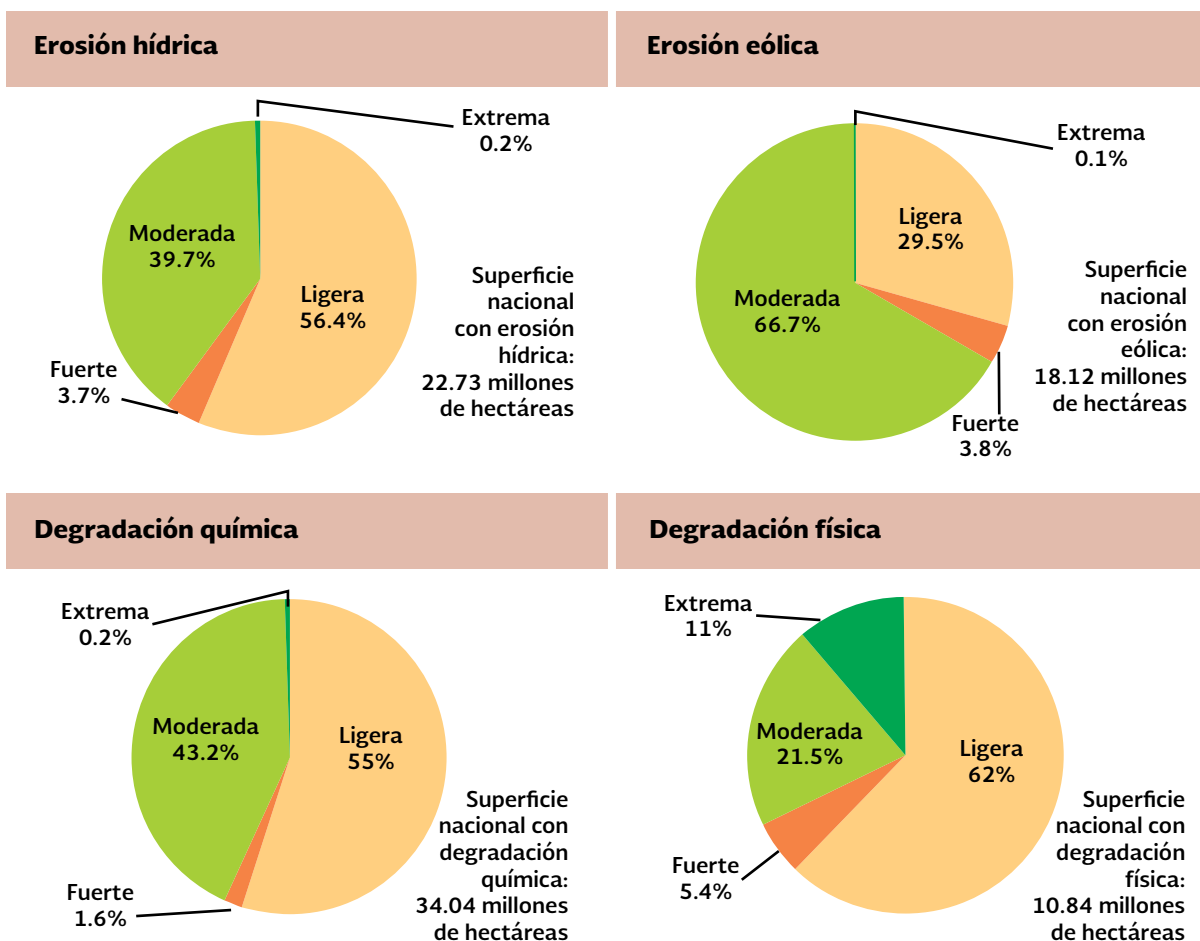
**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México, 2003.

### Principales causas de degradación del suelo en México, 2002

Mapa 3.4



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.



**Nota:**

<sup>1</sup> Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Semarnat y 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.*

plantas y disminuye la tasa de infiltración y retención de agua.

Los otros dos tipos de erosión hídrica están muy relacionados entre sí. Cuando el suelo es arrastrado por el agua debido a que no hay suficiente protección por parte de la vegetación, se llegan a formar canales y cárcavas. Estas deformaciones del terreno permiten el escurrimiento de una gran cantidad de agua y el arrastre de sedimentos que pueden llegar a presas, ríos o lagunas, entre otros cuerpos de agua, contribuyendo a su contaminación, azolvamiento e incluso a que lleguen a desbordarse e inunden zonas

aledañas. A esto se le conoce 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](#)). Si se analiza a nivel estatal, en proporción a su superficie, Guerrero tiene la mayor afectación con 31.8% de su territorio con erosión hídrica; mientras que Baja California Sur (0.03%), Baja California (0.1%) y Veracruz (1%) se encuentran entre las menos afectadas (Tabla 3.1).



## EROSIÓN EÓLICA

La erosión eólica afecta principalmente a las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, aunque no es exclusiva de ellas. Sus causas también se atribuyen a una insuficiente protección del suelo por la cubierta vegetal, a la destrucción de la estructura del suelo y a niveles bajos de humedad. A escala nacional, 18.12 millones de hectáreas (equivalentes al 9.5% del territorio) muestran evidencias de erosión eólica.

Con respecto a los niveles de afectación por este tipo de erosión, del total nacional 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](#)).

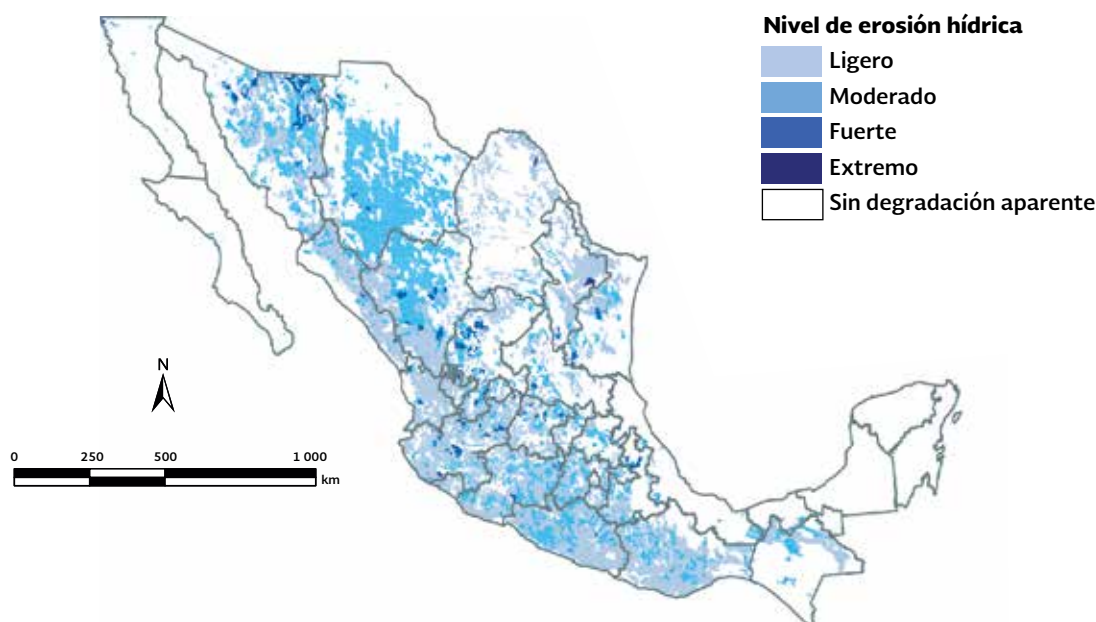
Las entidades más afectadas por la erosión eólica, en proporción a su superficie en 2002, fueron Chihuahua (28.5% de su territorio), Tlaxcala (26%), Nuevo León (18.9%) y Durango (17.9%); mientras que

Baja California (0.3%), Veracruz (0.7%), Baja California Sur (1.2%) y Colima (2.8%) se encontraban entre las menos afectadas (Tabla 3.2).

Los tipos específicos de erosión eólica son los mismos que los de la erosión hídrica. También en este caso predominó la pérdida de suelo superficial, que afectaba al 9.1% del territorio nacional. En los sitios que presentan indicios de erosión eólica y sus alrededores, es común la formación de dunas, lo que dificulta el establecimiento y el desarrollo de la vegetación. Los estados más afectados por la pérdida de suelo superficial en proporción a su superficie fueron Tlaxcala (26%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.9%). Los otros dos tipos de erosión eólica, propiamente la deformación del terreno y los efectos fuera de sitio, cubrieron poco más de 800 mil hectáreas, es decir, 0.44% del territorio nacional. Esta superficie se concentró en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila y Puebla (Tabla 3.2).

## Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002

Mapa 3.5



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.

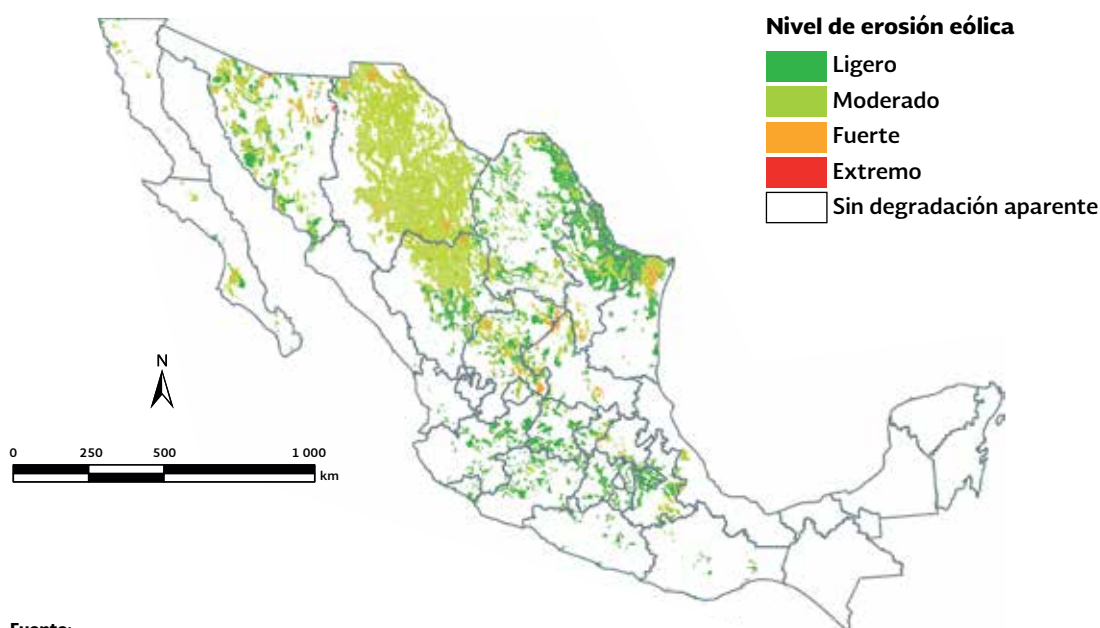
**Erosión hídrica según tipo por entidad federativa, 2002**  
(Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)

**Tabla 3.1**

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Miles de ha	Porcentaje
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
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
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>2 660.43</b>	<b>1.4</b>	<b>20 003.97</b>	<b>10.5</b>	<b>61.31</b>	<b>0.03</b>	<b>22 725.71</b>	<b>11.9</b>

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.*

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.

Un ejemplo de la importancia de la erosión eólica en su modalidad de efectos fuera de sitio se presentó en el Distrito Federal durante la década de los 50, cuando llegaban grandes tolvaneras provenientes del lecho seco del exlago de Texcoco. El paso estacional de los vientos del noreste arrastraba partículas de polvo, materia orgánica y microorganismos patógenos que provocaban problemas de salud a los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México.

## DEGRADACIÓN QUÍMICA

La degradación química fue el proceso de degradación del suelo más extendido en el país en el año 2002, con alrededor de 34.04 millones de hectáreas (17.8% del territorio). Considerando los niveles de degradación, el ligero está en 55% de la superficie nacional con este tipo de degradación; el moderado, en 43.2% y el fuerte y extremo en conjunto, sumaron el 1.8% (Figura 3.6; Mapa 3.7; [Cuadro](#)

[D3\\_SUELO03\\_03](#)). Si se analiza por entidad federativa, se observa que está presente en todo el país, en un rango que va de 1.9% de la superficie estatal en Baja California Sur hasta 55.1% en Yucatán (Tabla 3.3).

Los tipos de degradación química registrados en el estudio fueron la disminución de la fertilidad, <sup>5</sup>polución, salinización/alcalinización y eutrofización. La disminución de la fertilidad del suelo, entendida como el decremento neto de nutrientes y materia orgánica disponibles en el suelo, se debe a un balance negativo entre las entradas de nutrientes y materia orgánica (vía la fertilización, conservación de los residuos de las cosechas y los depósitos de sedimentos fértiles) y las salidas (representadas por los productos de las cosechas, las quemaduras o la lixiviación), todo ello con importantes repercusiones en la productividad del suelo. La disminución de la fertilidad fue el tipo de degradación química más importante en el país, cubriendo el 92.7% de la superficie afectada

<sup>5</sup> La polución se diferencia de la contaminación en que ésta última se debe a una sustancia extraña que no produce efectos adversos significativos, mientras que la polución sí los tiene (Semarnat y CP, 2003).

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

**Tabla 3.2**

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Miles de ha	Porcentaje
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
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
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>83.39</b>	<b>0.04</b>	<b>17 323.43</b>	<b>9.1</b>	<b>718.05</b>	<b>0.4</b>	<b>18 124.86</b>	<b>9.5</b>

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.*



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.*

por degradación química. Como ejemplo, más de la mitad de los suelos de Yucatán, y casi la tercera parte de los de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz tienen este problema (Tabla 3.3; Mapa 3.8).

Los restantes tres tipos específicos de degradación química están menos extendidos, ocupando, en conjunto, 7.3% de la superficie con degradación química del país, sin que por ello sean poco importantes. La polución se debe a la concentración y efecto biológico adverso de algunas sustancias que pueden provenir de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados. La salinización y alcalinización, por su parte, están representadas por un incremento en el contenido de sales en el suelo superficial que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos. Sus posibles causas incluyen la intrusión de aguas marinas y el uso de sistemas de riego que utilizan agua con una alta concentración de sodio, lo que puede ocasionar la formación de una capa de salitre en la superficie de los suelos que tienen

drenaje deficiente, alta evaporación, o se encuentran bajo riego excesivo.

La salinización o alcalinización se presenta principalmente en las regiones áridas, en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. La eutrofización es el exceso de nutrientes en el suelo que perjudica el desarrollo de la vegetación y puede deberse a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos. La polución, salinización y eutrofización se encuentran principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Guanajuato, Sonora, Sinaloa y Zacatecas (Mapa 3.8).

### DEGRADACIÓN FÍSICA

La degradación física es el proceso menos extendido en el país, ya que afecta a cerca de 6% de la superficie nacional; 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 en términos relativos a su territorio,

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

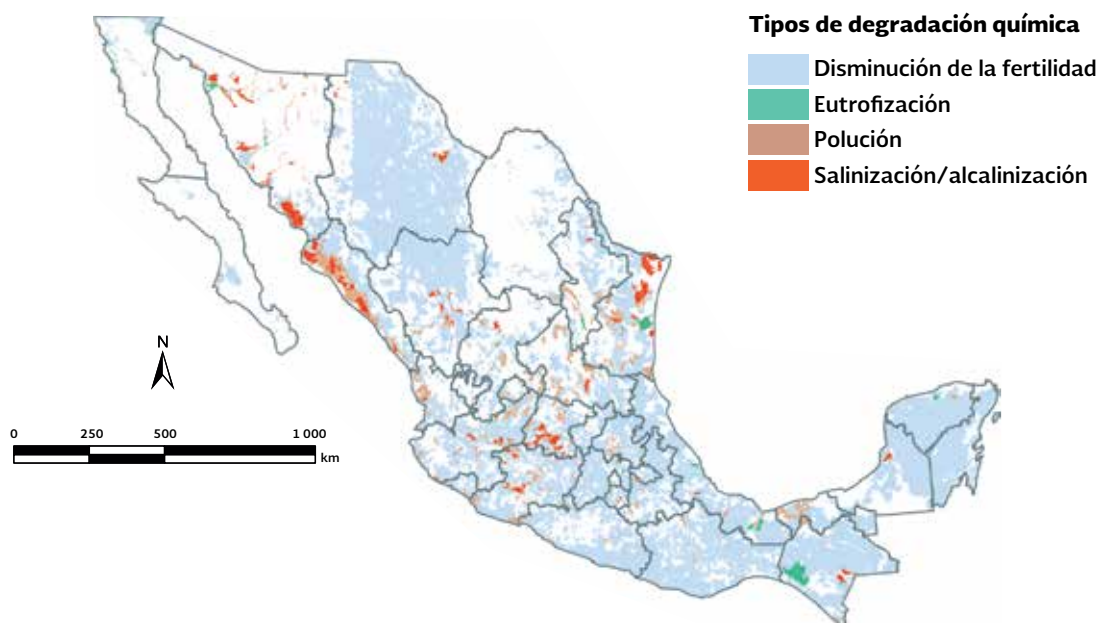
**Tabla 3.3**

	Disminución de la fertilidad		Polución		Salinización - Alcalinización		Eutrofización		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Miles de ha	Porcentaje
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
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
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>31 604.37</b>	<b>16.6</b>	<b>1 183.4</b>	<b>0.6</b>	<b>1 064.57</b>	<b>0.6</b>	<b>190.20</b>	<b>0.1</b>	<b>34 042.55</b>	<b>17.8</b>

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:

Semarnat y 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.



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.

fue Tabasco (38.4%) y las entidades menos afectadas fueron Coahuila, Sonora, Querétaro, Nuevo León y Michoacán con menos de 2% cada una de ellas (Tabla 3.4).

La degradación física del suelo se puede presentar en cinco tipos específicos: compactación, encostramiento, anegamiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva. La compactación se refiere a la destrucción de la estructura<sup>6</sup> del suelo, y frecuentemente se asocia al pisoteo del ganado o al paso habitual de maquinaria pesada. 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. Por lo general, este tipo de degradación 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 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. Finalmente, la pérdida de la función productiva implica que los suelos, al ser usados en actividades no biológicas (por ejemplo construcción de infraestructura, minería o canteras) pierden su función productiva.

Los tipos de degradación física con mayor presencia en el país, fueron la compactación y la pérdida de la función productiva con 4% y 1.3% de superficie nacional afectada, respectivamente. El encostramiento, el anegamiento y la disminución de la disponibilidad de agua afectaron, en conjunto, al 0.31% del territorio nacional. La entidad más afectada por compactación, en términos relativos a

<sup>6</sup> Se refiere al arreglo de las partículas de arena, limo y arcilla para formar conglomerados o agregados de suelo. Las partículas se mantienen unidas por raíces o productos de la actividad microbiana.

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

**Tabla 3.4**

	Encostramiento y sellamiento		Pérdida de la función productiva		Anegamiento		Disminución de la disponibilidad de agua		Compactación		Superficie estatal afectada	
	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Miles de ha	Porcentaje
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
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
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>208.23</b>	<b>0.1</b>	<b>2 459.18</b>	<b>1.3</b>	<b>18.31</b>	<b>0.01</b>	<b>454.14</b>	<b>0.2</b>	<b>7 697.95</b>	<b>4.0</b>	<b>10 837.81</b>	<b>5.7</b>

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:

Semarnat y 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.*



su superficie, fue Tabasco (36.5%) y entre las menos afectadas se encuentran Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Chihuahua, Baja California y Baja California Sur con menos de 1% cada una de ellas. En cuanto a la pérdida de la función productiva, la entidad más afectada en términos relativos a su superficie fue el Distrito Federal (10%), mientras que Campeche, Coahuila, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Aguascalientes y Veracruz presentaron menos de 1% de afectación en su territorio (Tabla 3.4).

Con respecto a los niveles presentes en la degradación física, el extremo se presentó en 1.2 millones de hectáreas (11% de la superficie nacional afectada); el fuerte en 587 mil (5.4%); el moderado en 2.33 millones (21.5%) y el ligero en 6.72 millones (62%; Figura 3.6; Mapa 3.9, [Cuadro D3\\_SUELO03\\_03](#)).

**RELACIÓN ENTRE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO Y LA COBERTURA VEGETAL**

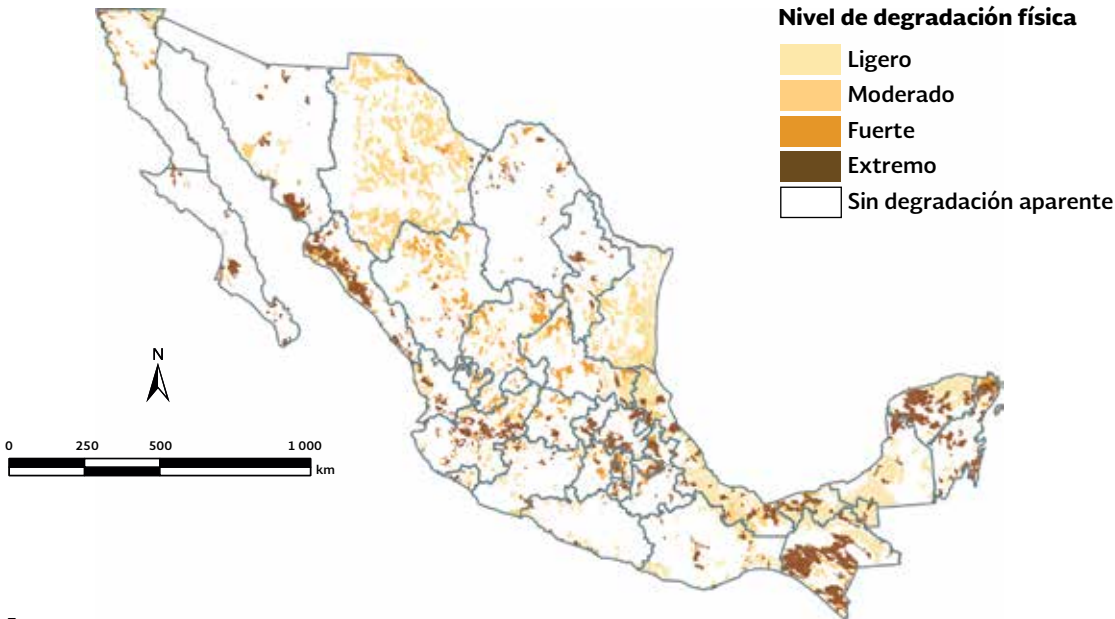
La degradación del suelo es el resultado de la interacción de factores ambientales y

humanos entre los que se encuentran el tipo de suelo, la topografía, el clima, la deforestación, el sobrepastoreo, la densidad poblacional, la manera en la que se usan los recursos naturales y el tipo y estado de la cobertura vegetal. Con respecto a este último factor, una parte de los suelos de los ecosistemas naturales presenta señales de degradación en sus diferentes procesos y niveles (Figura 3.7). En las selvas húmedas, bosques templados y manglares, el nivel de degradación dominante es el ligero; mientras que en los matorrales xerófilos, bosque mesófilo de montaña y pastizal natural domina el nivel moderado. No obstante, en todos los tipos de vegetación se pueden presentar extensiones con degradación fuerte y extrema, sobre todo cuando son utilizados como zonas de agostadero.

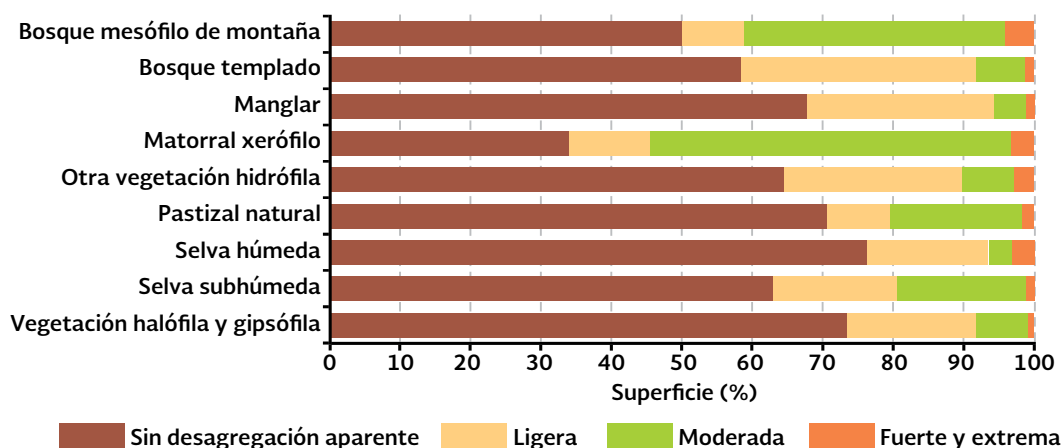
Si se analiza el proceso de degradación por tipo de vegetación natural, los suelos de los bosques templados están mayormente afectados por erosión hídrica, probablemente porque muchos de ellos se encuentran en zonas de montaña, con pendientes que incrementan el efecto de las escorrentías. Los daños podrían acrecentarse si los bosques sufren de algún

**Degradación física de suelos según nivel en México, 2002**

**Mapa 3.9**



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.



**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos mostrados son resultado del cruce de información generada en años diferentes: la referente a la degradación del suelo corresponde a 2002 y la del suelo a 2007.

**Fuentes:**

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007), escala 1: 250 000.* México. 2011.

Semarnat y 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.

tipo de perturbación, tal como el corte de leña, la extracción de tierra de monte o incluso el ser usados como zona de agostadero. La erosión eólica, por su parte, afecta en mayor medida a los suelos del matorral xerófilo, los pastizales naturales y la vegetación halófila y gipsófila, lo cual es consecuente con la poca protección que estos tipos de vegetación brindan al suelo, comparada con la que ofrecen las selvas húmedas y subhúmedas, donde el proceso dominante es la degradación química.

Si se considera la superficie total de los ecosistemas naturales, el pastizal y la vegetación halófila y gipsófila tienen el mayor porcentaje de sus suelos degradados, con el 66.1% y 49.7%, respectivamente, equivalente a 6.5 y 2.2 millones de hectáreas afectadas (Figura 3.8; Cuadros D3\_SUELO03\_02 y D3\_



SUELO03\_06; IB 3.3, IC 13).

Con respecto a los ecosistemas manejados, de la superficie nacional dedicada a agricultura, ganadería y bosques cultivados, alrededor de 70% (aproximadamente 35 millones de hectáreas) resultó afectada por algún tipo específico de degradación, siendo la química, en su calidad de pérdida de la fertilidad, el tipo dominante (Figura 3.8). Esto podría deberse

a que el cambio de uso del suelo al que se sometieron los terrenos que sostenían la vegetación natural se hizo sin considerar su potencial agrícola, lo cual pudo provocar el agotamiento de los nutrientes.

## EL PROBLEMA DE LA DESERTIFICACIÓN

Si bien el suelo es el sitio donde se realizan gran parte de las actividades primarias (agricultura y ganadería) a partir de las cuales se producen nuestros alimentos y además sirve de sostén para la infraestructura habitacional, industrial, carretera y recreativa, su degradación forma parte de un proceso mayor llamado *degradación de la tierra*. En este sentido, “tierra” debe entenderse como el área específica de la corteza terrestre que cuenta con características particulares de atmósfera, suelo, geología, hidrología y biología, y en la que se aprecian los resultados de la actividad humana pasada y las interacciones entre todos los elementos (UNCCD, 1994).

Para la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), la degradación de la tierra es “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”.

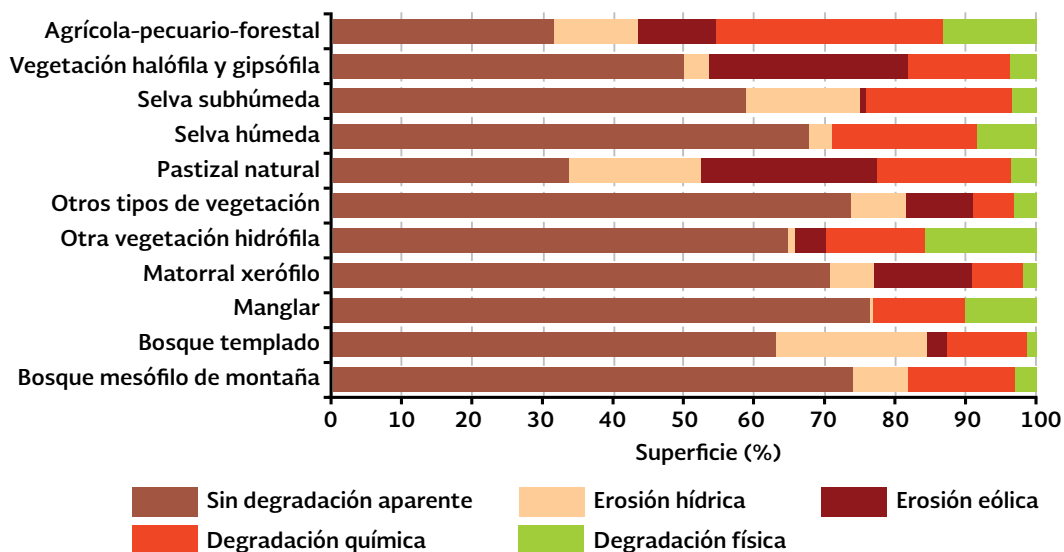
Cuando la degradación de la tierra se produce en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, se habla de desertificación. Bajo esta definición, la desertificación no es la transformación de diversos ecosistemas en desiertos, sino la pérdida, muchas veces irreparable, de las funciones productivas del suelo, la alteración de los ciclos biológicos y del ciclo hidrológico, así como la disminución del aporte y cantidad de servicios ambientales que generan los ecosistemas.

No existe un proceso lineal de causa-efecto que permita explicar completamente la desertificación; sin embargo, se han detectado complejas interacciones que funcionan como motores del proceso. Estos motores son las

variaciones climáticas (como la baja humedad del suelo, los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación) y las actividades humanas (como la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, las tendencias del mercado e incluso, las dinámicas sociopolíticas; UNCCD y Zoi, 2011). En este último punto, la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación.

En México, de acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el concepto de desertificación se aplica a todos los ecosistemas existentes en el territorio nacional, debido a que la pérdida de la capacidad productiva de las tierras no está restringida a las zonas secas (DOF, 2012). No obstante, es importante mencionar que lo anterior no reduce la prioridad que la UNCCD establece para las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para delimitar las regiones que pueden sufrir desertificación.

**Tipos de degradación del suelo en diferentes usos del suelo y vegetación en México<sup>1</sup> Figura 3.8**



**Nota:**  
<sup>1</sup> Los datos mostrados son resultado del cruce de información generada en años diferentes: la referente a la degradación del suelo corresponde a 2002 y la del suelo a 2007.

**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.  
 Semarnat y 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.

Las consecuencias más importantes de la desertificación van desde la disminución en la producción alimentaria, infertilidad y salinización del suelo, reducción de la capacidad de recuperación natural de la tierra, incremento de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas, escasez de agua, sedimentación de cuerpos de agua, agravamiento de problemas de salud debido al polvo transportado por el viento (p. e., infecciones oculares, enfermedades respiratorias y alergias) y alteración de los ciclos biológicos, hasta la pérdida de los medios de subsistencia de las sociedades, lo cual puede contribuir a estimular la migración (UNCCD-Zoi, 2011).

La lucha mundial contra la desertificación está encabezada por la UNCCD, la cual entró en vigor en la década de los años 90. Hasta mayo de 2012, 195 países habían aprobado, aceptado, ratificado o se habían adherido como miembros de dicha Convención, entre ellos México, que la ratificó en 1995 (UNCCD, 2012). La UNCCD es un instrumento único enfocado tanto a la atención de la degradación de la tierra, como a los problemas sociales y económicos que este proceso genera. Tiene cuatro objetivos estratégicos: 1) mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas; 2) mejorar las condiciones de los ecosistemas afectados; 3) generar beneficios globales a través de la implementación eficaz de la propia Convención, y 4) movilizar los recursos para respaldar la implementación eficaz de la Convención a través de la creación de alianzas eficaces entre los actores nacionales e internacionales.

Aunque en nuestro país las primeras acciones de lucha contra la desertificación se implementaron en la década de los 70 del siglo pasado a través de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Conaza-Sedesol, 1994), es hasta 2005 que en el marco de los acuerdos firmados ante la UNCCD, se crea el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES). En este sistema confluyen diversas instituciones públicas (Semarnat,

Sagarpa, INEGI, SRA, Sedesol, Conafor e INE), organizaciones sociales (RIOD-Mex, CNC, CNPR y CCDS) y el sector académico (CP, UA-Chapingo, UAAAN e ITESM). El SINADES es coordinado por la Semarnat, a través de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la cual funge como punto focal nacional ante la UNCCD.

El SINADES pretende un mayor involucramiento de la sociedad en el manejo sustentable de tierras, por medio de los siguientes objetivos: a) contener y revertir la desertificación y la degradación de las tierras a través de programas integrales de recuperación e impulso a la producción sustentable; b) promover que los productores adopten prácticas y sistemas productivos que preserven y mejoren los recursos naturales; c) coordinar los esfuerzos contra la desertificación y la degradación de los recursos naturales en los que participen el Gobierno Federal y los otros órdenes de Gobierno, así como organizaciones de la sociedad civil; y d) promover la creación y fortalecimiento de una conciencia ambiental acentuando la atención de la sociedad a los problemas de la desertificación y la degradación de los recursos naturales.

## DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS SECAS

Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, genéricamente denominadas tierras secas, se caracterizan por tener condiciones climáticas particulares, como son la precipitación escasa e irregular, una gran diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas, suelos con poca materia orgánica y humedad, además de una elevada evapotranspiración potencial. Estas características propician que los asentamientos humanos se establezcan alrededor de las pocas fuentes de agua disponibles (como ríos, manantiales o pozos) y que éstas sean muchas veces sobreexplotadas o contaminadas.

Existen diferentes definiciones de las tierras secas, lo cual puede llevar irremediablemente

a cifras distintas en cuanto a la magnitud de la superficie afectada por la desertificación o la población afectada por ella. En el presente capítulo se adoptó el criterio de la UNCCD, que clasifica a las tierras secas según su índice de aridez<sup>7</sup> en áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Esta clasificación está basada a su vez en el Atlas Mundial de la Desertificación (PNUMA, 1997), que señala que las tierras secas son aquellas áreas en donde el índice de aridez es menor a 0.65.

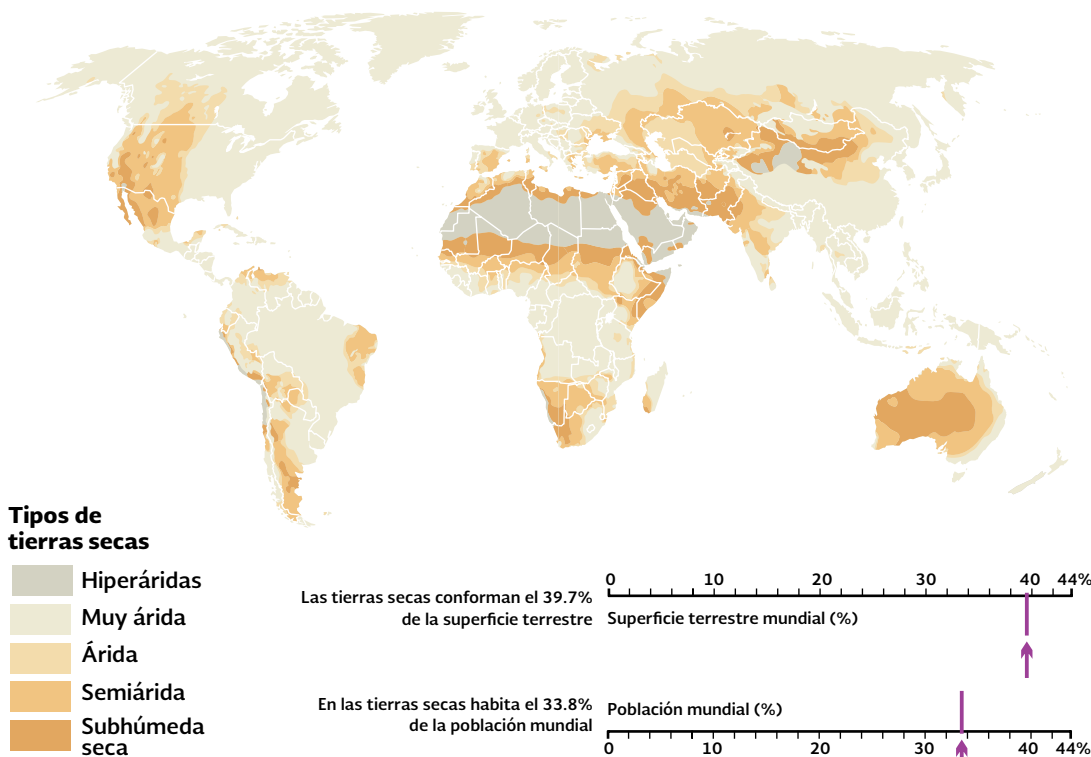
Según la UNCCD (2011), el 12.1% de la superficie terrestre del planeta corresponde a zonas áridas; 17.7% a zonas semiáridas y 9.9% a subhúmedas secas. En ellas viven poco más de 2 mil millones de personas (aproximadamente 1 de cada 3 habitantes del planeta), la mayoría en países en vías de desarrollo. Además, las zonas secas albergan

alrededor del 50% del ganado y el 44% de las tierras agrícolas del mundo, y son extensiones territoriales muy grandes que representan hábitats muy valiosos para la vida silvestre. Las mayores extensiones de tierras secas se encuentran en Australia, China, Rusia, Estados Unidos y Kazajstán (Mapa 3.10).

En México, las tierras secas (áridas, semiáridas y subhúmedas secas) se encuentran principalmente en los desiertos Sonorense y Chihuahuense y en las regiones centrales influenciadas por el efecto de sombra orográfica generada por las Sierras Madre Occidental y Oriental. Con base en un estudio realizado por la Universidad Autónoma Chapingo (2011), las tierras secas de México (determinadas también a partir del índice de aridez antes mencionado), ocupan aproximadamente 101.5 millones de

### Distribución de las tierras secas en el mundo

Mapa 3.10



Fuente: UNCCD-Zoi. *Desertification. A visual synthesis*. UNCCD-Zoi Environment Network. France. 2011.

<sup>7</sup> Se obtiene del cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media. Los valores entre 0.05 y 0.2 corresponden a zonas áridas; entre 0.2 y 0.5, a zonas semiáridas; y entre 0.5 y 0.65 a subhúmedas secas.

hectáreas<sup>8</sup>, poco más de la mitad de nuestro territorio. De esta superficie, las zonas áridas representan el 15.7%; las semiáridas, el 58% y el 26.3% restante corresponde a las zonas subhúmedas secas (Mapa 3.11).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2011), en las tierras secas de México habitaban 33.6 millones de personas, que equivalían al 30% de la población del país. De ellas, 18.1% radicaba en localidades rurales y 81.9% en localidades urbanas (Figura 3.9).

En las zonas semiáridas y subhúmedas secas se concentra alrededor de 91.5% de la población que habita en las zonas secas de México, debido probablemente a que en ellas existe menor déficit de agua, lo que permite una mayor actividad económica. De hecho, poco menos de la mitad de la superficie agrícola del país y casi un tercio de

los pastizales inducidos o cultivados están en este tipo de zonas (Figura 3.10).

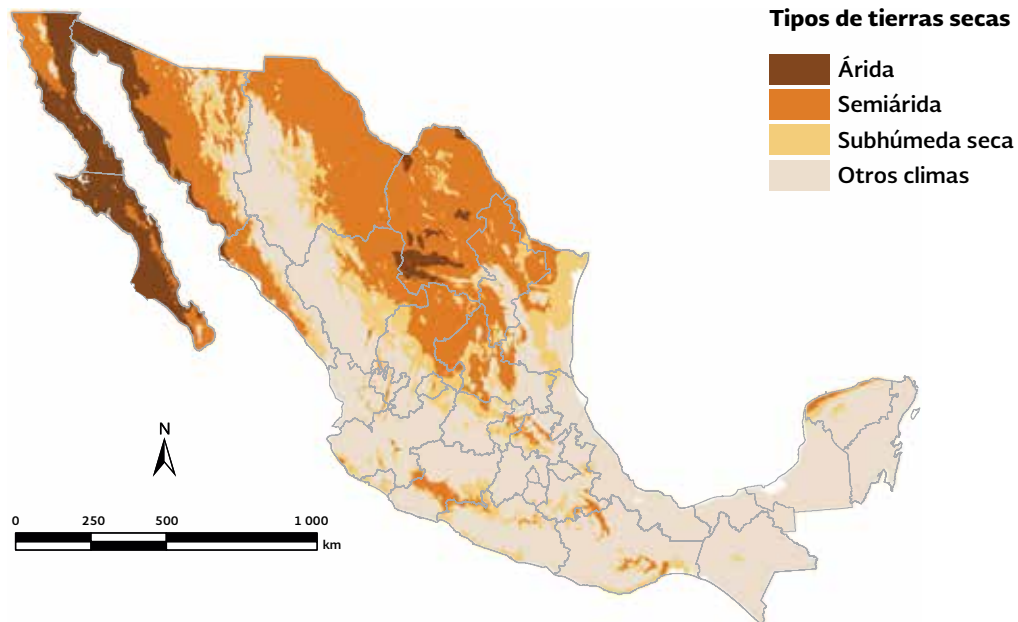
De la vegetación natural que ocupaba las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas en el país en 2002, alrededor de un millón de hectáreas (principalmente de selvas subhúmedas, pastizales naturales y vegetación halófila y gipsófila) fueron transformadas hacia algún otro uso para el año 2007 (Figura 3.11). La mayor parte de esta superficie transformada correspondió a vegetación halófila y gipsófila. En ese mismo periodo, los pastizales inducidos y cultivados destinados a la actividad pecuaria, crecieron en más de 148 mil hectáreas y la agricultura hizo lo mismo en cerca de 650 mil hectáreas.

## EXTENSIÓN DE LA DESERTIFICACIÓN

La UNCCD calcula que entre 71 y 75% de las zonas secas del mundo están desertificadas.

### Distribución de las tierras secas de México<sup>1</sup>

Mapa 3.11



**Nota:**

<sup>1</sup> Clasificación basada en el criterio del índice de aridez.

**Fuente:**

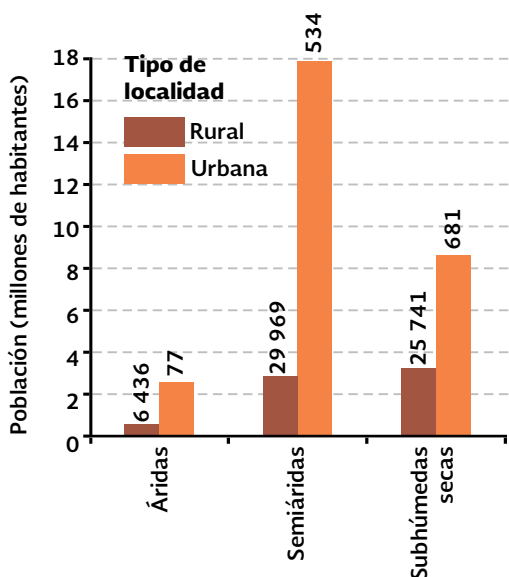
Elaboración propia con datos de:

UACH. *Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.

<sup>8</sup> En el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2008, se utilizó una zonificación basada en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen adaptada para México (García, 1988), a partir de la cual se obtuvo una superficie de 128 millones de hectáreas de tierras secas en el país, aproximadamente 65.2% del territorio.

## Población en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas<sup>1</sup> de México, 2010

Figura 3.9



**Nota:**

<sup>1</sup> Las cifras que aparecen en la parte superior de cada barra corresponden al número de localidades asentadas en cada tipo de zona seca.

**Fuentes:**

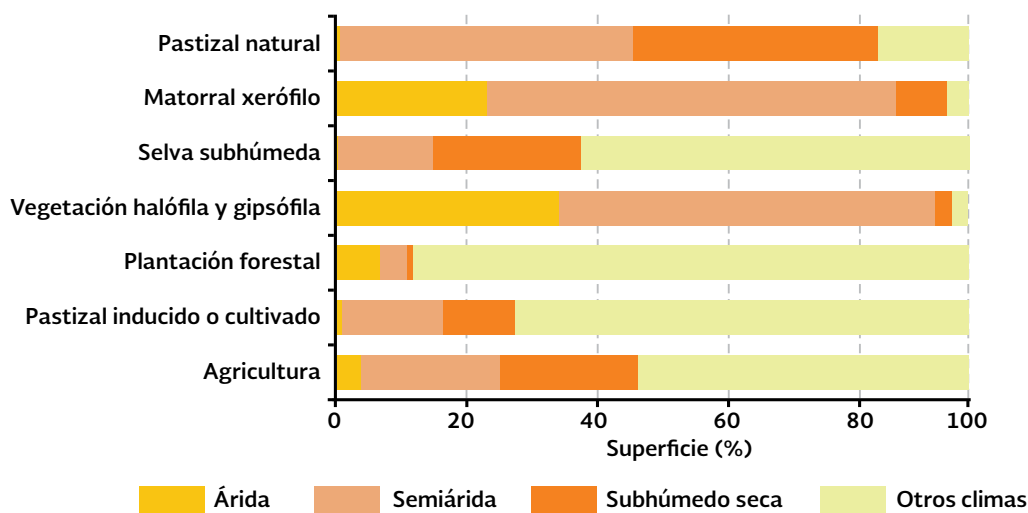
Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.  
UACH. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.

En el caso de México, las estimaciones sobre la magnitud de la desertificación pueden diferir, en principio, por los métodos que se han empleado para calcularlas. Aunque a la fecha no existen estudios específicos sobre la extensión de la desertificación en el país, en esta obra se considera a la degradación del suelo en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, como un estimador de la desertificación, reconociendo sin embargo que es una aproximación que sólo considera a uno de sus elementos y que la información sobre la condición del suelo data de hace aproximadamente diez años.

Bajo estas premisas, en nuestro país la degradación del suelo afectaría aproximadamente a 43.56 millones de hectáreas, es decir, 43% de las tierras secas, lo que equivale a 22.17% del territorio nacional (Figura 3.12). Del total de tierras secas que presentan degradación del suelo, 5% son áridas, 61.2% son semiáridas y 33.8% son subhúmedas secas. Sin embargo, cuando se examina la proporción afectada con respecto a la superficie que ocupa cada uno de esos tipos de tierras secas, las subhúmedas secas son las más afectadas

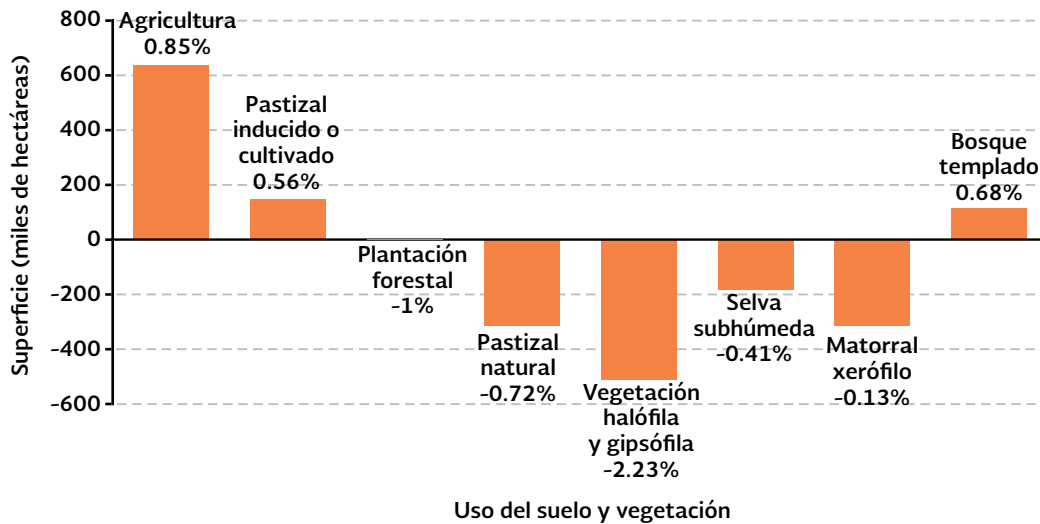
## Algunos usos del suelo y vegetación por tipo de tierra seca en México

Figura 3.10



**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.  
UACH. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.



**Nota:**

<sup>1</sup> Los porcentajes representan la tasa de cambio registrada durante el periodo en cada uso del suelo y vegetación.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. México. 2011.

UACH. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de investigación. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.

(55%), seguidas de las semiáridas (45.3%) y al final las áridas (13.8%).

De la superficie afectada por degradación en las tierras secas, cerca de 94% se encontraba en los niveles de ligera y moderada, lo que sugiere que de seguir actuando los elementos que causan la degradación de estos suelos, podrían pasar a los niveles fuerte o extremo en el futuro, en los cuales la recuperación de su productividad sería materialmente imposible. A pesar de esto, en el centro del Desierto Chihuahuense (cerca de la confluencia de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango), en el Gran Desierto de Altar, al noroeste de Sonora y en la península de Baja California, todavía es posible encontrar regiones de tierras secas sin evidencias de degradación de suelo (Mapa 3.12).

Respecto a la distribución de los procesos de degradación del suelo por tipo de tierra seca, la erosión eólica es el proceso dominante en las zonas áridas y semiáridas, mientras que

la degradación química predomina en las subhúmedas secas (Figura 3.13).

### CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS

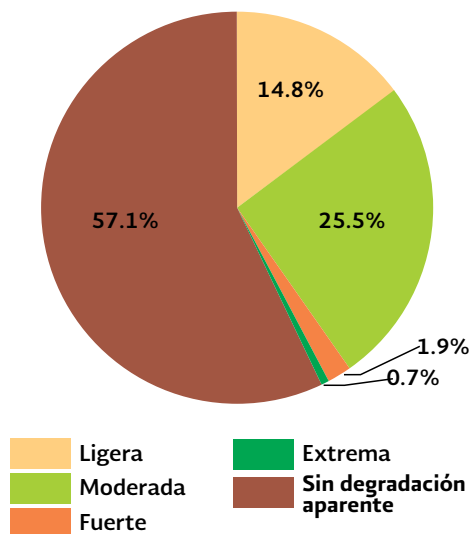
Históricamente el suelo ha sido un recurso natural poco atendido por los gobiernos y la sociedad en general, a pesar de la importancia que tiene como elemento central en la producción de alimentos y soporte de la infraestructura, entre muchas otras funciones importantes que realiza.

La poca atención que se le da al suelo en el desarrollo de las actividades productivas (principalmente agrícolas, pecuarias y forestales) ha estado acompañada por la implementación de técnicas que no procuran la conservación y mejora de sus propiedades. Esto ha llevado a que casi la mitad de nuestro país presente signos de degradación edáfica. Diversos estudios han mostrado que existen pérdidas económicas importantes cuando



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

Figura 3.12



### Fuentes:

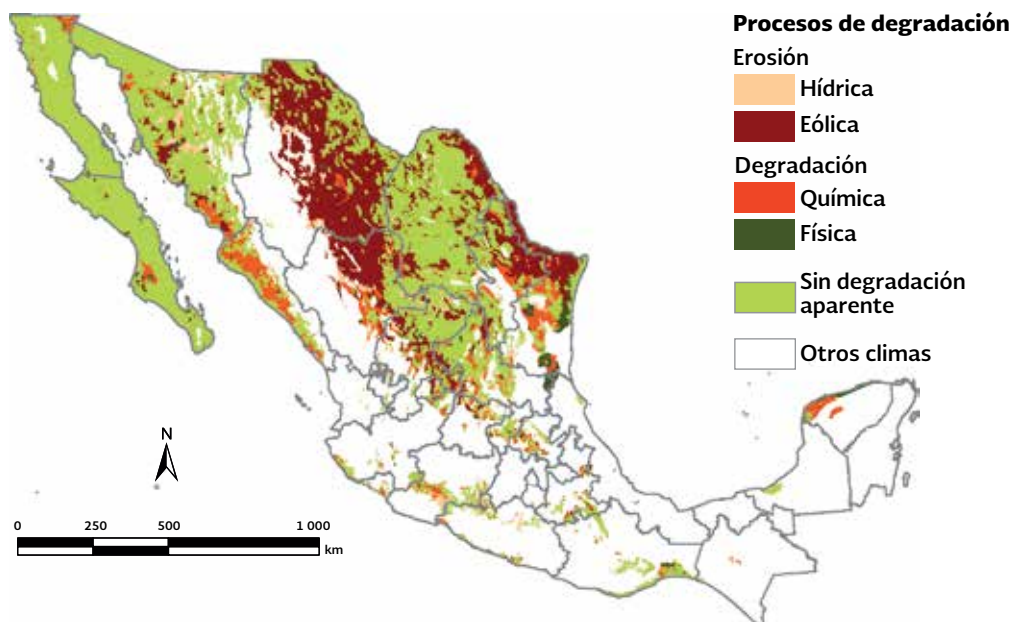
Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.  
UACH. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.

se permite que los suelos se degraden, además de las consecuencias negativas para el ecosistema. Por ejemplo, se estima que en nuestro país el costo de la erosión en términos de la superficie sembrada con maíz blanco de temporal, podría alcanzar entre el 7.8 y 11% de su valor de producción. Este costo no incluye las implicaciones económicas ex situ de la erosión, como son el azolve de presas o ríos, el cual podría ser incluso mayor a las pérdidas económicas generadas por la disminución de la productividad agrícola (Cotler et al., 2011).

México carece propiamente de una estrategia nacional integral de suelos en la cual se definan acciones directas y específicas para la conservación y el mantenimiento de sus funciones. Sin embargo, dentro de los programas operados por la Semarnat (incluyendo los de la Conafor), Sagarpa y Conaza se brinda apoyo económico y técnico a los productores, para la realización de obras hidráulicas, de reforestación, de conservación y restauración de suelos y de manejo de tierras agrícolas que contribuyan a la conservación de este importante recurso natural.

## Procesos de degradación del suelo en las tierras secas de México

Mapa 3.12

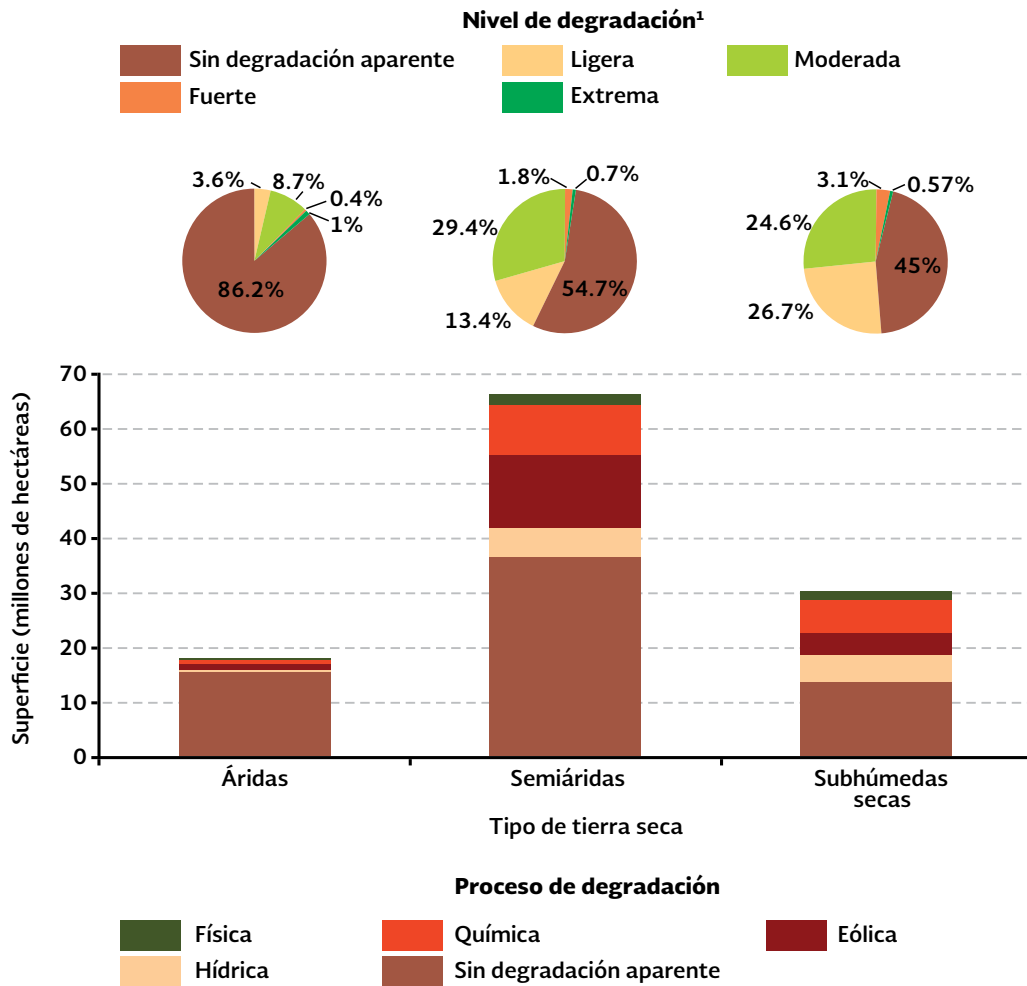


### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
Semarnat y 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.  
UACH. *Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. México. 2011.

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

Figura 3.13



**Nota:**

<sup>1</sup> Las gráficas circulares sobre cada barra corresponden al total de la superficie con degradación según nivel, en cada tipo de tierra seca.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

Semarnat y 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.

UACH. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. 2011.

Los programas institucionales más importantes en cuanto a superficie incorporada a la protección y recuperación del suelo son el ProÁrbol Suelos, operado por la Conafor, y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (Piasre), a través del Componente de Uso Sustentable de Suelo y Agua (Coussa), operado por la Sagarpa (Figura 3.14). Como parte de sus acciones, se brinda apoyo económico y asesoría técnica a

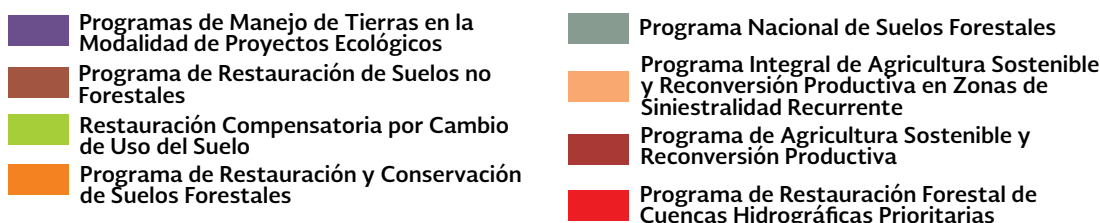
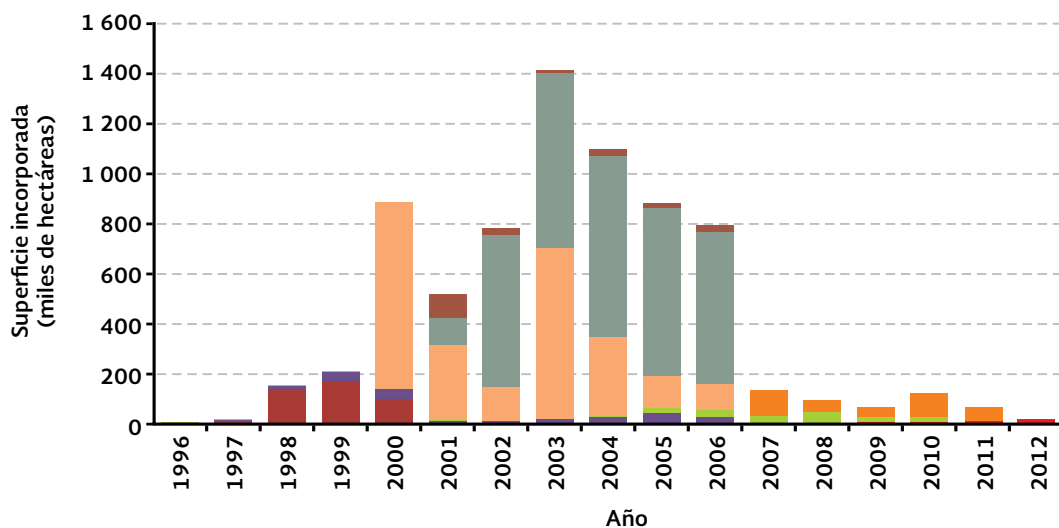
los dueños de las tierras para la ejecución de obras de conservación y restauración de suelos forestales, en el caso del primero de ellos, y a zonas con sequía recurrente, en el segundo (*Cuadro D3\_SUELO04\_01*; **IB 3-4**).



Desde 2007, las acciones dirigidas a la conservación y recuperación de suelos financiadas por la Conafor, han estado enfocadas principalmente a desarrollar obras y prácticas para el control de la erosión

## Superficie incorporada a programas institucionales relacionados con conservación y rehabilitación de suelos, 2000 - 2012<sup>1</sup>

Figura 3.14



### Nota:

<sup>1</sup> Los datos reportados para cada uno de los programas no están disponibles para todo el periodo, debido entre otras razones, a que están sujetos a diseño y concertación de recursos para su operación y promoción, además de que inician su operación en distintos años. El Programa de Restauración de Suelos no Forestales fue apoyado con recursos del Programa de Empleo Temporal (PET). El Programa Nacional de Suelos Forestales incluye dos subprogramas: Protección de Suelos y Restauración de Suelos.

### Fuentes:

Dirección de Agricultura y Ganadería, Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables, Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, Semarnat. Junio de 2011.

Dirección General de Federalización de Servicios Forestales y de Suelo, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. Junio de 2011.

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Junio de 2011.

Gerencia de Suelos, Conafor, Semarnat. Junio de 2011 y 2012.

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República, Cuarto Informe de Gobierno, 1 de septiembre 2004.

Semarnat e INE. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1997-1998 / Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. México, 2000.

laminar<sup>9</sup>, y en menor medida a las del control de la erosión en cárcavas.

Los Programas de Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales y de Restauración Forestal en Cuencas Hidrográficas Prioritarias contemplan acciones de este tipo, además de otras relacionadas con la recuperación de la

cobertura vegetal arbórea y herbácea de los terrenos preferentemente forestales, lo cual también contribuye con el combate a la erosión.

La Sagarpa, por su parte, ha enfocado su atención al control de los escurrimientos que afectan la infraestructura y los centros de población.

<sup>9</sup> Es la erosión superficial en la cual se pierde una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo. Las partículas son desprendidas por el pisoteo, el viento o el agua de lluvia y después son transportadas por el flujo de agua.

## REFERENCIAS

Centro de Información de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Arica y Parinacota. Síntesis de Resultados – Diciembre de 2010*. Servicio Agrícola y Ganadero; Instituto de Desarrollo Agropecuario; Oficina de Estudios y Políticas Agrarias y Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile. 2010.

Conaza-Sedeso. *Plan de acción para combatir la desertificación en México*. México. 1994. Disponible en: [www.conaza.gob.mx](http://www.conaza.gob.mx). Fecha de consulta: abril de 2012.

Cotler, H., C. A. López, y S. Martínez-Trinidad, ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental* 3: 31-43. 2011.

DOF. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. 2012 (12 de enero).

FAO. *Major soils of the world. World reference base for soil resources: Atlas*. CD-Room. 2001. Disponible en: [www.isric.org/Isric/webdocs/docs/major\\_soils\\_of\\_the\\_world/start.pdf](http://www.isric.org/Isric/webdocs/docs/major_soils_of_the_world/start.pdf). Fecha de consulta: junio de 2012.

García, E. *Modificaciones al sistema climático de Köppen adaptado para México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 1988.

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>. Fecha de consulta: febrero de 2012.

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.

IUSS, Grupo de Trabajo WRB. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007*. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO. Roma. 2007.

Moreira-Madueño, J.M. *Capacidad de uso y erosión de suelos: una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía*. Junta de Andalucía. Agencia del Medio Ambiente. Sevilla, 1991.

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.

PNUMA. *Atlas Mundial de la Desertificación*. Middleton, N. y D. Thomas (Eds.). Oxford. Oxford University Press. 1997.

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

Semarnat y 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 y 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.

UACH. *Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional. Reporte final de proyecto de investigación*. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. México. 2011.

UNCCD. *Elaboración de una Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África*. Texto Final de la Convención. 1994. Disponible en: [www.unccd.int](http://www.unccd.int). Fecha de consulta: junio de 2012.

UNCCD. *Estado de ratificación y entrada en vigor de la UNCCD*. 2012. Disponible en: [www.unccd.int](http://www.unccd.int). Fecha de consulta: junio de 2012.

UNCCD y Zoï. *Desertification. A visual synthesis*. UNCCD-Zoï Environment Network France. 2011.



The background is a solid orange color with faint, stylized illustrations of a bird, a fish, and a leaf. The bird is on the left, the fish is on the right, and the leaf is at the bottom. The word "BIODIVERSIDAD" is written in white, serif, all-caps font across the center.

# BIODIVERSIDAD

# BIODIVERSIDAD

A lo largo del territorio mexicano pueden encontrarse casi todos los tipos de vegetación que existen en el mundo (Conabio 2006); en ellos habitan miles de especies de diversos grupos taxonómicos, muchos de los cuales muestran una alta variabilidad genética. Todo esto convierte a México en uno de los llamados países “megadiversos”, honor que comparte con Brasil, Perú, Indonesia, China y Colombia, entre otros. No obstante, al igual que en muchas regiones del mundo, la biodiversidad de nuestro país encara numerosas e importantes amenazas que afectan a este importante capital natural y que ponen en riesgo su futuro, junto con los servicios ambientales que son indispensables para la vida y el desarrollo de la sociedad.

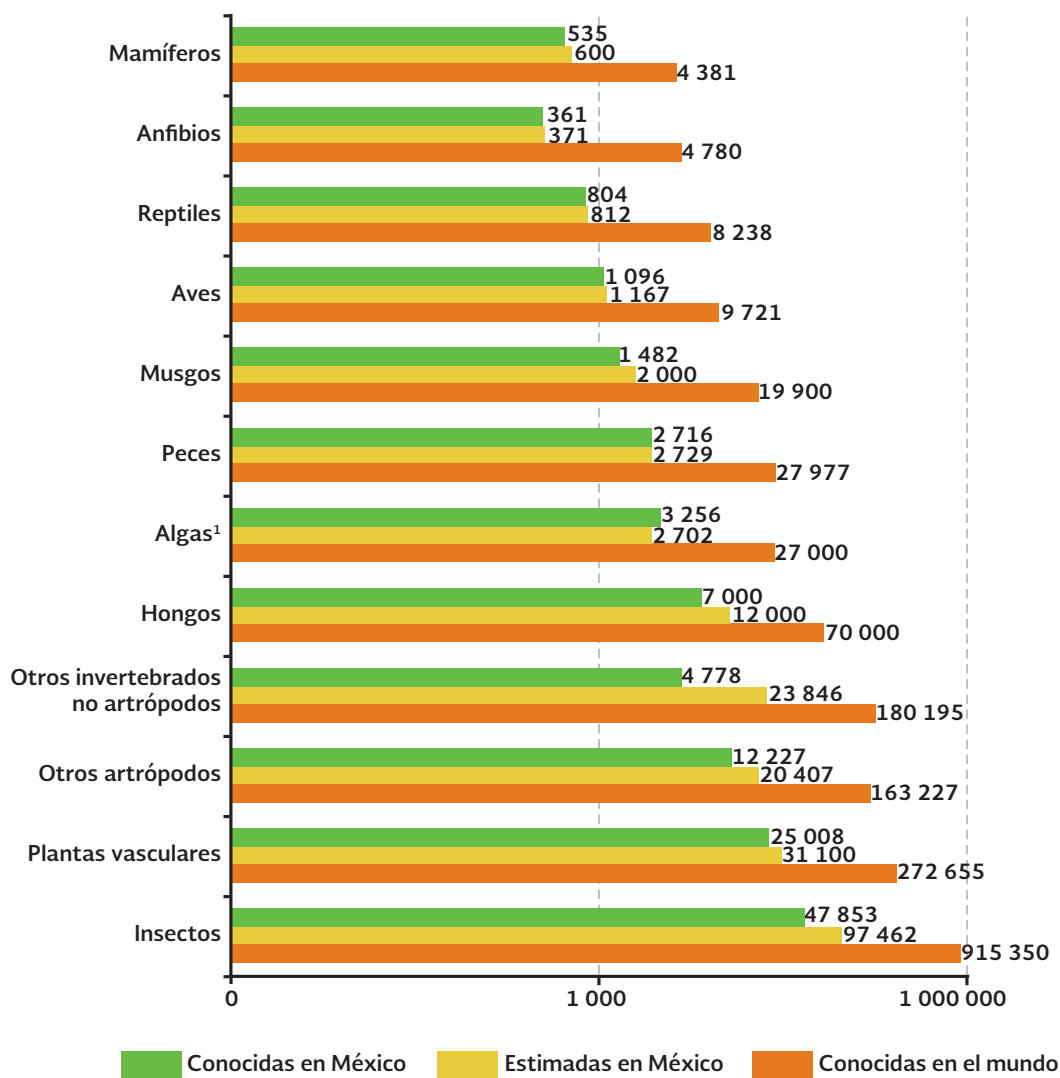
## MÉXICO, UN PAÍS MEGADIVERSO

México es uno de los países más diversos del planeta desde el punto de vista biológico. Su compleja fisiografía e historia geológica y climática, principalmente, han creado una variada gama de condiciones que hacen posible la coexistencia de especies de origen tropical y boreal, y que también han permitido, al paso del tiempo, una intensa diversificación de muchos grupos taxonómicos en las zonas continentales de su territorio y a lo largo de sus zonas costeras y oceánicas (Espinosa et al., 2008). 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 algunos estudios sugieren que esta cifra podría incrementarse en el futuro con la descripción de nuevas especies entre los 5 y los 30 millones (May, 1988; CBD, 2002). A pesar de representar tan sólo 1.5% de la superficie terrestre del planeta, se estima que en México habita entre 10 y 12% de las especies del mundo.

A la fecha, en México se conocen cerca de 65 mil especies de invertebrados, en su mayoría insectos (alrededor de 48 mil especies; Figura 4.1). Con respecto a los vertebrados, se tienen registradas 5 512 especies (lo que representa alrededor de 10% de las conocidas en el mundo), de las cuales la mayoría son peces (2 716) y aves (1 096 especies). En riqueza de reptiles, el país ocupa el segundo lugar mundial (con 804 especies), el tercero en mamíferos (con 535) y el cuarto en anfibios (361; Figura 4.2). En lo que respecta a la flora nacional, México está entre los cinco países con mayor





**Nota:**

<sup>1</sup> En el caso de las algas, el número de especies conocidas actualmente es mayor al número estimado de especies en el país según la fuente.

**Fuente:**

Coordinación de Información y Servicios Externos, Conabio, Semarnat. México. 2012.

número de especies de plantas vasculares: se han descrito poco más de 25 mil especies (la mayoría angiospermas: 23 791 especies), lo que equivale aproximadamente a 9.1% de las especies descritas en el mundo (alrededor de 272 mil).

La biodiversidad en el país no se distribuye de manera homogénea en el territorio:

los grupos estudiados hasta el momento siguen relativamente el patrón latitudinal de mayor riqueza de especies hacia el Ecuador; destacan también por su riqueza y número de endemismos ciertas zonas de transición en donde confluyen las biotas de las regiones Neártica y Neotropical, como son el Eje Neovolcánico y las Sierras Madre Oriental y Occidental (Koleff et al., 2008). Si se observa

la riqueza de especies por grupo taxonómico a nivel de entidad federativa, resulta claro que ni la riqueza, ni el conocimiento de las especies se distribuyen homogéneamente a lo largo del territorio. Existen zonas particularmente ricas en especies en las que también se ha hecho un mayor esfuerzo de colecta: por ejemplo, en el sureste, los estados de Oaxaca, Veracruz y Chiapas son los más ricos a nivel nacional en especies de vertebrados, plantas vasculares y artrópodos (Mapa 4.1). No obstante, cabe resaltar que se ha registrado un número importante de especies de vertebrados en los estados de las zonas áridas norteñas de la República.

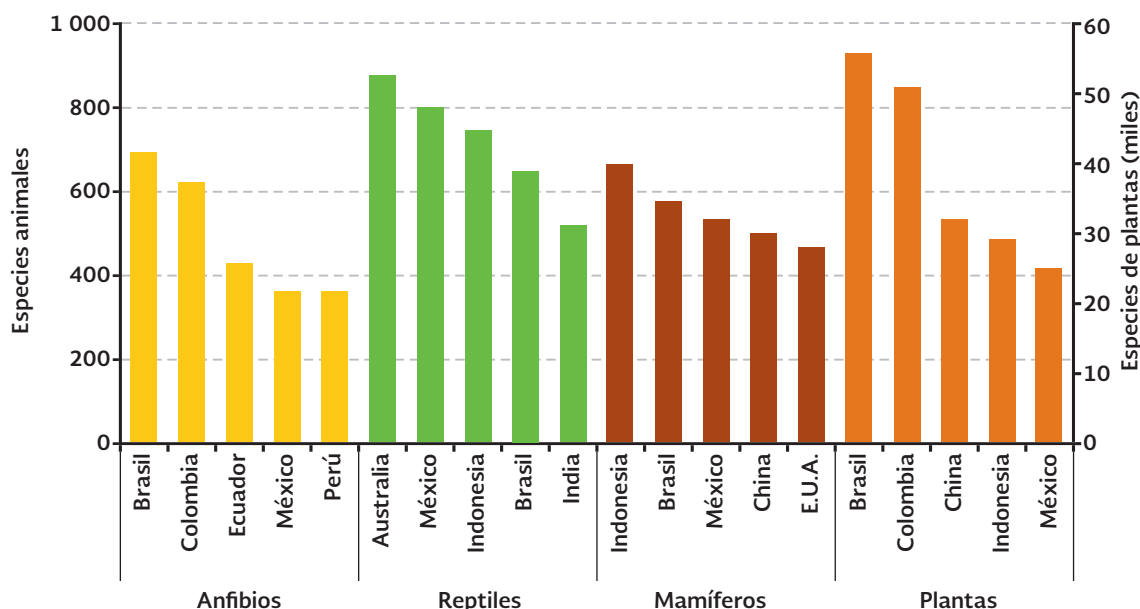
Las especies que sólo se encuentran en nuestro territorio, es decir, las especies endémicas, también complementan de manera importante la riqueza biológica de México. Se calcula que entre 50 y 60% de las especies

de plantas vasculares que se conocen en el país son endémicas (Sarukhán, 2009; [Cuadro D3\\_BIODIV02\\_09](#)). Entre ellas, las orquídeas y cactáceas son algunas de las familias que cuentan con mayor porcentaje de especies endémicas (60 y 50%, respectivamente; Figura 4.3). Por su parte, de las 535 especies de mamíferos, 161 son endémicas (30%) y de las 1 096 especies de aves, 125 son endémicas (11%). Ahora bien, si el endemismo se analiza por el tipo de vegetación, se encuentra que en los matorrales xerófilos y en los bosques de coníferas, más del 60% de las especies son endémicas, mientras que sólo 5% de las especies del bosque tropical perennifolio tienen este carácter (Rzedowski, 1998).

Aun cuando el progreso en el inventario de la riqueza biológica de México ha avanzado significativamente en las últimas décadas, todavía queda mucho por conocer.

### Riqueza de especies de los países megadiversos para distintos grupos taxonómicos

Figura 4.2



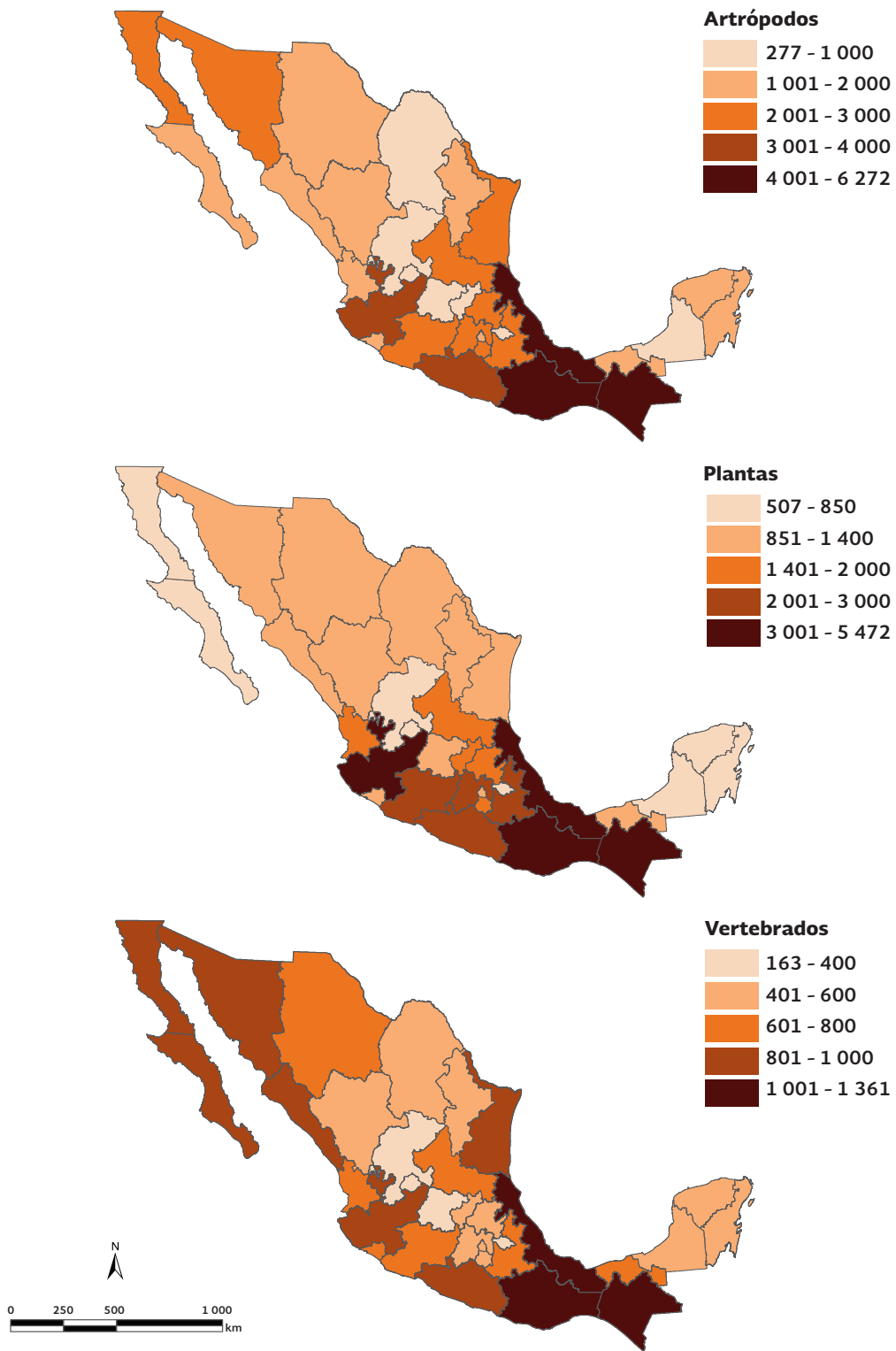
**Nota:**

<sup>1</sup> Los datos para México (2012) son más recientes que los del resto de los países.

**Fuentes:**

Para México: Coordinación de Información y Servicios Externos, Conabio, Semarnat. México. 2012.

Para el resto de los países: World Resources Institute. 2004.



**Fuente:**

Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. Estado del conocimiento de la biota. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

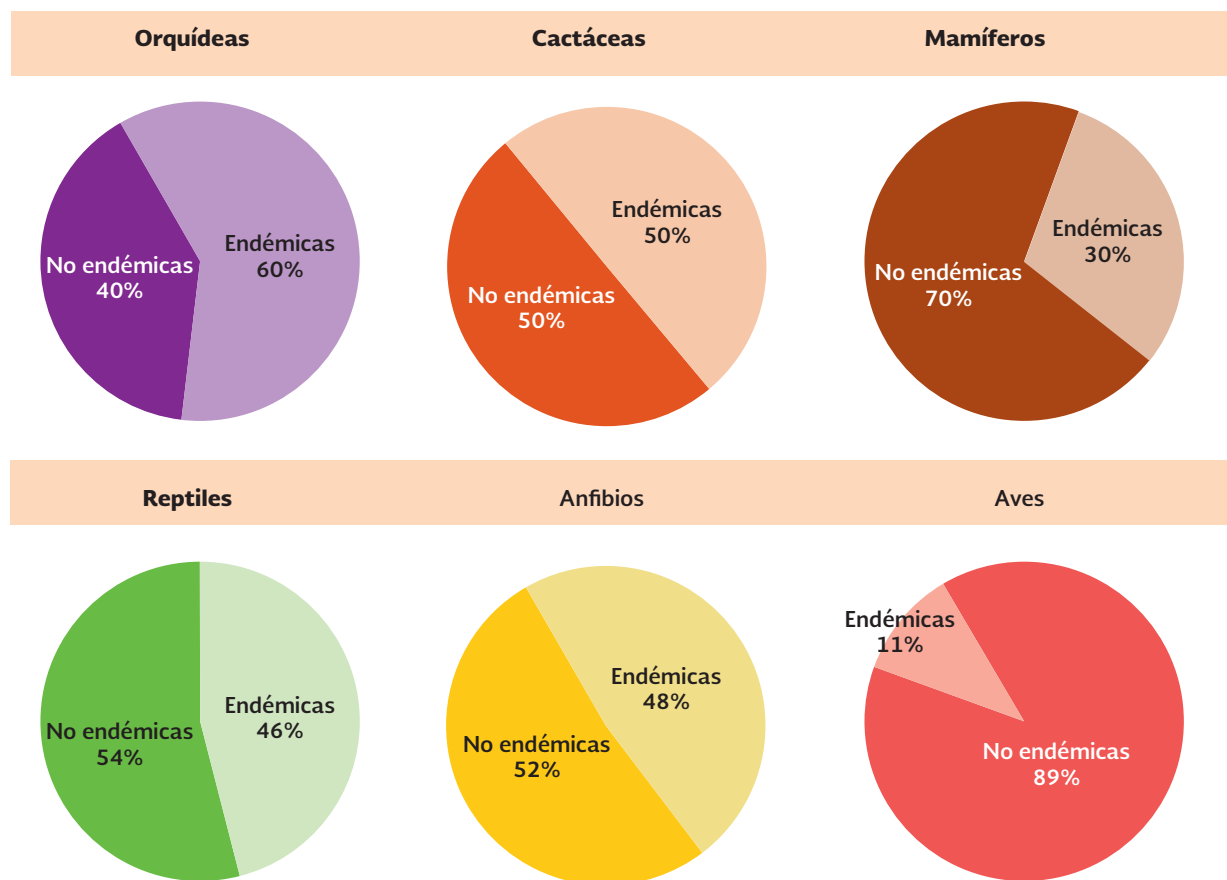
Grupos como los hongos, los invertebrados terrestres y acuáticos y otros organismos microscópicos, por citar sólo algunos, no han sido completamente colectados y estudiados; además, los estudios en ciertas zonas geográficas y ecosistemas, como es el caso de los arrecifes de coral y las profundidades oceánicas, no han sido exhaustivos (Escobar et al., 2009). Es muy probable que las cifras para muchos grupos taxonómicos aumenten en la medida en que se profundice el estudio de la diversidad y la geografía nacionales. El órgano de gobierno encargado de las actividades encaminadas a promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su

conservación y uso sustentable, es la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), la cual también administra el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB; mayores detalles en el Recuadro *El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*).

La diversidad de tipos de vegetación que se encuentran en el territorio mexicano es tan alta como las presentes en China, India, Perú y Colombia. En nuestro 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

**Porcentaje de especies endémicas y no endémicas para distintos grupos taxonómicos en México**

Figura 4.3



**Fuente:**  
Coordinación de Información y Servicios Externos, Conabio, Semarnat México. 2012.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) es la encargada de administrar el Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB), el cual integra la información existente sobre la biodiversidad nacional, con el fin de brindar datos útiles para la investigación científica y para la toma de decisiones respecto a la conservación y al uso sostenible del capital natural nacional.

La principal fuente de información de datos del SNIB son los ejemplares biológicos mantenidos en las colecciones científicas. El Sistema cuenta en su base de datos con los registros de ejemplares de las colecciones nacionales más importantes, así como con la información de colecciones biológicas de 33 países, entre los que destacan Estados Unidos, Reino Unido y Canadá.

Hasta 2009, la mayor parte de los registros del SNIB correspondía a angiospermas, con 313 379 registros. Para 2011, contabilizaba poco más de cinco millones de registros curatoriales de especímenes (sin duplicados) que provenían de 630 bases de datos; fichas

técnicas de 1 416 especies; más de 3 mil temas cartográficos digitales y 180 mil imágenes de satélite y fotos aéreas; así como alrededor de 77 mil fotografías e ilustraciones sobre la biodiversidad mexicana (Conabio, 2009 y 2012).

El SNIB cuenta también con las fichas de las especies nativas de interés enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), de especies invasoras y de importancia económica en el país, así como el Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM).

#### Referencias:

Conabio. *Informe de Actividades Enero 2007/julio 2009*. México. 2009.

Conabio. *Dos décadas de historia: 1992-2012*. México. 2012.

matorrales xerófilos, los pastizales naturales y la vegetación halófila y gipsófila (Challenger y Soberón, 2008). Para mayores detalles sobre la vegetación nacional y su dinámica en el país, consultar el Capítulo 2 sobre *Ecosistemas terrestres*.

La riqueza de ecosistemas del país no sólo es notable en la porción continental del territorio.

En la zona marina pueden encontrarse desde los ecosistemas de mar abierto y las zonas profundas (incluyendo los arrecifes de aguas frías), hasta las comunidades de pastos marinos y de arrecifes coralinos de aguas cálidas y poco profundas. En las zonas terrestres, los ecosistemas acuáticos de agua dulce también son diversos, destacando los de ríos, lagos y lagunas.

México se destaca también como uno de los países que ha sido el centro de origen de algunas de las plantas cultivadas más importantes para la humanidad. Se calcula que poco más de 15% de las especies vegetales que se consumen en el mundo tienen su origen en México (Conabio, 2006); de estas especies sobresalen, por citar algunos casos, el maíz (del que se reconocen en el territorio alrededor de 59 razas; Sánchez, 2011), el chile (con cerca de 120 variedades) y el frijol (del cual se reconocen 63 especies en el mundo, 52 de las cuales están en México y sólo cinco se cultivan; Conabio, 2006). En términos generales, se sabe que al menos 158 especies vegetales de importancia económica (ya sea para el mundo o al interior del país) fueron domesticadas en nuestro territorio, destacando por el número de especies las familias Agavaceae (30 especies de 3 géneros), Fabaceae (22 especies de 10 géneros), Cactaceae (14 especies de 5 géneros), Solanaceae (11 especies de 6 géneros) y Asteraceae (9 especies de 5 géneros; Conabio, 2012; [Cuadro D3\\_BIODIV05\\_03](#)). En lo que respecta a los animales, se tienen registradas una especie de ave (el guajolote) y una de mamífero (el perro), así como nueve especies de insectos semidomesticadas<sup>1</sup> (la cochinilla del nopal, los gusanos de maguey blanco y rojo y los jumiles, entre otras) para México (Conabio, 2012).

A nivel mundial, la variabilidad genética de las especies silvestres es poco conocida, sobre todo si se compara con la información que se posee sobre su biología o ecología. En México, se tienen estudios de la riqueza genética de alrededor de 200 especies, que incluyen algunos microorganismos como bacterias fijadoras de nitrógeno, patógenos como *Escherichia coli* (la cual mostró la diversidad genética más alta reportada para cualquier organismo en el resto del mundo), el protozoario *Trypanosoma cruzi* (causante de la enfermedad de Chagas) y otras especies de coníferas, encinos, epífitas, cícadas, parasitoides, áfidos, aves y mamíferos

marinos (Tabla 4.1, Piñero et al., 2008). Este número de especies estudiadas resulta pequeño, sobre todo si se considera la enorme diversidad que alberga el país.

## AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD

Una proporción significativa de los ecosistemas del planeta ha sido transformada o muestra señales de deterioro evidentes debido a las actividades humanas. Estos cambios han repercutido inevitablemente en el estado de su biodiversidad, sobre todo en los últimos 50 años, cuando la intensidad de estas actividades se ha incrementado y puesto a muchos grupos y especies en situaciones verdaderamente críticas (PNUMA, 2011). Esto ha sido consecuencia de la mayor demanda de espacio, alimento, agua dulce y energía que requieren las sociedades modernas. Actualmente, se reconoce que 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 de la infraestructura (p. e., para la construcción de carreteras, redes eléctricas y represas), los incendios forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, la introducción de especies invasoras, la contaminación, el aprovechamiento ilegal y, más recientemente, el cambio climático global. Los siguientes párrafos se enfocan en la problemática de las especies invasoras y el tráfico ilegal, considerando que el cambio de uso del suelo, el crecimiento de la infraestructura, el uso de los recursos (principalmente forestales), la contaminación y los incendios forestales se abordan en otros capítulos de esta obra.

El impacto de las especies invasoras se ha considerado en los últimos años como una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad a nivel global. Las especies

<sup>1</sup> Se refiere al hecho de que el hombre ha intervenido en su manejo de una manera incipiente.

## Especies mexicanas con estudios sobre diversidad genética

Tabla 4.1

	Número de estudios
<b>Microorganismos</b>	
Rizobios	8
Otras bacterias fijadoras de nitrógeno	1
Bacterias patógenas	1
Protozoarios	1
<b>Hongos</b>	
Hongos	2
<b>Plantas</b>	
Pináceas	26
Encinos	9
Epífitas	5
Burseras	2
Cactáceas	15
Agaves	20
Cícadas	7
Chía	1
Frijoles	2
Maíz	1
Chiles	3
Calabacitas	3
Jocote	1
Aguacate	1
Algodón	1
<b>Animales</b>	
Platelmintos	1
Insectos	27
Camarones	3
Tortugas marinas	9
Peces marinos	16
Mamíferos	
Pinnípedos	9
Manatíes	1
Cetáceos	4
Roedores	13
Murciélagos	9
Aves	5

**Fuente:**

Piñero, D., et al. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

invasoras afectan a las especies nativas de flora y fauna a través de la competencia, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat y cambios en el funcionamiento de los ecosistemas. En circunstancias particulares, puede ocurrir hibridación con las especies nativas, alterando su acervo genético (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010) y, en los casos más graves, producir la disminución de la biodiversidad de los ecosistemas al provocar la extinción de sus especies nativas.

Las vías de introducción de las especies invasoras a los ecosistemas (ya sea de manera natural, intencional o accidental) pueden ser: 1) las relacionadas con el sector transporte (tanto por los objetos transportados como por los medios de transporte en sí mismos), que incluye equipo y vehículos militares, productos utilizados para el embalaje y envíos, transporte por parte de empresas que realizan actividades turísticas y movimiento de animales por motivos recreativos, entre otros; 2) el comercio, por 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 fenómenos naturales como corrientes marinas, vientos, fenómenos climáticos extremos (como huracanes e inundaciones) y otros medios naturales para los cuales las especies tienen las adaptaciones morfológicas o conductuales particulares (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010).

En nuestro país, la Conabio se encarga del Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México (SIEIM), el cual enlista las 357 especies invasoras establecidas en el país, en su mayoría plantas (48% del total, es decir, 173 especies) y peces (18%, 63 especies); la lista también tiene identificadas a diez especies de anfibios y reptiles, seis de aves y

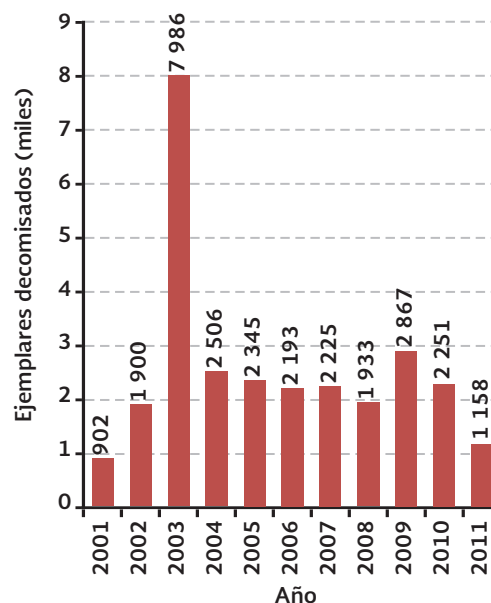
18 de mamíferos como especies invasoras establecidas. En general, dichas especies están clasificadas como de alto riesgo y alta prioridad para México (Conabio, 2012). Como parte de los esfuerzos para combatir este problema, en el año 2010 la Conabio, en colaboración con diversos sectores, instituciones, expertos y organizaciones civiles, publicó la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México, que además de ofrecer un diagnóstico sobre la situación nacional respecto a esta problemática, establece acciones prioritarias que involucran tanto al gobierno como a la sociedad civil para enfrentar la situación.

El aprovechamiento ilegal de especímenes de la vida silvestre es una actividad que amenaza a la biodiversidad. Además de la cacería furtiva, el aprovechamiento ilegal incluye también la captura, colecta, transporte y comercio no autorizado de ejemplares de la vida silvestre. A nivel de las poblaciones de las especies afectadas, las principales consecuencias por esta actividad son las alteraciones en los tamaños y estructuras poblacionales, en el número relativo de hembras y machos, en su potencial y características reproductivas, en su composición genética y en las repercusiones en el flujo y la dinámica de las cadenas tróficas de las comunidades de las que forman parte.

Se estima que el aprovechamiento ilegal de la biodiversidad genera ganancias que globalmente pueden alcanzar los 20 mil millones de dólares al año, con serios impactos para los ecosistemas y la economía de muchos países (Jolon, 2008). Como resultado de las acciones para combatir esta actividad en México, entre los años 2001 y 2011, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) llevó a cabo el decomiso de 28 266 ejemplares de fauna silvestre (Figura 4.4). Es importante mencionar que estos datos representan tan sólo el tráfico mínimo detectable, debido a que es muy difícil conocer el volumen total real de ejemplares que se trafican ilegalmente dentro y fuera de las fronteras del país.

## Decomiso de ejemplares de fauna silvestre, 2001 - 2011

Figura 4.4



**Fuente:**  
Sistema de Información Institucional de la Profepa, Semarnat. México. 2012.

## ESPECIES EN RIESGO

Las amenazas citadas en la sección anterior han contribuido, en mayor o menor grado, solas o actuando sinérgicamente, a que los tamaños poblacionales de numerosas especies en los ecosistemas naturales se hayan reducido y a que sus posibilidades de extinguirse sean mayores. Particularmente vulnerables son las especies con áreas de distribución restringidas (por ejemplo, las que se limitan a superficies relativamente reducidas a condiciones ambientales específicas o las que viven en islas o cuerpos de agua particulares), las que de manera natural tienen tamaños poblacionales reducidos o aquéllas que poseen ciclos de vida particularmente largos o sensibles a los cambios ambientales.

En México, la NOM-059-SEMARNAT-2010 es la norma que enlista las especies y subespecies de flora y fauna silvestres que se encuentran en riesgo de extinción en el país<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Para incluir, cambiar o excluir a alguna especie de la norma, la Semarnat considera criterios que van desde la rareza, la relevancia taxonómica y ecológica de las especies, hasta la superficie total de su área de distribución y la importancia de los factores reales y potenciales que pueden afectar sus tamaños poblacionales y su hábitat, entre otros criterios.



De acuerdo a ella, el número de especies listadas en alguna categoría de riesgo es de 2 486<sup>3</sup>. Las plantas son el grupo taxonómico con mayor número de especies en riesgo, con un total de 948. Las familias con mayor número de especies en riesgo son las cactáceas (244 especies, que equivalen al 23.6% del total de especies de esta familia descritas para el país), las orquídeas (188 especies, 16.2%), las palmas (64 especies, 51.6%) y los agaves (39 especies, 13.7%). En el caso de los animales, los grupos con más especies en riesgo son los reptiles (437 especies, es decir, 54.4% de las especies conocidas en el país para este grupo), las aves (367, 33.5%), los mamíferos (242, 45.2%), los anfibios (194, 53.7%) y los peces (203, 7.5%; **IB 6.4-3**). Según la citada norma, el total de especies probablemente extintas en la vida silvestre suma 46 (18 de aves, 13 de peces, 9 de mamíferos y 6 especies de plantas). En la Figura 4.5 se observa la distribución de las especies en riesgo de cada grupo taxonómico de acuerdo a las categorías empleadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (ver también el Recuadro *La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza*).



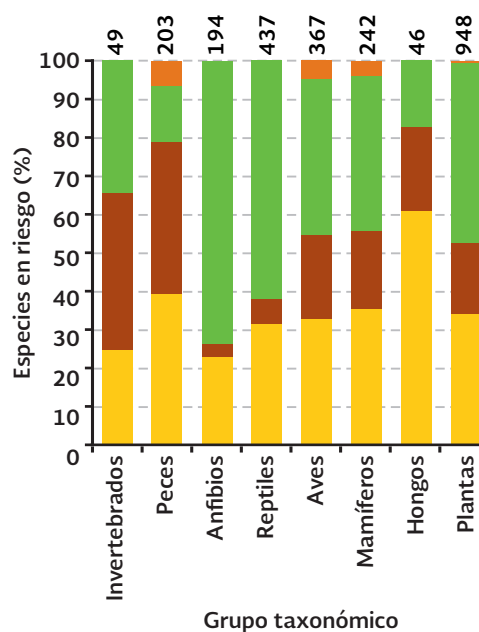
## PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

En México y el mundo, las estrategias implementadas para proteger a la biodiversidad se han orientado principalmente a dos de sus niveles de estudio: el de especies y el de ecosistemas. En el caso de las especies, destaca el desarrollo de los Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias (PREP), los cuales tuvieron su origen en el Programa de Conservación de la Vida

Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000. Dicho programa propuso una serie de proyectos para un conjunto de plantas y animales que, a juicio de los especialistas, deberían ser consideradas como especies prioritarias. Como resultado de estos trabajos, a la fecha se han elaborado y publicado un total de 16 programas (Tabla 4.2).

**Distribución de las especies, según su grado de riesgo, en los principales grupos taxonómicos de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010<sup>1</sup>**

Figura 4.5



- Probablemente extintas en el medio silvestre
- Sujetas a protección especial
- En peligro de extinción
- Amenazadas

**Nota:**

<sup>1</sup> Los números sobre las barras corresponden al total de especies en riesgo para cada grupo taxonómico dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: DOF. NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. México. 2010 (30 de diciembre).

<sup>3</sup> Esta cifra y las siguientes que se presentan en el texto y que hacen referencia a las especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 no consideran a las subespecies, variedades y formas de las especies listadas. Si se consideran, el total de especies en alguna categoría de riesgo asciende a 2 606 especies. Las categorías de riesgo consideradas por la NOM son: amenazadas, en peligro de extinción, probablemente extintas en el medio silvestre y sujetas a protección especial.

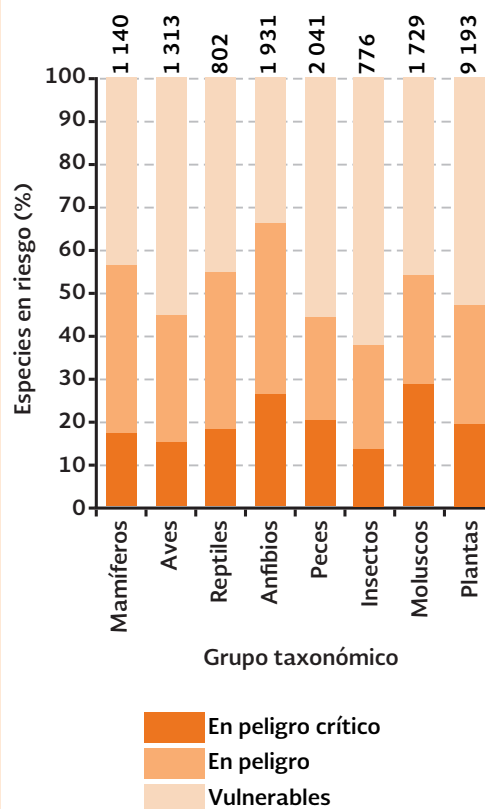
A nivel mundial, para junio de 2012, la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) contabilizaba 19 817 especies dentro de alguna categoría de riesgo: 3 809 en peligro crítico de extinción, 5 581 en peligro<sup>1</sup> y 9 535 en condiciones de vulnerabilidad<sup>2</sup> (IUCN, 2012). Si se analiza por grupo taxonómico, las plantas son el grupo más vulnerable (con 9 193 especies, es decir, el 46.4% del total de especies listadas en alguna categoría de riesgo), seguidas por los peces (2 041, 10.3%), los anfibios (1 931 especies; 9.7%), los moluscos (1 729, 8.7%), las aves (1 313, 6.6%) y los mamíferos (1 140, 5.8%; Figura a).

Entre mediados de la década de los noventa y 2012, el número de plantas en la Lista Roja creció de 5 328 a 9 193 especies, mientras que los anfibios pasaron de 124 a 1 931 y los peces de 734 a 2 041 especies (Figura b). En el caso de las especies extintas por causas antropogénicas, en 2012 esta cifra ascendió a 801: 130 especies de aves, 91 de plantas, 77 de mamíferos y 60 de peces, para los principales grupos taxonómicos. Las restantes especies pertenecen a los anfibios, reptiles e invertebrados.

Para México en 2011, la IUCN reporta 946 especies en alguna categoría de riesgo: 254 de plantas, 211 de anfibios, 152 de peces, 100 de mamíferos, 94 de reptiles, 74 de otros invertebrados, 56 de aves y 5 de moluscos. De estas especies,

**Distribución de las especies, según su grado de riesgo, en los principales grupos taxonómicos de acuerdo a la IUCN, 2012<sup>1</sup>**

Figura a



**Nota:**

<sup>1</sup> Los números sobre las barras corresponden al total de especies en riesgo para cada grupo taxonómico dentro de la clasificación de la IUCN.

**Fuente:**

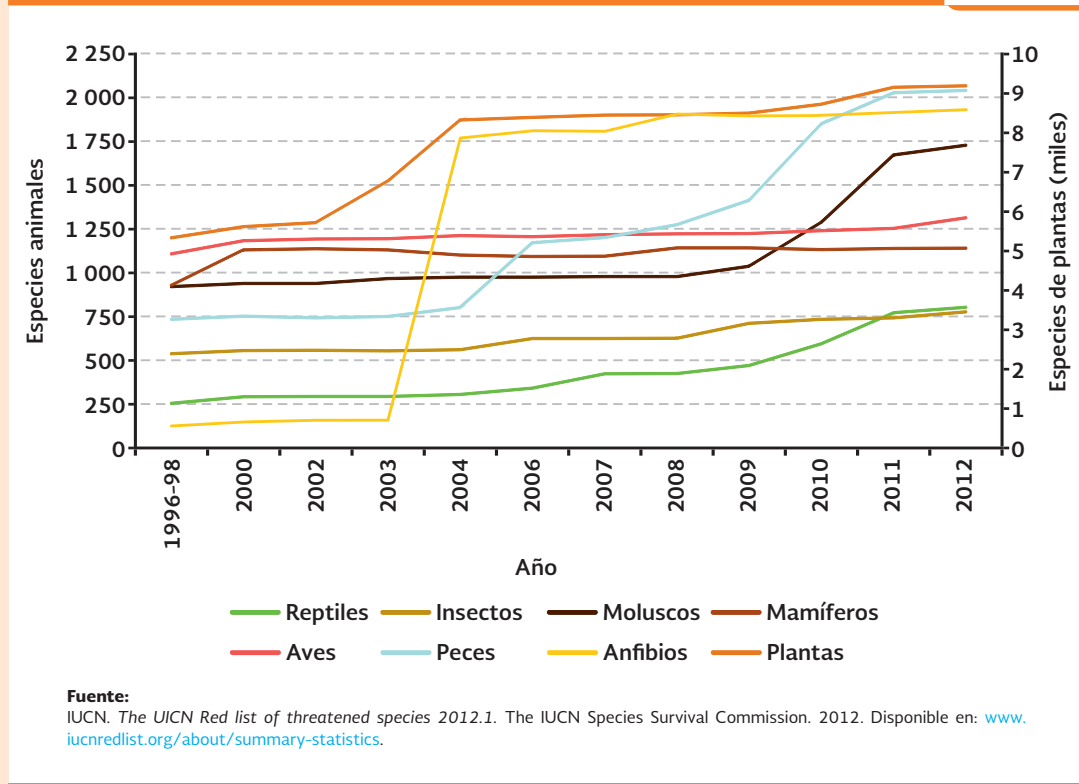
IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2012.1*. The IUCN Species Survival Commission 2012. Disponible en: [www.iucnredlist.org/about/summary-statistics](http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics).

<sup>1</sup> El total de especies en esta categoría citado aquí difiere de la cifra publicada por la IUCN (versión 2012.1) por un error de conteo de la fuente para el grupo de los peces en su Tabla 2.

<sup>2</sup> La suma de las especies en las distintas categorías de riesgo no coincide con el total, en virtud de que se reporta sólo la categoría de riesgo para los principales grupos taxonómicos.

**Especies de los principales grupos taxonómicos clasificadas en alguna categoría de riesgo a nivel mundial según IUCN, 1996 - 2012**

Figura b



224 están en peligro crítico de extinción, 315 en peligro y 407 en condiciones de vulnerabilidad. Las diferencias entre el número de especies y el grado de riesgo de la lista de la IUCN y la NOM-059-SEMARNAT-2010 se deben básicamente a las distintas categorías empleadas y a los criterios para clasificar a las especies dentro de ellas.

**Referencias:**

IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2011.2*. The IUCN Species Survival Commission. 2012.

IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2012.1*. The IUCN Species Survival Commission. 2012. Disponible en: [www.iucnredlist.org/about/summary-statistics](http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics). Fecha de consulta: octubre de 2012.

Por otro lado, en el año 2007 se puso en marcha el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer), a cargo de la Semarnat y otras secretarías de estado (como Sedesol y Sagarpa, entre otras), cuyo objetivo principal ha sido lograr la recuperación de

ciertas especies (ver el Recuadro *Conservación de especies prioritarias: los casos de algunas especies reintroducidas*). Cada una de las especies consideradas dentro del Procer se atiende por medio de los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE), los

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
Protección, Conservación y Recuperación de la Familia Zamiaceae ( <i>Cycadales</i> ) de 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
Proyecto de Conservación y Recuperación de la Familia Palmaea ( <i>Arecaceae</i> ) de México.	2000
Proyecto de Conservación, Recuperación y Manejo del Manatí ( <i>Trichechus manatus</i> ) en México.	2001
Proyecto de Protección, Conservación y Recuperación del Perrito Llanero ( <i>Cynomys mexicanus</i> ).	2004
Proyecto para la Conservación y Manejo del Jaguar en México.	2006
Estrategia para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Aves Acuáticas y su Hábitat en México.	2008
Estrategia para la Conservación y Manejo de las Aves Playeras y su Hábitat en México.	2008
<b>Fuente:</b> Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2012. Disponible en: <a href="http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/proyectosvs.aspx">www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Paginas/proyectosvs.aspx</a> . Fecha de consulta: septiembre de 2012.	

cuales contienen las estrategias, actividades y acciones específicas, calendarizadas en el corto, mediano y largo plazos, que se planea ayuden a la conservación, protección y recuperación de las poblaciones de las especies. Actualmente, el Procer cuenta con una lista de 30 especies, organizadas operativamente en tres grandes rubros: 1)

tortugas marinas, 2) especies terrestres y epicontinentales y 3) especies marinas, costeras e insulares (Tabla 4.3).

Además de las especies atendidas en los programas anteriores, uno de los grupos biológicos que ha recibido mayor atención para su protección en las últimas décadas

Ante el riesgo que corren algunas especies de animales y plantas por la degradación y la pérdida de sus hábitats o las actividades humanas que directamente han reducido el tamaño de sus poblaciones, se han puesto en marcha desde algunos años atrás programas que, mediante la reintroducción de ejemplares en sus hábitats originales, permiten la repoblación o la recuperación de sus poblaciones. Los Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias (PREP), el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer) y los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE) son algunos instrumentos que han impulsado estas acciones. Algunas especies de las que ya se han reintroducido ejemplares para la recuperación de sus poblaciones son:

- **Cóndor de California** (*Gymnogyps californianus*): actualmente la NOM-059-SEMARNAT-2010 lo clasifica en la categoría de peligro de extinción. El último ejemplar visto en estado silvestre en México antes de que iniciara su programa de reintroducción fue en 1937. Su recuperación se inició en 1999 dentro de sus hábitats nativos de la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California. A mediados de 2012, se contaban 29 ejemplares, 23 en vida libre y seis en espera de su liberación.

- **Lobo gris mexicano** (*Canis lupus baileyi*): a principios del siglo XX, este carnívoro habitaba las zonas serranas de los estados del norte y centro de

México. Debido a las intensas campañas para su erradicación, impulsadas por los gobiernos de México y Estados Unidos, fue casi exterminado para la década de los años 70. La NOM-059-SEMARNAT-2010 lo identifica en la categoría de probablemente extinto del medio silvestre. En octubre de 2011, la Conanp liberó en Sonora al primer grupo de lobos mexicanos (tres hembras y tres machos) en uno de los ecosistemas que originalmente habitaban, sin embargo, dos meses después se confirmó que cuatro ejemplares habían sido envenenados.

- **Berrendo** (*Antilocapra americana*): esta especie fue, hasta antes de la colonización de Norteamérica, muy abundante en las praderas y planicies del sur de Canadá, oeste de Estados Unidos y norte de México. Debido a la cacería y a la destrucción y fragmentación de su hábitat, sus poblaciones se redujeron drásticamente durante el siglo pasado, hasta ser considerada dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de peligro de extinción. Los primeros intentos de recuperación en México datan de 1922 y consistieron en la introducción y reintroducción en algunos estados del norte. Para 2006, la población era de poco más de mil ejemplares: aproximadamente 200 de la subespecie *peninsularis*, 440 de la *sonorienses* y 400 de la *mexicana*. El programa de mayor relevancia ha sido la recuperación del berrendo peninsular en las áreas protegidas de El Vizcaíno y el Valle de los Cirios, en la Península de Baja California. Este proyecto permitió

incrementar la población de menos de 60 ejemplares en 1997, antes del inicio del programa de recuperación a cerca de 400 ejemplares en 2012.

- **Bisonte** (*Bison bison*): estos herbívoros ocuparon hasta hace 150 años cerca de la tercera parte del territorio nacional, en los pastizales naturales de Coahuila, Chihuahua, Sonora, Durango y Zacatecas. Por la cacería indiscriminada, la transformación de los pastizales a tierras de cultivo y las enfermedades del ganado europeo, entre otros factores, desaparecieron de sus hábitats en 1820 (List et al., 2007). Con el fin de recuperar sus poblaciones, y considerando su importante papel ecológico en los pastizales naturales, en 2009 en Janos, Chihuahua, se llevó a cabo la liberación de 23 ejemplares genéticamente puros, provenientes del Parque Nacional Wind Cave, Dakota del Sur, en Estados Unidos (Conanp, 2009). Dos años después ocurrieron once nacimientos, con lo cual se elevó el tamaño de las poblaciones reintroducidas. Actualmente se encuentra enlistado como especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

#### Referencias:

Ceballos, G., S. Blanco, C. González y E. Martínez. *Distribución potencial de Antilocapra americana (berrendo)*. Proyecto DS006 "Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP". Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2006.

Conabio. *Fichas de especies prioritarias. Cóndor de California (Gymnogyps californianus)*. Conanp y Conabio, Semarnat. México. 2011.

Conabio. *Fichas de especies prioritarias. Lobo mexicano (Canis lupus)*. Conanp y Conabio, Semarnat. México. 2011.

Conabio. 2011. *Fichas de especies prioritarias. Berrendo (Antilocapra americana)*. Conanp y Conabio, Semarnat. México. 2011.

Conanp, Semarnat. *Volvieron los bisontes a Chihuahua en el Día Nacional por la Conservación*. Comunicado de prensa del 30 de noviembre de 2006. Disponible en: [www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id\\_subcontenido=86](http://www.conanp.gob.mx/difusion/comunicado.php?id_subcontenido=86). Fecha de consulta: mayo de 2012.

List, R., G. Ceballos, C. Curtin, P. J. P. Gogan, J. Pacheco y J. Truett. Historic distribution and challenges to bison recovery in the northern Chihuahuan Desert. *Conservation Biology* 21: 1487-1494. 2007.

Rojo, A., K. Santos del Prado y E. de la Cruz. La recuperación del cóndor de California en México. *INE-Gaceta Ecológica* 67: 33 – 44. 2003.

es el de las tortugas marinas. A pesar de que estos reptiles desempeñan un papel muy importante en el equilibrio de los ecosistemas marinos y costeros (León y Bjorndal, 2002), sus poblaciones en todo el mundo han sido afectadas significativamente por las actividades humanas, entre ellas la pesca incidental, los desarrollos turísticos costeros, la contaminación del agua marina,

el aprovechamiento ilegal de su carne y el saqueo de sus huevos para el consumo humano. En las playas mexicanas anidan 6 de las 7 especies conocidas de tortugas marinas; todas clasificadas en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010. La conservación de estas especies en el país se ha llevado a cabo por más de 40 años a través del Programa Nacional para la Conservación

	Nombre común	Nombre científico
1	Águila real	<i>Aquila chrysaetos</i>
2	Jaguar	<i>Panthera onca</i>
3	Lobo mexicano	<i>Canis lupus baileyi</i>
4	Vaquita marina	<i>Phocoena sinus</i>
5	Tortuga laúd	<i>Dermochelys coriacea</i>
6	Berrendo	<i>Antilocapra americana</i>
7	Tapir	<i>Tapirus bairdii</i>
8	Cotorras serranas	<i>Rhychopsitta pachyrhyncha</i> (Cotorra serrana occidental)
		<i>Rhychopsitta terrisi</i> (Cotorra serrana oriental)
9	Oso negro	<i>Ursus americanus</i>
10	Perritos llaneros	<i>Cynomys mexicanus</i>
		<i>Cynomys ludovicianus</i>
11	Guacamaya verde	<i>Ara militaris</i>
12	Guacamaya roja	<i>Ara macao</i>
13	Loros cabeza amarilla	<i>Amazona auropalliata</i> (Loro nuca amarilla)
		<i>Amazona oratrix</i> (Loro cabeza amarilla)
		<i>Amazona oratrix tresmariae</i>
14	Zapote prieto	<i>Diospyros xolocotzii</i>
15	Ballena azul	<i>Balaenoptera musculus</i>
16	Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>
17	Tortuga caguama	<i>Caretta caretta</i>
18	Tortuga Carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>
19	Tortuga lora	<i>Lepidochelys kempii</i>
20	Pavón	<i>Oreophasis derbianus</i>
21	Rapaces neotropicales	<i>Harpia harpyja</i> (Águila harpía)
		<i>Spizaetus ornatus</i> (Águila elegante)
		<i>Spizaetus tyrannus</i> (Águila tirana)
		<i>Spizastur melanoleucus</i> (Águila blanquinegra)
		<i>Sarcoramphus papa</i> (Zopilote rey)
22	Bisonte americano	<i>Bison bison bison</i>
23	Cóndor de California	<i>Gymnogyps californianus</i>
24	Primates	<i>Ateles geoffroyi</i> (Mono araña)
		<i>Alouatta pigra</i> (Mono aullador, saraguato yucateco o negro)
		<i>Alouatta palliata</i> (Mono aullador, saraguato de manto)
25	Teporingo o zacatuche	<i>Romerolagus diazi</i>
26	Tortuga verde o blanca	<i>Chelonia mydas</i>
27	Pecarí de labios blancos	<i>Tayassus pecari</i>
28	Corales	<i>Acropora cervicornis</i> (Coral cuerno de ciervo)
		<i>Acropora palmata</i> (Coral cuerno de alce)
29	Tortuga golfina	<i>Lepidochelys olivacea</i>
30	Manatí	<i>Trichechus manatus</i>

**Fuente:**

Conanp, Semarnat. Programa de Conservación de Especies en Riesgo. México, 2012.

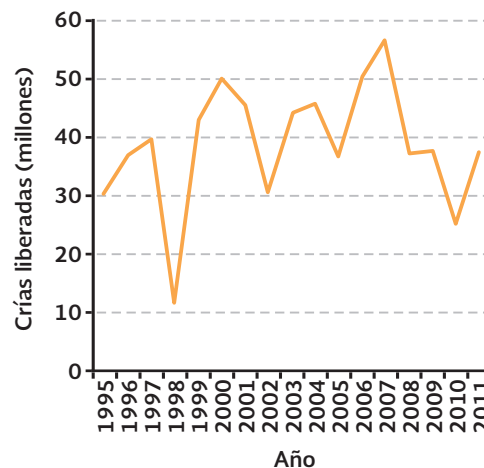
de Tortugas Marinas, actualmente a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), dentro del Procer. Las acciones de protección las realizan los 26 Centros para la Conservación de las Tortugas Marinas (10 playas dentro de ANP clasificadas como Santuarios y 17 con designación Ramsar, que en algunos casos se traslapan, como es el caso de la Playa Tortuguera Tierra Colorada que comparte ambas denominaciones), así como un Centro Mexicano de la Tortuga. En conjunto monitorean más de 500 kilómetros de costa en 13 estados del país.

El principal objetivo de las acciones de protección en los campamentos es la colecta de huevos para protegerlos de la depredación y el saqueo e incubarlos para obtener el mayor número de crías posible y liberarlas a sus poblaciones silvestres. En la figura 4.6 se muestra el total de crías liberadas por año entre 1995 y 2011<sup>4</sup>. En ese periodo, el promedio anual de tortugas liberadas de las seis especies en las playas mexicanas fue de 38.9 millones de crías. Paralelamente a las actividades de los campamentos, en las principales playas de anidación de las tortugas marinas, el Gobierno Federal a través de la Profepa, la Secretaría de Marina (Semar) y la Conanp, llevan a cabo acciones de protección mediante la vigilancia de las playas, esto con el fin de evitar el saqueo de nidos y captura ilegal de ejemplares.

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, de los sitios Ramsar, del establecimiento de sitios marinos prioritarios, de ordenamientos ecológicos en zonas marinas y costeras y de los Programas de Pago por Servicios Ambientales), y por otro lado, los esfuerzos encaminados al aprovechamiento sustentable

## Crías liberadas de tortugas marinas, 1995 - 2011

Figura 4.6



Fuente:

Coordinación Técnica del Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas, Conanp, Semarnat. México. 2012.

de la biodiversidad (p. e., el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, Suma) que, de manera indirecta, conserva 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 desde el siglo pasado una de las principales estrategias empleadas en el ámbito global para la conservación de los ecosistemas naturales y sus especies. Éstas son porciones terrestres o acuáticas

<sup>4</sup> El aumento en el número de crías liberadas reportadas en esta obra con respecto a ediciones previas del Informe se debe a los ajustes recientes en la información que ha realizado el Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas de la Conanp. La razón fundamental es la incorporación a los datos preexistentes, de la información del Santuario Playa La Escobilla y de la Playa Morro Ayuta, ambas en Oaxaca. Es importante señalar que dicho Santuario es el área de anidación más importante a nivel internacional para la tortuga golfina.



del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados (Conanp, 2010).

En 1911, en todo el mundo se habían declarado 141 áreas protegidas, las cuales sumaban 113 634 kilómetros cuadrados; para 2011 se reconocían más de 130 mil áreas que cubrían poco más de 24 millones de kilómetros cuadrados (Figura 4.7). En México, la creación de ANP también ha sido una de las estrategias de conservación más significativas; inició formalmente en 1917 durante el periodo del presidente Venustiano Carranza con el decreto para constituir al Desierto de los Leones como el primer parque nacional (Melo, 2002). Actualmente, la Conanp es la responsable de todas las actividades que se realizan en las ANP federales del país.

Durante los últimos años se ha realizado un esfuerzo significativo para incrementar el número de áreas protegidas. En 1997 existían 130 ANP federales con una superficie total

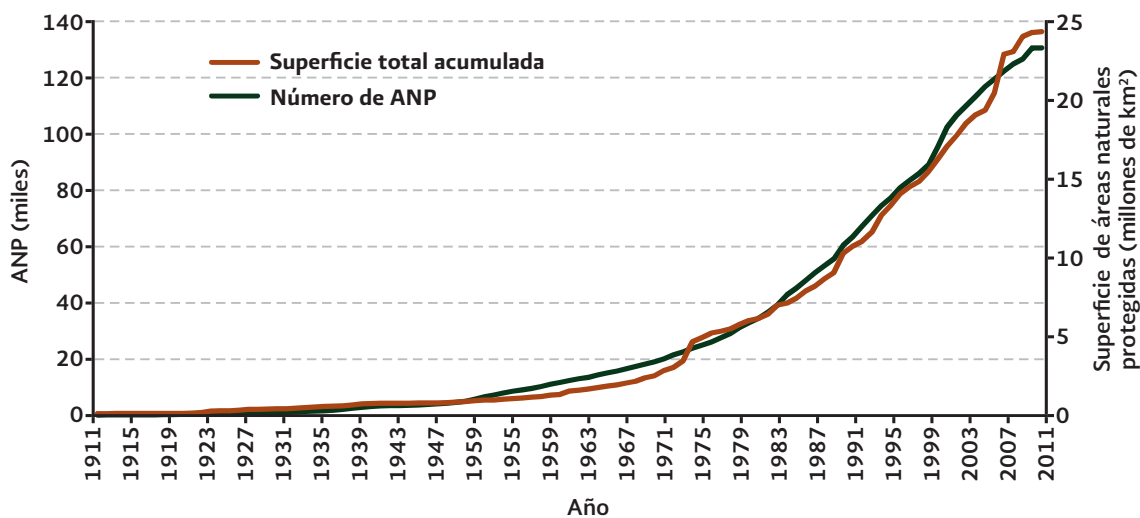
de alrededor de 19.8 millones de hectáreas, es decir, 10.1% de la superficie nacional. Para 2011, se contabilizaban 174 ANP y una superficie protegida ligeramente superior a los 25.5 millones de hectáreas, de las cuales 20.7 millones correspondían a zonas terrestres (alrededor de 81.2% del total de la superficie protegida) y poco más de 4.8 millones de hectáreas (18.8%) a zonas marinas (Figura 4.8; Mapa 4.2; Tabla 4.4; **IB 6.1-6, 6.3-10, 6.3.1-4, 6.4.1-7 y 6.4.2-7**).



De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), existen seis categorías de manejo para las ANP federales: 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 santuarios (S). Además existen los parques y reservas estatales (PyRE) y las zonas de preservación ecológica de los centros de población (ZPE). Para 2011, la categoría con mayor número de áreas decretadas a nivel federal fue la de parque nacional, con 67, sin embargo, su contribución relativa a la superficie

**Crecimiento de las áreas naturales protegidas en el mundo 1911 - 2011<sup>1</sup>**

**Figura 4.7**



**Nota:**

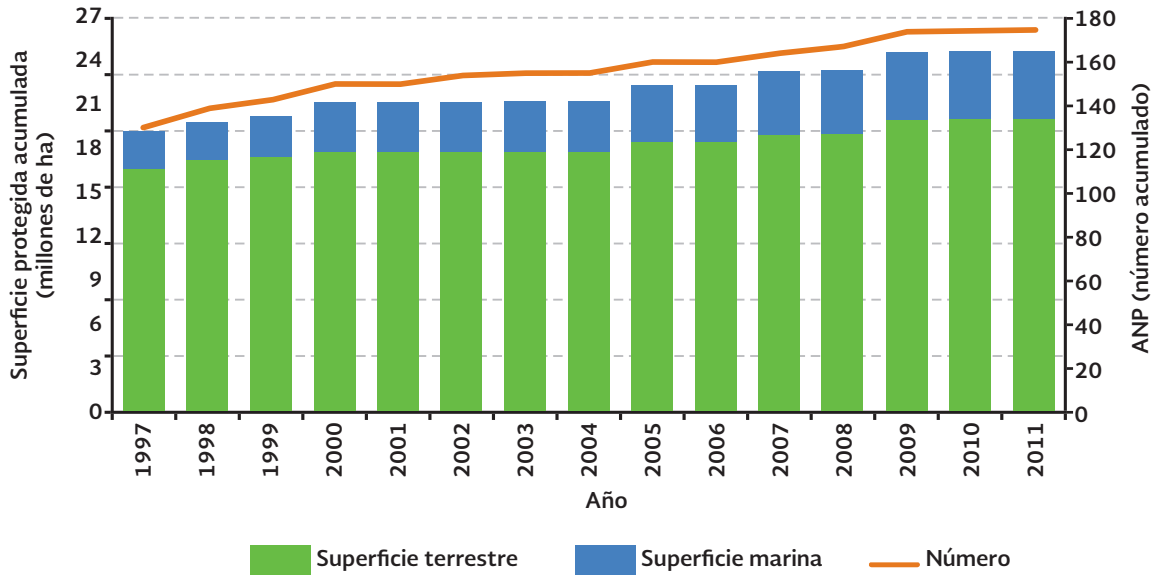
<sup>1</sup> Debido a que no es posible conocer el año de establecimiento de todas las áreas naturales protegidas en el mundo, un total de 43 674 ANP no aparecen contabilizadas en la gráfica.

**Fuente:**

IUCN y UNEP-WCMC. *The World Database on Protected Areas (WDPA)*. UNEP-WCMC. Cambridge, UK. 2012.

## Crecimiento histórico de las áreas naturales protegidas federales en México, 1997 - 2011

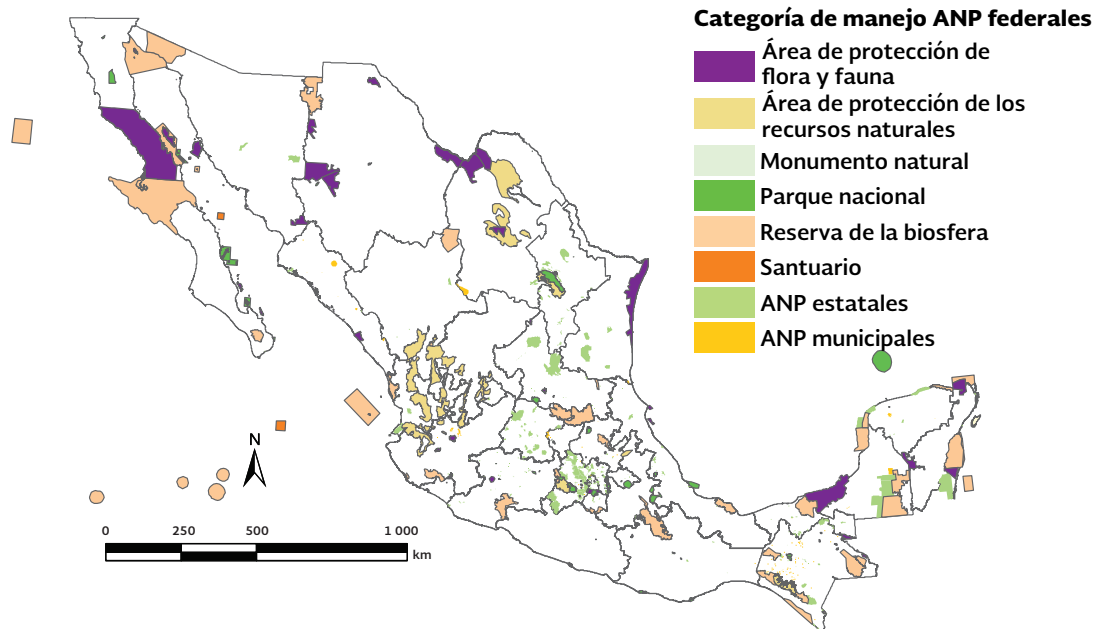
Figura 4.8



**Fuente:**  
Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.

## Áreas Naturales Protegidas federales, estatales y municipales de México, 2009 y 2011<sup>1</sup>

Mapa 4.2



**Nota:**  
<sup>1</sup> Los datos para las ANP federales corresponden a 2011, en tanto que para las ANP estatales y municipales corresponden a 2009.

**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de:  
ANP federales: Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.  
ANP estatales y municipales: Bezaury-Creel et al., 2009a y b.

## Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011

Tabla 4.4

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Bala'an Ka'ax	Quintana Roo y Yucatán	APFyF	128 390	0
Boquerón de Tonalá	Oaxaca	APFyF	3 912	0
Cabo San Lucas	Baja California Sur	APFyF	208	3 788
Campo Verde	Chihuahua y Sonora	APFyF	108 067	0
Cañón de Santa Elena	Chihuahua	APFyF	277 210	0
Cañón del Usumacinta	Tabasco	APFyF	46 128	0
Cascadas de Agua Azul	Chiapas	APFyF	2 580	0
Chan-Kin	Chiapas	APFyF	12 185	0
Ciénegas del Lerma	México	APFyF	3 024	0
Corredor Biológico Chichinautzin	Distrito Federal, Morelos y México	APFyF	37 302	0
Cuatro ciénegas	Coahuila	APFyF	84 347	0
El Jabalí	Colima	APFyF	5 179	0
Islas del Golfo de California	Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa	APFyF	314 736	0
La Primavera	Jalisco	APFyF	30 500	0
Laguna de Términos	Campeche	APFyF	547 279	157 738
Laguna Madre y Delta del Río Bravo	Tamaulipas	APFyF	572 809	0
Maderas del Carmen	Coahuila	APFyF	208 381	0
Manglares de Nichupté	Quintana Roo	APFyF	4 257	0
Médanos de Samalayuca	Chihuahua	APFyF	63 182	0
Meseta de Cacaxtla	Sinaloa	APFyF	50 862	0
Metzabok	Chiapas	APFyF	3 368	0
Naha	Chiapas	APFyF	3 847	0
Ocampo	Coahuila	APFyF	344 238	0
Otoch Ma ax Yetel Kooh	Yucatán	APFyF	5 367	0
Papigochic	Chihuahua	APFyF	222 764	0
Pico de Tancitaro	Michoacán	APFyF	23 406	0
Sierra de Álamos-Río Cuchujaquí	Chihuahua y Sonora	APFyF	92 890	0
Sierra de Álvarez	San Luis Potosí	APFyF	16 900	0
Sierra de Quila	Jalisco	APFyF	15 193	0
Sierra La Mojonera	San Luis Potosí y Zacatecas	APFyF	9 202	0
Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan	Veracruz	APFyF	0	30 571
Tutuaca	Chihuahua y Sonora	APFyF	436 986	0
Uaymil	Quintana Roo	APFyF	89 118	0
Valle de Los Cirios	Baja California	APFyF	2 521 988	0

**Notas:**

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

**Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011 (continúa)**

**Tabla 4.4**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Yum Balam	Quintana Roo	APFyF	52 308	101 745
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan	Coahuila y Nuevo León	APRN	197 157	0
Cuenca Alimentadora del Distrito de Riego 043 Estado de Nayarit	Aguascalientes, Durango, Jalisco, Nayarit y Zacatecas	APRN	2 329 027	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, Mascatepec, Tilostoc y Temascaltepec	México y Michoacán	APRN	172 879	0
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Hidalgo y Puebla	APRN	41 692	0
Las Huertas	Colima	APRN	167	0
La Fraileskana	Chiapas	APRN	177 546	0
Bonampak	Chiapas	MN	4 357	0
Cerro de La Silla	Nuevo León	MN	6 039	0
Río Bravo del Norte	Chihuahua y Coahuila	MN	2 175	0
Yagul	Oaxaca	MN	1 076	0
Yaxchilán	Chiapas	MN	2 621	0
Archipiélago de San Lorenzo	Baja California	PN	0	58 443
Arrecife Alacranes	Yucatán	PN	53	333 716
Arrecife de Puerto Morelos	Quintana Roo	PN	38	9 029
Arrecifes de Cozumel	Quintana Roo	PN	82	11 906
Arrecifes de Xcalak	Quintana Roo	PN	4 522	13 428
Bahía de Loreto	Baja California Sur	PN	21 692	184 889
Barranca del Cupatitzio	Michoacán	PN	427	0
Benito Juárez	Oaxaca	PN	2 591	0
Bosencheve	México y Michoacán	PN	14 600	0
Cabo Pulmo	Baja California Sur	PN	39	7 072
Cañón de Río Blanco	Veracruz y Puebla	PN	48 800	0
Cañón del Sumidero	Chiapas	PN	21 789	0
Cascada de Basaseachic	Chihuahua	PN	5 803	0
Cerro de Garnica	Michoacán	PN	1 936	0
Cerro de la Estrella	Distrito Federal	PN	1 183	0

**Notas:**

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

**Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011 (continúa)**

**Tabla 4.4**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Cerro de las Campanas	Querétaro	PN	58	0
Cofre de Perote	Veracruz	PN	11 531	0
Constitución de 1857	Baja California	PN	5 009	0
Costa Occ. de I. Mujeres, Pta Cancún y Pta Nizuc	Quintana Roo	PN	1	8 672
Cumbres de Majalca	Chihuahua	PN	4 801	0
Cumbres de Monterrey	Nuevo León y Coahuila	PN	177 396	0
Cumbres del Ajusco	Distrito Federal	PN	920	0
Desierto de los Leones	Distrito Federal	PN	1 529	0
Desierto del Carmen o de Nixcongo	México	PN	529	0
Dzibilchantún	Yucatán	PN	539	0
El Chico	Hidalgo	PN	2 739	0
El Cimatario	Querétaro	PN	2 448	0
El Histórico Coyoacán	Distrito Federal	PN	40	0
El Potosí	San Luis Potosí	PN	2 010	0
El Sabinal	Nuevo León	PN	8	0
El Tepeyac	Distrito Federal	PN	1 500	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	129	0
General Juan N. Álvarez	Guerrero	PN	528	0
Gogorron	San Luis Potosí	PN	38 232	0
Grutas de Cacahuamilpa	Guerrero	PN	1 600	0
Huatulco	Oaxaca	PN	6 579	5 312
Insurgente José María Morelos	Michoacán	PN	7 192	0
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	México y Distrito Federal	PN	1 920	0
Isla Contoy	Quintana Roo	PN	173	4 954
Isla Isabel	Nayarit	PN	194	0
Islas Marietas	Nayarit	PN	71	1 312
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	México, Puebla y Morelos	PN	39 819	0
Lago de Camécuaro	Michoacán	PN	5	0
Lagunas de Chacahua	Oaxaca	PN	14 896	0
Lagunas de Montebello	Chiapas	PN	6 396	0
Lagunas de Zempoala	México y Morelos	PN	4 790	0

**Notas:**

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

**Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011 (continúa)**

**Tabla 4.4**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Lomas de Padierna	Distrito Federal	PN	1 161	0
Los Marmoles	Hidalgo	PN	23 150	0
Los Novillos	Coahuila	PN	38	0
Los Remedios	México	PN	468	0
Malinche o Matlalcuéyatl	Tlaxcala y Puebla	PN	46 112	0
Molino de Flores Netzahualcóyotl	México	PN	46	0
Nevado de Colima	Jalisco y Colima	PN	6 525	0
Nevado de Toluca	México	PN	53 988	0
Palenque	Chiapas	PN	1 772	0
Pico de Orizaba	Veracruz y Puebla	PN	19 750	0
Rayón	Michoacán	PN	25	0
Sacromonte	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	52 059
Tula	Hidalgo	PN	100	0
Tulum	Quintana Roo	PN	664	0
Xicotécatl	Tlaxcala	PN	851	0
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	407 148	527 609
Archipiélago de Revillagigedo	Colima	RB	15 383	621 302
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	143 774
Barranca de Metztitlán	Hidalgo	RB	96 043	0
Calakmul	Campeche	RB	723 185	0
Chamela-Cuixmala	Jalisco	RB	13 143	0
Complejo Lagunar Ojo de Liebre	Baja California y Baja California Sur	RB	61 743	0
El Pinacate y Gran Desierto de Altar	Sonora	RB	714 557	0
El Triunfo	Chiapas	RB	119 177	0
El Vizcaíno	Baja California Sur	RB	2 258 931	287 859
Isla Guadalupe	Baja California	RB	26 277	450 694
Isla San Pedro Mártir	Sonora	RB	127	30 038

**Notas:**

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

**Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011 (continúa)**

**Tabla 4.4**

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Islas Marías	Nayarit	RB	24 295	616 990
Janos	Chihuahua	RB	526 482	0
La Encrucijada	Chiapas	RB	115 653	29 215
La Michilía	Durango	RB	35 000	0
La Sepultura	Chiapas y Oaxaca	RB	167 310	0
Lacan-Tun	Chiapas	RB	61 874	0
Los Petenes	Campeche	RB	100 867	181 991
Los Tuxtlas	Veracruz	RB	155 122	0
Mapimí	Durango, Chihuahua y Coahuila	RB	342 388	0
Mariposa Monarca	México y Michoacán	RB	56 259	0
Marismas Nacionales Nayarit	Nayarit	RB	133 854	0
Montes Azules	Chiapas	RB	331 200	0
Pántanos de Centla	Tabasco y Campeche	RB	302 707	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	101 288	0
Sian Ka'an	Quintana Roo	RB	375 012	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	21 464	0
Sierra Gorda	Querétaro	RB	383 567	0
Sierra Gorda de Guanajuato	Guanajuato	RB	236 883	0
Sierra La Laguna	Baja California Sur	RB	112 437	0
Tehuacán-Cuicatlán	Puebla y Oaxaca	RB	490 187	0
Tiburón Ballena	Quintana Roo	RB	0	145 988
Volcán Tacaná	Chiapas	RB	6 378	0
Zicuirán-Infiernillo	Michoacán	RB	265 118	0
Islas de la Bahía de Chamela	Jalisco	S	1 981	0
Playa adyacente a la localidad denominada Río Lagartos	Yucatán	S	130	0
Playa Ceuta	Sinaloa	S	77	0
Playa Cuitzmala	Jalisco	S	12	0
Playa de Escobilla	Oaxaca	S	30	0
Playa de La Bahía de Chachagua	Oaxaca	S	31	0
Playa de La Isla Contoy	Quintana Roo	S	14	0

**Notas:**

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

## Áreas naturales protegidas, categoría de manejo y superficie calculada en México, 2011 (conclusión)

Tabla 4.4

ANP	Entidad federativa	Categoría de manejo <sup>1</sup>	Superficie calculada <sup>2</sup> (ha)	
			Terrestre	Marina
Playa de Maruata y Colola	Michoacán	S	32	0
Playa de Mismaloya	Jalisco	S	167	0
Playa de Puerto Arista	Chiapas	S	63	0
Playa de Rancho Nuevo	Tamaulipas	S	31	0
Playa de Tierra Colorada	Guerrero	S	54	0
Playa El Tecuán	Jalisco	S	17	0
Playa El Verde Camacho	Sinaloa	S	62	0
Playa Mexiquillo	Michoacán	S	25	0
Playa Piedra de Tlacoyunque	Guerrero	S	29	0
Playa Teopa	Jalisco	S	12	0
Porción marina conocida como Ventilales Hidrotermales de la Cuenca de Guaymas y de la Dorsal del Pacífico Oriental	Baja California Sur	S	0	145 565
<b>Total</b>			<b>20 710 057</b>	<b>4 807 983</b>

### Notas:

<sup>1</sup> Las abreviaturas de las categorías de manejo corresponden a: Área de protección de flora y fauna (APFF), Área de protección de los recursos naturales (APRN), Monumento natural (MN), Parque nacional (PN), Reserva de la biosfera (RB) y Santuario (S).

<sup>2</sup> La superficie calculada se obtiene directamente de la cartografía de la fuente, por lo que puede diferir de la superficie decretada.

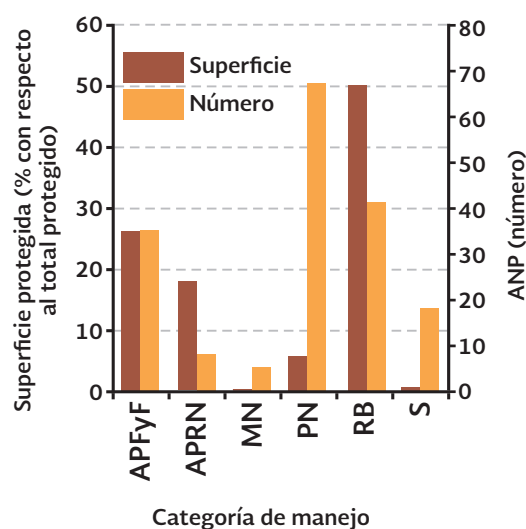
### Fuente:

Subdirección de Análisis de Información Espacial de la Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.

protegida nacional fue de tan sólo 5.7% (Figura 4.9). Las 41 reservas de la biosfera existentes en el país cubren alrededor de 49.9% de la superficie protegida. Su principal función es la de constituirse como espacios de investigación, conservación y desarrollo regional sostenible. Las 35 áreas de protección de flora y fauna abarcan 26% de la superficie protegida nacional, encontrándose principalmente en zonas con una alta riqueza de flora o fauna o donde se encuentran especies, subespecies o hábitats de distribución restringida. Las ocho áreas de protección de los recursos naturales representan 17.8% de la superficie protegida y, finalmente, las cinco áreas decretadas como monumentos naturales comprenden sólo 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.

## Áreas naturales protegidas por categoría de manejo en México, 2011

Figura 4.9



### Fuente:

Elaboración propia con datos de: Subdirección de Análisis de Información Espacial de la Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.



Las ANP federales no son las únicas que existen en el país, también se han establecido áreas protegidas por los gobiernos de las entidades federativas, municipios, e incluso las llamadas “certificadas”. Para 2009 se habían decretado 296 ANP estatales y 98 de carácter municipal, que ocupaban una superficie aproximada de 3.3 y 0.17 millones de hectáreas, respectivamente (Bezaury-Creel *et al.*, 2009a y b). En el caso de las áreas certificadas, en 2008 la Conanp inició el proceso de certificación de áreas voluntarias de conservación como una estrategia para incorporar nuevas zonas del territorio nacional a esquemas de conservación. Estas áreas existen como una categoría más de ANP, con el mismo grado de importancia, pero en la que sus propietarios conservan el dominio, manejo y gobernanza del área (Elizondo y López, 2009). En este sentido, la certificación es un proceso unilateral por parte del proponente y en donde la Conanp participa como fedatario de la voluntad de conservar sus predios y de las políticas, criterios y acciones que el promovente pretende realizar para lograr sus fines. Entre junio de 2002 y septiembre de 2012 se han incorporado un total de 324 áreas certificadas que abarcan 370 804 hectáreas en 19 estados de la república (Tabla 4.5)

Si se compara el porcentaje de la superficie nacional cubierta por ANP con el de otros

países y organizaciones, en 2012 resultaba ligeramente superior al promedio más reciente reportado para los miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), que en 2007 ascendía a 12.7%. De igual manera, el valor nacional resulta superior al promedio mundial de 10.2% reportado en los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en 2010. A nivel de América Latina, la superficie terrestre protegida de nuestro país en 2010 (10.5%) representaba un porcentaje ligeramente mayor al promedio general de la región (Figura 4.10).

Las ANP federales incluyen la mayoría de los ecosistemas presentes en el país. En la porción terrestre predominan los matorrales xerófilos (36% de la superficie protegida, cerca de 7.3 millones de ha), los bosques templados (21%, 4.2 millones de ha) y las selvas subhúmedas y húmedas (9 y 7%, respectivamente, 3.1 millones de ha en conjunto; Figura 4.11). De la superficie protegida, 98% los matorrales xerófilos conserva su estado primario; le siguen los bosques templados (con cerca del 69% de su superficie en esa condición), los bosques mesófilos de montaña (68%) y las selvas subhúmedas y húmedas (55 y 52%, respectivamente; Figura 4.12).

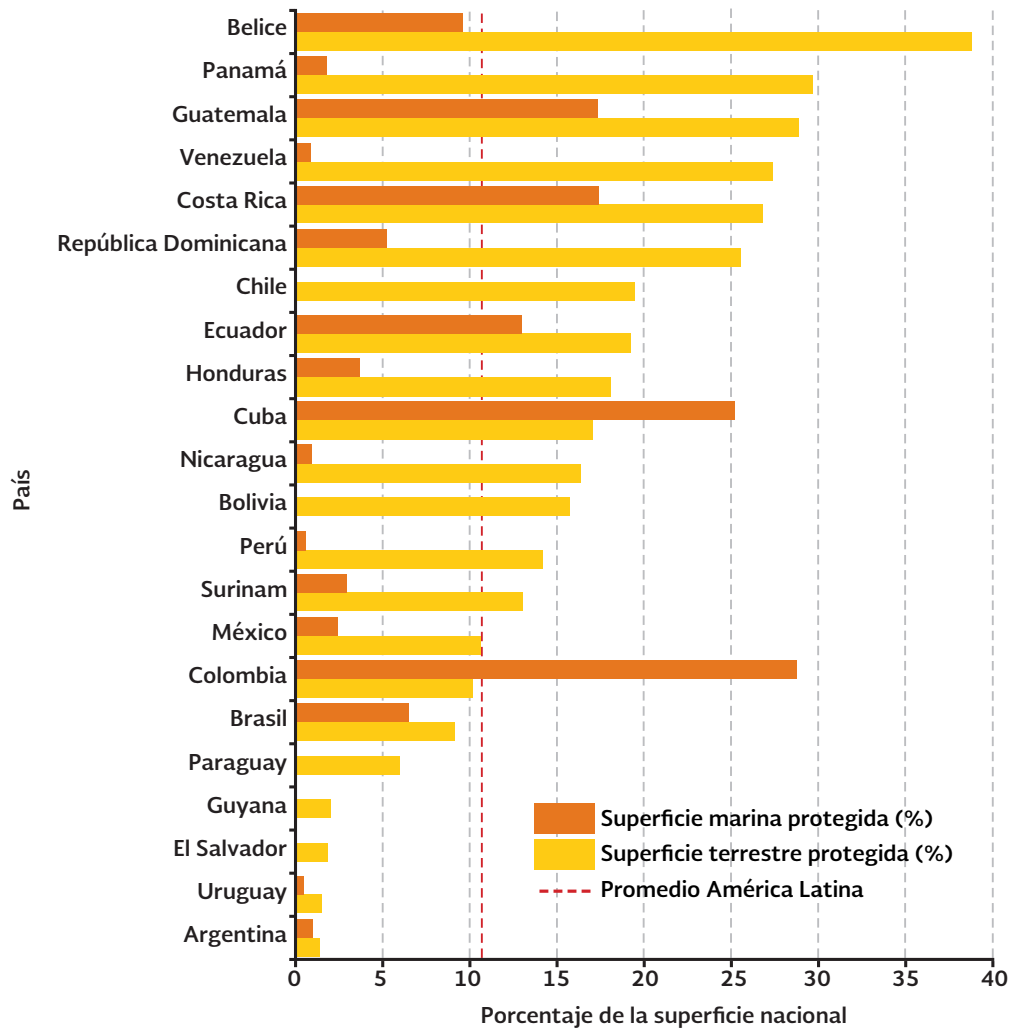
**Áreas certificadas incorporadas en México, 2002 - 2012**

**Tabla 4.5**

Tipo de promovente	Número de áreas	Superficie (ha)
Empresarial	14	71 526.40
Empresa Pública (Municipal, Estatal, Federal)	1	804.17
Particular	72	52 160.41
Comunidad	39	150 098.36
Ejidal (tierras de uso común)	54	93 275.24
Ejidal (parcelas)	144	2 940.16
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>370 804.74</b>

**Fuente:**

Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.



Fuente: Elbers, J. (Ed.). *Las áreas protegidas de América Latina. Situación actual y perspectivas para el futuro*. UICN. Quito, Ecuador. 2011.

Con respecto a los ecosistemas acuáticos continentales, en 2011 un total de 87 ríos y 3 628 km de sus cauces estaban 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.

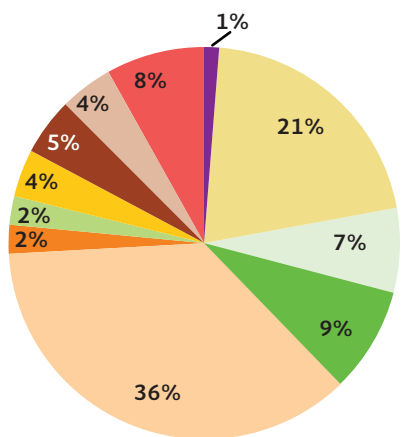
En el caso de los ecosistemas marinos, en 2011 existían 32 ANP marinas con una superficie total de 4.8 millones de ha, esto es, 18.8% de la superficie total de ANP

nacionales (IB 6.3-10). Dentro de ellas se protegen algunos de los más importantes sistemas arrecifales del país, destacando, en la costa del Océano Pacífico, Cabo Pulmo; en el Golfo de México, el Sistema Arrecifal Veracruzano; y en el Caribe, los arrecifes de Cozumel y la Barrera Arrecifal Mesoamericana (esta última considerada como la segunda más grande e importante del mundo después de la Gran Barrera de Arrecifes en Australia). En conjunto, en 2011, diecisiete ANP federales protegían estos importantes ecosistemas (IB 6.3.1-4).



### Superficie relativa de los principales ecosistemas en las áreas naturales protegidas, 2011

Figura 4.11



#### Ecosistema

- Bosque mesófilo de montaña
- Bosque templado
- Selva húmeda
- Selva subhúmeda
- Matorral xerófilo
- Pastizal natural
- Manglar
- Otra vegetación hidrófila
- Vegetación halófila y gipsófila
- Otros tipos de vegetación
- Antrópica

**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de :  
Conanp. México. 2012.  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*,  
escala 1: 250 000. México. 2011.

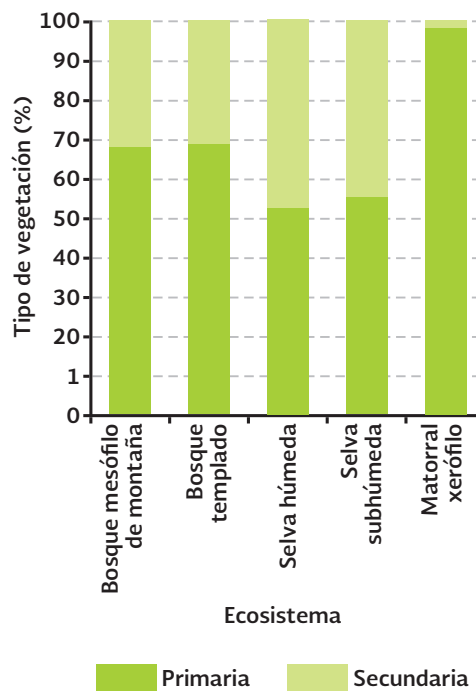
Uno de los instrumentos que se utilizan para formalizar las estrategias de conservación y el uso de las áreas naturales protegidas federales es el llamado Programa de Manejo. Estos instrumentos, además de incluir aspectos relativos a las características del sitio (p. e., de orden ecológico, físico y cultural), incluyen también los objetivos de corto, mediano y largo plazos establecidos para las ANP relacionados con la investigación científica, la educación ambiental y la prevención y control de contingencias, entre otros. En México,

hasta junio de 2012, un total de 66 ANP (que equivalen a una superficie aproximada de 13.5 millones de hectáreas, es decir, cerca de 52.7% de la superficie total bajo este régimen de protección) contaban con programas de manejo, de los cuales 64 se encontraban publicados en el Diario Oficial de la Federación (Conanp, 2012a).

Un número importante de ANP forma parte de las redes internacionales de áreas protegidas. Hasta 2012, 41 ANP mexicanas (una de ellas de carácter estatal) estaban 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, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), cuyo principal objetivo es promover la investigación científica y la comunicación de las

### Estado de conservación de la vegetación en los principales ecosistemas de las ANP federales, 2012

Figura 4.12



**Fuentes:**  
Elaboración propia con datos de :  
Conanp. México. 2012.  
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*,  
escala 1: 250 000. México. 2011.

experiencias en el campo de la conservación y el uso racional de los recursos naturales. Cuatro áreas naturales protegidas más han sido designadas por el mismo organismo como sitios de Patrimonio Mundial Natural: Sian Ka'an (inscrita en 1987), el Santuario de ballenas de El Vizcaíno (1993), las Islas y Áreas Protegidas del Golfo de California (2005) y la Reserva de Biosfera de la Mariposa Monarca (2008).

## HUMEDALES RAMSAR

La Convención de Humedales de Importancia Internacional, firmada en la ciudad iraní de Ramsar en 1971, es un tratado intergubernamental que constituye el marco para la acción nacional y la cooperación internacional en favor de la conservación y uso racional de los humedales de importancia mundial y de sus recursos dentro de los territorios de los países firmantes. La Convención considera como humedales a todas las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o las superficies cubiertas de agua 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 (Ramsar, 2006). México se adhirió a la Convención el 4 de julio de 1986, en un esfuerzo encaminado a proteger y conservar sus humedales (**IB 6.2-4 e IC 2**). Para febrero de 2012 nuestro país contaba con 138 sitios Ramsar, con una superficie total de 9.2 millones de hectáreas, de los cuales 55 sitios se encontraban dentro de áreas naturales protegidas (Figura 4.13; Mapa 4.3; Conanp, 2012b).

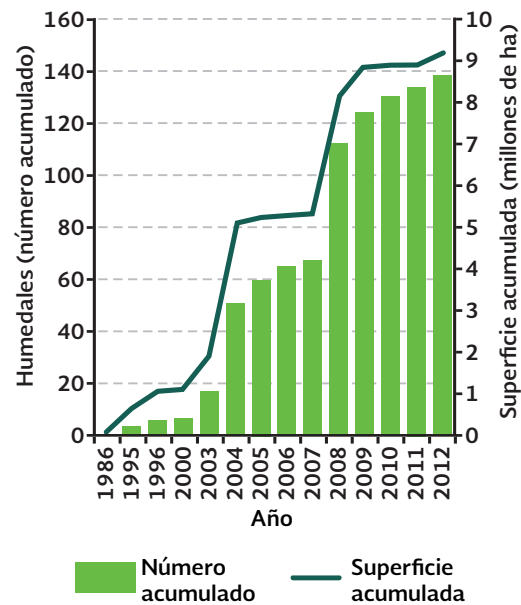


## UNIDADES DE MANEJO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE (UMA)

En 1997 se estableció el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Suma). El objetivo de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida

## Humedales continentales mexicanos en la Convención Ramsar, 1986 - 2012

Figura 4.13



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de :  
Dirección General de Desarrollo Institucional y Promoción, Conanp,  
Semarnat. México. 2012.

Silvestre (Uma) es la conservación de los hábitats naturales y sus servicios ambientales, así como de 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.

En el Suma se registran todos aquellos predios (denominados unidades de manejo ambiental, Uma), ya sean de propiedad privada, ejidal o comunal, 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 y uso sustentable.

Existen dos tipos de Uma dependiendo de las condiciones de manejo: pueden ser extensivas cuando se tienen ejemplares o poblaciones de especies silvestres en sus ecosistemas naturales; o de manejo intensivo, cuando los ejemplares o poblaciones se encuentran en condiciones de confinamiento. Para su funcionamiento, 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 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 4.6).

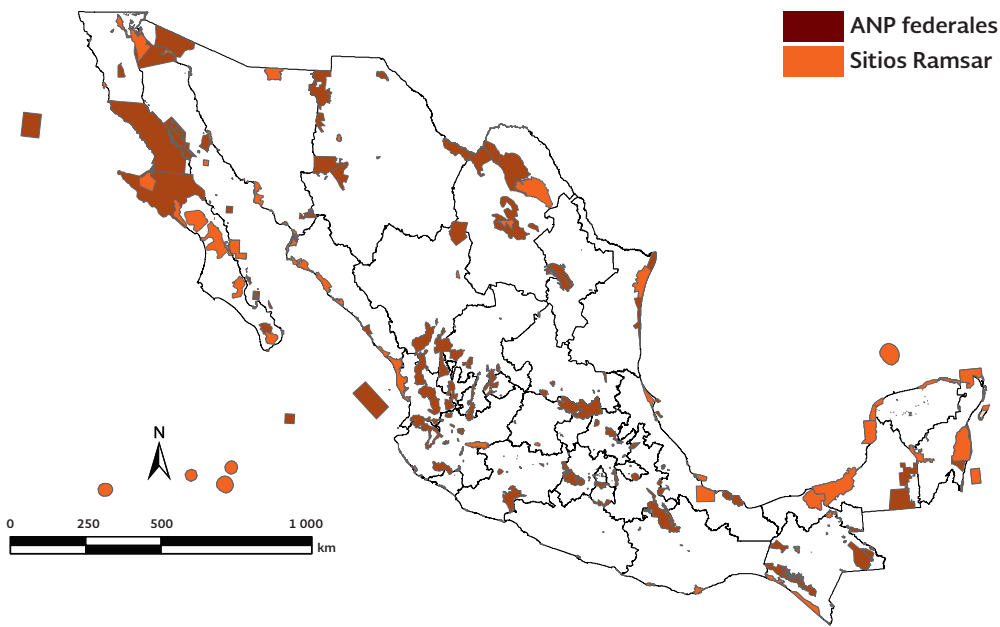
Hasta 2011, se tenían registradas 10 855 Uma (8 381 de manejo en vida libre y 2 474 de manejo intensivo) y una superficie acumulada

de 36.1 millones de hectáreas<sup>5</sup> (alrededor del 17% del territorio nacional; Figura 4.14). Si se analiza su distribución geográfica, las Uma se han establecido predominantemente en el norte del país, siendo los estados donde se han registrado mayor número de unidades, en orden decreciente, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas, Coahuila y Durango (Mapa 4.4).

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 vida libre, no requerirán aprobación de sus planes de manejo por parte de la Semarnat y no son consideradas como Uma, sino como Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS). Dentro de esta categoría, en lo que a flora se refiere, se han englobado a los viveros y los jardines botánicos; para la fauna se consideran a los

**Sitios Ramsar y áreas naturales protegidas federales en México, 2012**

**Mapa 4.3**



**Fuente:** Subdirección de Área de la Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2012.

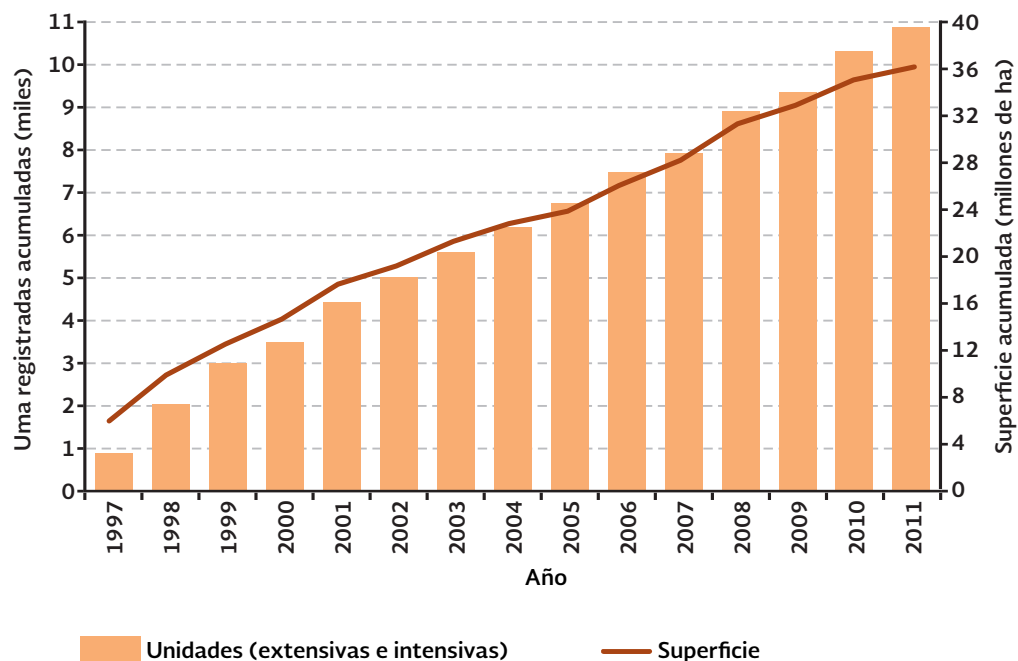
<sup>5</sup> La superficie y número de Uma reportadas en el texto corresponden a las que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como los valores históricos registrados a diciembre de 2011. No obstante, la superficie de las Uma vigentes contabiliza a la misma fecha 32.2 millones de hectáreas.

Aprovechamiento		Próposito del aprovechamiento
Extractivo	No extractivo	
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:**  
Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2012.

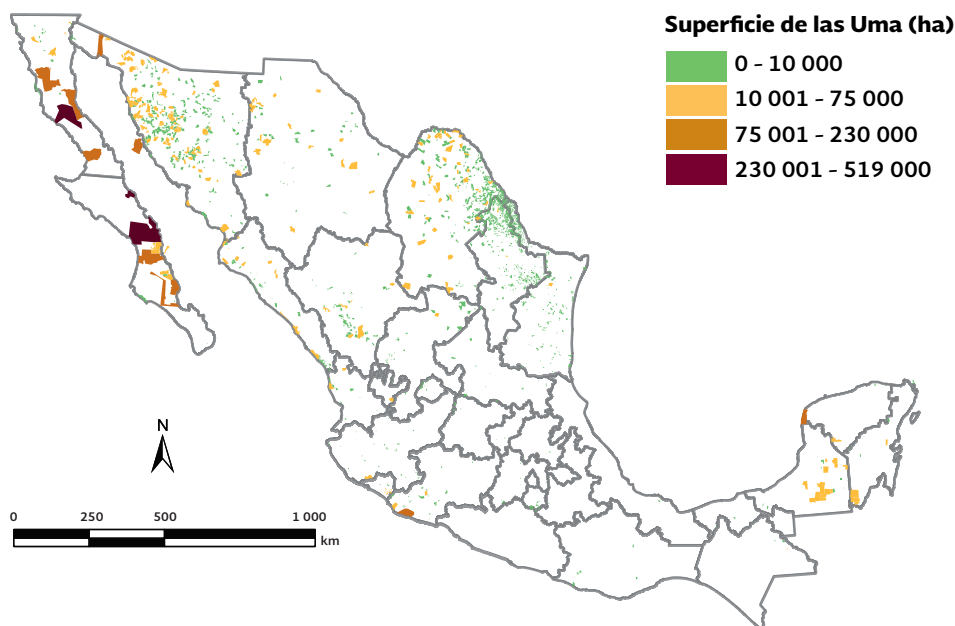
Superficie y número de Uma<sup>1</sup> registradas, 1997 - 2011

Figura 4.14



**Nota:**  
<sup>1</sup> La superficie y número de Uma corresponden a las que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como los valores históricos registrados a diciembre de 2011. No obstante, la superficie de las Uma vigentes contabiliza a la misma fecha 32.2 millones de hectáreas.

**Fuente:**  
Dirección General de Vida Silvestre, Subsecretaría de Gestión y Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.



**Nota:**

<sup>1</sup> El mapa muestra tan sólo las 1 761 Uma que contaron con datos de su posición geográfica precisa.

**Fuente:**

Subsecretaría de Gestión y Protección Ambiental, Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2012.

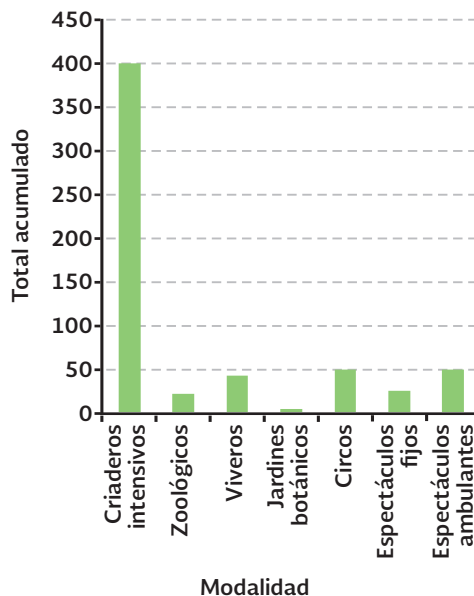
criaderos intensivos, zoológicos, circos, criaderos fijos y criaderos ambulantes. En el periodo 1999-2011 se registraron un total de 590 PIMVS, de los cuales la mayor proporción (67.8%) correspondió a criaderos intensivos (Figura 4.15).

**CENTROS PARA LA CONSERVACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE (CIVS)**

Los Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS) son instalaciones que llevan a cabo 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). También realizan actividades de

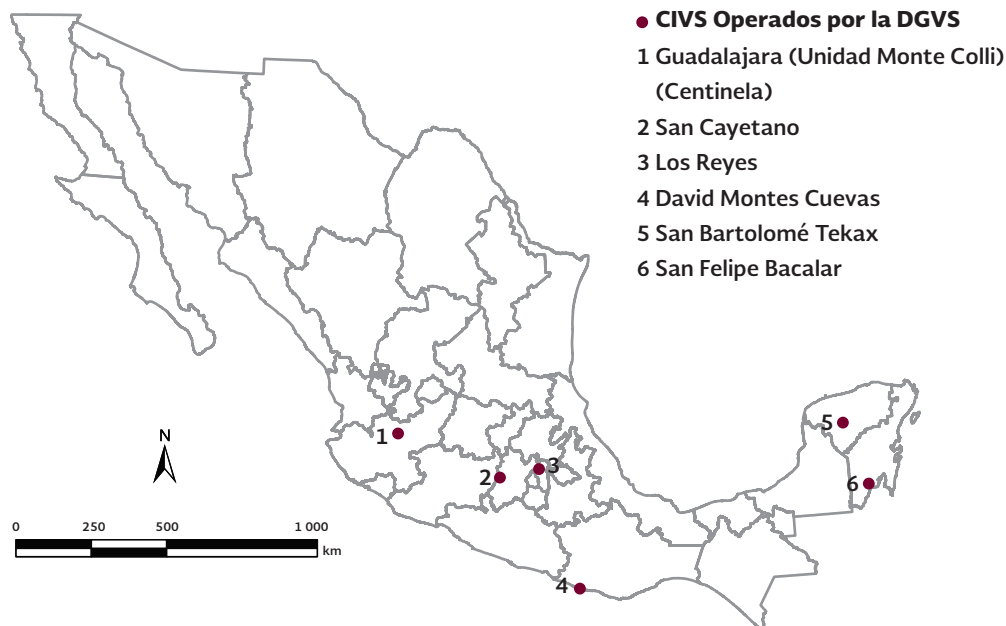
**Predios e Instalaciones que Manejan Vida Silvestre (PIMVS), 1999 - 2011**

Figura 4.15



**Fuente:**

Dirección General de Vida Silvestre, Subsecretaría de Gestión y Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.



Fuente:  
Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2011.

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. Los seis CIVS existentes son administrados por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) y se ubican en los estados de Jalisco, Yucatán, Oaxaca, Quintana Roo y el estado de México (éste último con dos Centros; Mapa 4.5).

En el periodo 1998-2011, los CIVS han recibido un total de 19 345 ejemplares, de los cuales la mayor parte correspondió a reptiles (40.2%), seguidos por aves (33%), mamíferos (10.7%) y arácnidos (7.8%); el restante 8.3% correspondió a anfibios, artrópodos, cactáceas y peces ([Cuadro D3\\_BIODIV04\\_10](#)). De los ejemplares ingresados en los CIVS en el mismo periodo, se liberaron 3 298 ejemplares (alrededor de 17% de los ingresados), de los cuales 34.1% fueron reptiles, 29.7% aves, 22.6% mamíferos y 13.1% arácnidos.

## REFERENCIAS

Arriaga, C. L., S. V. Aguilar y D. J. Alcocer. *Agua continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.

Bezaury-Creel J. E., J. F. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, M. Castro-Campos y N. Moreno. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales, del Distrito Federal y Municipales de México - Versión 2.0*. The Nature Conservancy/Conabio/Conanp. México. 2009a.

Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, Marco Castro-Campos, N. Moreno. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Municipales de México - Versión 2.0*. The Nature Conservancy/Conabio/Conanp. México. 2009b.

CBD. *Status and trends of global biodiversity*. 2002. Disponible en: [www.cbd.int/gbo1/chap-01.shtml](http://www.cbd.int/gbo1/chap-01.shtml). Fecha de consulta: septiembre de 2012.



Challenger, A., y J. Soberón. Los ecosistemas terrestres. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación*. Conabio y Conanp, Semarnat. México. 2010.

Conabio. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: [www.conabio.gob.mx/invasoras](http://www.conabio.gob.mx/invasoras). Fecha de consulta: agosto de 2012.

Conabio. *Capital natural y bienestar social*. Conabio. México. 2006.

Conanp, Semarnat. Áreas protegidas decretadas. [www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

Contreras-Balderas, S. Annotated checklist of introduced invasive fishes in Mexico, with examples of some recent introductions. En: Claudi, R. y J.H. Leach (Eds.). *Non-indigenous freshwater species of North America*. Lewis Publishers. Nueva York. 1999.

Contreras-Balderas, S., P. Almada-Villela, M. L. Lozano-Vilano y M. E. García-Ramírez. Freshwater fish at risk or extinct in Mexico: A checklist and review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 241-251. 2003.

Contreras-Balderas, S., G. Ruíz-Campos, J. J. Schmitter-Soto, E. Díaz-Pardo, T. Contreras-McBeath, M. Medina-Soto, L. Zambrano-González, A. Varela-Romero, R. Mendoza-Alfaro, C. Ramírez-Martínez, M. A. Leija-Tristán, P. Almada-Villela, D. A. Hendrickson y J. Lyons. Freshwater fishes and water status in Mexico: A country-wide appraisal. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 11: 246-256. 2008.

Coordinación de Información y Servicios Externos, Conabio, Semarnat. México. 2012.

Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2010. Disponible en: [www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/). Fecha de consulta: agosto de 2012.

Dirección General de Operación Regional, Conanp, Semarnat. México. 2012a. Disponible en: [www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/programa\\_manejo.php](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/programa_manejo.php). Fecha de consulta: agosto de 2012.

Dirección General de Desarrollo Institucional y Promoción, Conanp, Semarnat. México. 2012b.

Elbers, J. (Edit.). *Las áreas protegidas de América Latina: situación actual y perspectivas para el futuro*. UICN. Quito, Ecuador. 2011.

Elizondo, C. y D. López. *Las áreas voluntarias de conservación en Quintana Roo, Corredor Biológico Mesoamericano*. Serie Acciones, Número 6. Conabio. México. 2009.

Escobar, F., P. Koleff y M. Rös. Evaluación de capacidades para el conocimiento: el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso. En: Conabio-PNUD. *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México. 2009.

Espinosa, D., S. Ocegueda, et al. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species, 2012.1*. The IUCN Species Survival Commission. 2012. Disponible en: [www.iucnredlist.org/about/summary-statistics](http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics). Fecha de consulta: julio de 2012.

Jolon-Morales, M.R. *Estudio analítico del impacto de las acciones de extracción y tráfico de vida silvestre en la región de la Selva Maya*. Informe Final Consultoría. Conap, Conanp, MRNMA, CATIE. Guatemala. 2008.

Koleff, P., J. Soberón, et al. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

León, Y.M. y K.A. Bjorndal, K.A. Selective feeding in the hawksbill turtle, an important predator in coral reef ecosystems. *Marine Ecology Progress Series* 245: 249-258. 2002.

March, I.J., M.A. Carvajal, R.M. Vidal, J.E. San Román, G. Ruiz, et al. Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

May, R. How many species are there on earth? *Science* 241: 1441-1449. 1988.

Melo, C. *Áreas Naturales Protegidas de México en el Siglo XX*. Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos: 6. Medio Ambiente. Instituto de Geografía, UNAM. México. 2002.

OECD. *OECD Environmental Data Compendium 2008*. France. 2008. Disponible en: [www.oecd.org/dataoecd/30/18/41069197.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/30/18/41069197.pdf). Fecha de consulta: agosto de 2008.

Piñero, D., et al. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: Conabio. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2008.

PNUMA. *Anuario 2010*. Kenia. 2011.

Rzedowski, J. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. 1998.

Sánchez, G.J.J. Diversidad del maíz y el teocintle. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Conabio. México. 2011.

Sarukhán, J., et al. *Capital Natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Conabio. México. 2009.

Secretaría de la Convención de Ramsar. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 2006.

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*. Edición 2008. México. 2009.

Semarnat. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación. 2010 (30 de diciembre).



# ATMÓSFERA

# ATMÓSFERA

A lo largo de su historia la humanidad ha buscado el disfrute de una vida con mayor bienestar y comodidad. Sin embargo, el desarrollo que ha experimentado para alcanzarlo, ha ido acompañado de consumos masivos de recursos naturales y energéticos, así como de la generación de una variedad enorme de residuos y emisiones a la atmósfera que han causado una extensa degradación ambiental. Históricamente los residuos generados por las actividades humanas se han descargado al ambiente con la idea errónea de que tarde o temprano se degradarán o desaparecerán. El resultado es que actualmente las huellas de la actividad humana son evidentes en prácticamente cualquier lugar, incluso en aquellos que se encuentran alejados de los sitios donde se generan esos residuos. Un buen ejemplo de problemas ambientales que tienen implicaciones tanto locales como globales son los atmosféricos, de los cuales, 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.

La contaminación atmosférica tiene efectos a nivel local, regional y global. Varios países como Japón, China y México enfrentan, desde hace tiempo, problemas de calidad del aire en sus principales zonas metropolitanas; en el caso particular de México destaca el Valle de México como el más conocido y documentado. Además de los efectos locales asociados a la mala calidad del aire en la salud de las personas, también se presentan efectos a nivel regional, como la afectación de los bosques y ecosistemas acuáticos debido a la lluvia ácida 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 (PNUMA, 2002).

Ante esta situación, resulta fundamental contar con información confiable y actual de los temas más relevantes relacionados con la atmósfera que permita tomar acciones efectivas a nivel local y global. En este contexto, el presente capítulo incluye información sobre las emisiones de contaminantes a la atmósfera en México, la normatividad vigente relacionada con ellos y una descripción de la calidad del aire en las ciudades y zonas urbanas más importantes del país en los últimos años. También se ha incluido una sección sobre el cambio climático global, sus evidencias y consecuencias, así como las medidas que se han tomado para enfrentarlo y por último una sección sobre la disminución del espesor de la capa de ozono estratosférico. Por su naturaleza y efectos mundiales, la información relacionada con el cambio climático y el agotamiento de la

capa de ozono estratosférico no se restringe a la situación de México sino que se da un panorama global.

## CALIDAD DEL AIRE

La gestión de la calidad del aire requiere información de diversos tipos, destacando la que se refiere a la identificación de los principales generadores de emisiones, del volumen y composición de éstas, así como de la concentración de los contaminantes en la atmósfera. Esta información, que es la base de los programas tendientes a mejorar la calidad del aire, proviene principalmente de los inventarios de emisiones 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, tanto local como 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). Siete años más tarde se 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 y III) los inventarios 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 Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas (Semarnat, 2005; INE, Semarnat, 2005). En el año 2006 se publicó el primer Inventario Nacional de Emisiones, que incluye información del año 1999, desagregada por fuente de emisión de contaminantes y para todos los estados y municipios del país (INE, Semarnat, 2006). En el año 2011 se publicó el más reciente INEM con datos de 2005, el cual presenta la estimación de las emisiones de contaminantes por fuente, por estado y municipio. La información de los INEM se concentra en el Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México (SINEA).

Este capítulo se enfocará con mayor detalle a los resultados del INEM 2005. La información sobre inventarios locales elaborados para algunas zonas metropolitanas y ciudades del país puede consultarse directamente en sus respectivos Programas para Mejorar la Calidad del Aire que han sido desarrollados. De acuerdo con el INEM, en 2005 se emitieron alrededor de 71.2 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales, 22% fueron emitidos por fuentes naturales<sup>1</sup> y 78% por fuentes antropogénicas. Las fuentes naturales emitieron principalmente compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno. Aunque las emisiones de fuentes naturales fueron significativas en cuanto a volumen, se distribuyen ampliamente en todo el territorio nacional, en contraste con las antropogénicas que cobran mayor 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.

<sup>1</sup> Fuentes naturales: incluyen fuentes biogénicas como la vegetación y la actividad microbiana del suelo. En 2005 no se reportaron emisiones por actividad volcánica -otra fuente importante de emisiones, aunque intermitente-, ya que no se registró una actividad significativa.

El 89% del total de contaminantes emitidos por fuentes naturales en 2005 correspondió a compuestos orgánicos volátiles provenientes de la vegetación y el restante 11% fue de óxidos de nitrógeno generados por la actividad microbiana del suelo. En el caso de las fuentes antropogénicas, el mayor volumen emitido provino de las fuentes móviles carreteras<sup>2</sup> (61%), seguidas por las fuentes de área<sup>3</sup> (9%), las fuentes fijas<sup>4</sup> (7%) y las fuentes móviles no carreteras<sup>5</sup> (1%; Figura 5.1; **IB 1.1-2**; [Cuadro D3\\_AIRE01\\_01\\_D](#)).



Considerando sólo a las fuentes antropogénicas, los contaminantes emitidos en mayor proporción fueron el monóxido de carbono (CO; 41.9 millones de toneladas; 76% del total), los compuestos orgánicos volátiles (COV; 5.2 millones de toneladas;

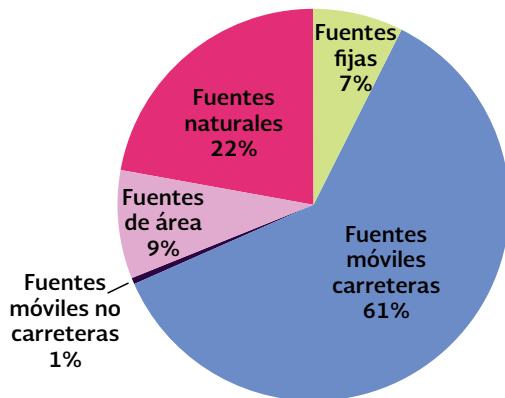
9%), el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>; 3.1 millones de toneladas; 6%) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>, 2.8 millones de toneladas; 5%). Al resto de los contaminantes correspondió un porcentaje menor al 2% en cada uno de los casos (Figura 5.2; **IB 1.1-2**).



En 2005, la mayor parte de las emisiones antropogénicas fueron generadas por los vehículos automotores (fuentes móviles carreteras; 78.3% del total). Este tipo de fuentes emitieron principalmente CO (91.5% del CO total emitido por todas las fuentes), NO<sub>x</sub> (66.4%) y COV (59.3%; Figura 5.3). Aunque con menor porcentaje, debe mencionarse también la contribución de las fuentes de área (11.5% del total de contaminantes de las fuentes antropogénicas), que produjeron principalmente CO y COV resultado

### Emisión nacional de contaminantes por fuente, 2005

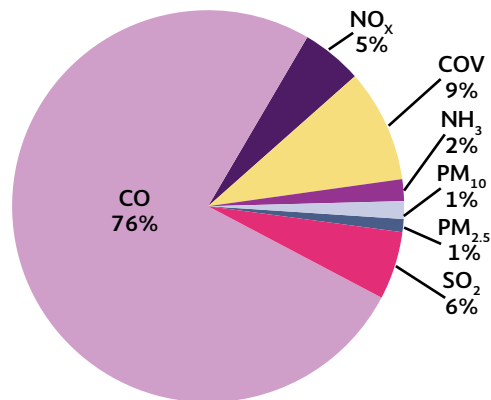
Figura 5.1



**Fuente:** Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

### Emisión nacional de contaminantes de origen antropogénico por contaminante, 2005

Figura 5.2



**Fuente:** Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

<sup>2</sup> Fuentes móviles carreteras: incluyen autos particulares (tipo sedán), camionetas Pick-up, vehículos privados y comerciales, autobuses de transporte urbano, tractocamiones, taxis, camionetas de transporte público de pasajeros y motocicletas.

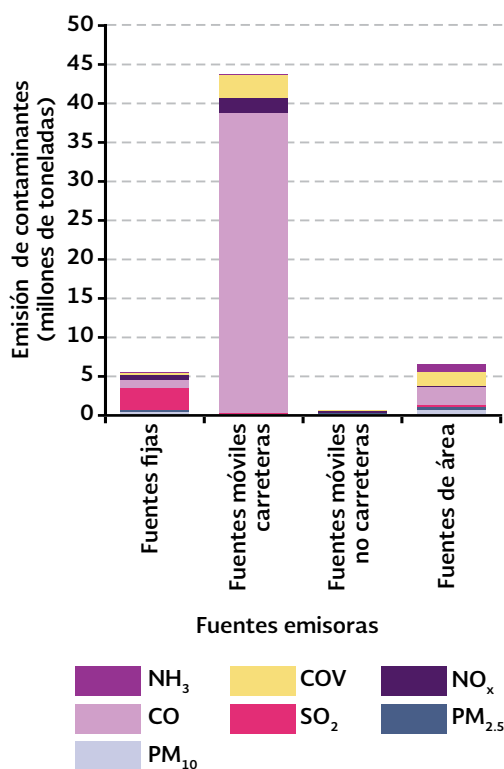
<sup>3</sup> Fuentes de área: incluyen combustión agrícola y doméstica, artes gráficas, asfaltado, lavado en seco, pintura automotriz, pintura para señalización vial, recubrimiento de superficies, uso doméstico de solventes, limpieza de superficies industriales, manejo y distribución de gas licuado de petróleo, gasolinas y diesel, actividades de construcción, asados al carbón, panificación, aplicación de fertilizantes y plaguicidas, corrales de engorda, ganaderas de amoníaco, labranza, aguas residuales, incendios de construcciones, incendios forestales, emisiones domésticas de amoníaco, esterilización de material hospitalario, cruces fronterizos, terminales de autobuses y quemas agrícolas.

<sup>4</sup> Fuentes fijas: incluyen a las industrias del petróleo y petroquímica, química (incluye plásticos), producción de pinturas y esmaltes, metalúrgica y siderúrgica, automotriz, celulosa y papel, cemento y cal, asbesto, vidrio, alimentos y bebidas, textil, madera, generación de energía eléctrica, residuos peligrosos, hospitales y producción de asfalto, entre otras.

<sup>5</sup> Fuentes móviles no carreteras: incluyen aviación, equipo básico en aeropuertos, embarcaciones marinas, locomotoras de arrastre, locomotoras de patio, maquinaria de uso agropecuario y para construcción.

## Emisión de contaminantes de origen antropogénico, por fuente y contaminante, 2005

Figura 5.3



Fuente: Semarnat. Inventario Nacional de Emisiones de México 2005. México, 2012.

principalmente de la combustión doméstica. Les siguieron las fuentes fijas (9.5% del total de contaminantes emitidos por fuentes antropogénicas), quienes produjeron la mayor parte del SO<sub>2</sub> en el país (91%), principalmente por la generación de energía eléctrica y la industria del petróleo y petroquímica.

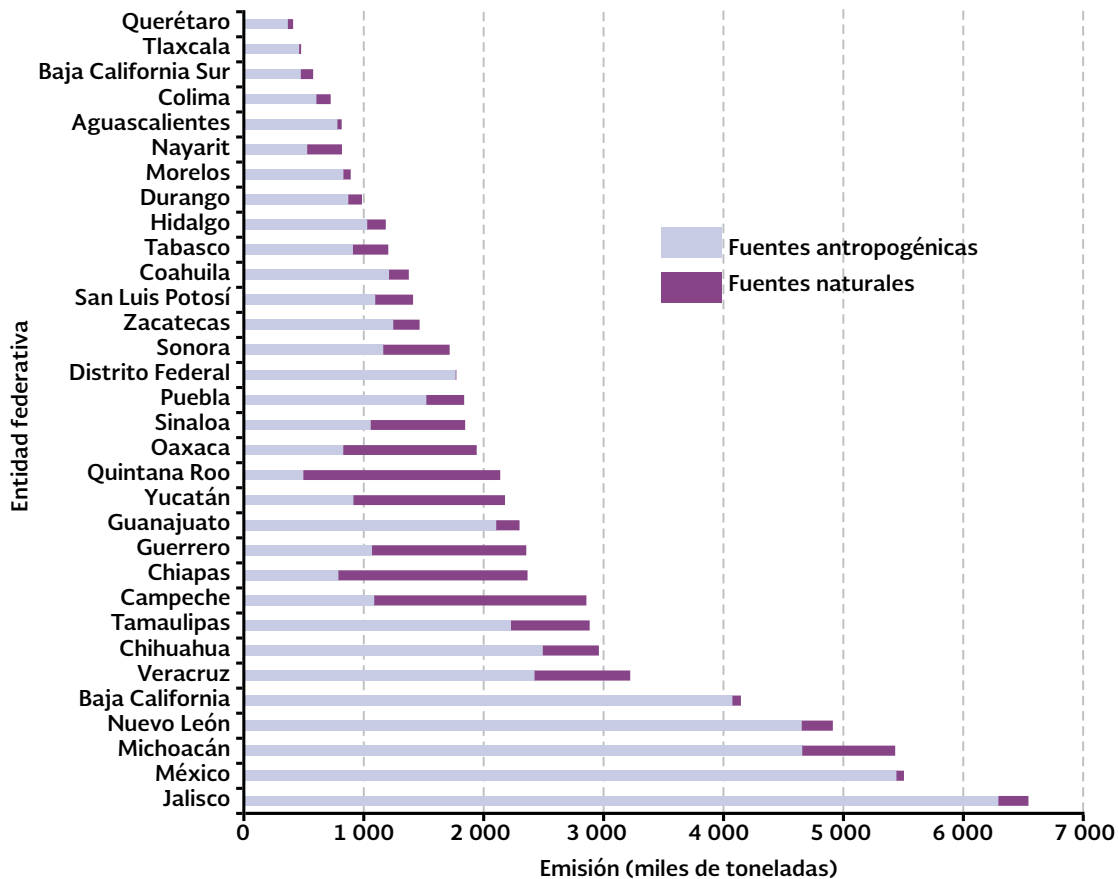
Considerando las emisiones de fuentes naturales y antropogénicas, las cinco entidades federativas que emitieron una mayor cantidad de contaminantes fueron Jalisco, estado de México, Michoacán, Nuevo León y Baja California (Figura 5.4). Sus contribuciones a la emisión total nacional oscilaron entre 5.8 y 9.2%. En contraste, Querétaro, Tlaxcala y Baja California Sur emitieron, cada una, menos de uno por ciento del total nacional.

Cuando se analiza la emisión de contaminantes per cápita<sup>6</sup> se observa que a nivel nacional, en el año 2005, cada habitante emitió en promedio alrededor de 0.68 toneladas. Si sólo se consideran las emisiones de fuentes naturales, la cifra es de 0.15 toneladas por habitante, mientras que las emisiones estrictamente antropogénicas fueron de 0.53. La emisión per cápita total por municipio y delegación política, muestra que en 89% de los municipios se generaron entre 0.01 y 2 toneladas de contaminantes en 2005. Los cinco municipios que reportaron una mayor emisión per cápita fueron: Calakmul (23.9 toneladas; en Campeche), San Javier (20.05; Sonora), Santa María Chimalapa (18.5; Oaxaca), San Juan Lajarcia (15.6; Oaxaca) y La Colorada (15; Sonora), todos ellos con emisiones generadas principalmente por fuentes naturales (Mapa 5.1).

Con respecto a las emisiones totales por municipio y contaminante, en el caso de los NO<sub>x</sub> se observa que alrededor del 49% de los municipios del país emitieron en 2005 entre 5 y 500 toneladas, acumulando poco más de 236 mil toneladas que representan el 5.2% del total nacional emitido de ese contaminante (Mapa 5.2). Si a estos municipios se suman los que emitieron hasta 5 mil toneladas, se alcanza 42% de las emisiones totales nacionales y el 93% de los municipios del país. De esta manera, el restante 58% de las emisiones de NO<sub>x</sub> fueron generadas por tan sólo el 7% de los municipios. Entre estos últimos, destacan los municipios de Nava (Coahuila), Monterrey (Nuevo León), Tijuana y Mexicali (ambos en Baja California), Carmen (Campeche) y Toluca (México) con emisiones de entre 50 y 108 mil toneladas.

En lo que se refiere al SO<sub>2</sub>, 50% se concentró en cinco municipios: Carmen (Campeche), Tula de Allende (Hidalgo), Nava (Coahuila), Tuxpan (Veracruz) y Manzanillo (Colima), en todos ellos, la mayor parte de las emisiones fueron generadas por las fuentes fijas, en particular por las plantas de generación de electricidad

<sup>6</sup> La emisión per cápita se calculó con base en los datos del INEM que corresponden a 2005 y la población por municipio del mismo año.



Fuente: Semarnat. Inventario Nacional de Emisiones de México 2005. México. 2012.

y por las refinerías de petróleo (Mapa 5.3). La mayoría de los municipios del país (78%) emitió entre 0.02 y 60 toneladas de SO<sub>2</sub>, que representan apenas el uno por ciento del total.

Por otro lado, en el caso de los COV, 44% de los municipios generaron cantidades que fueron de las cinco a las dos mil toneladas, 40% emitió entre dos mil y diez mil toneladas, 15.8% entre diez mil y ochenta mil toneladas y 0.2% entre ochenta mil y 570 mil toneladas (Mapa 5.4). Los seis municipios que emitieron más COV fueron: Calakmul (Campeche), Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco (ambos en Quintana Roo), Ocosingo (Chiapas) y Hopelchén y Champotón (ambos en Campeche), los

cuales generaron poco más de 2.48 millones de toneladas de COV (equivalentes a 13% del total emitido), provenientes principalmente de fuentes naturales<sup>7</sup>.

El CO fue generado en mayor cantidad por las fuentes móviles en municipios pertenecientes a ciudades donde el número de vehículos es elevado. Los municipios que emitieron más CO fueron: Tijuana (Baja California), Guadalajara (Jalisco), Monterrey (Nuevo León), Toluca (México), Mexicali (Baja California) y Morelia (Michoacán; Mapa 5.5).

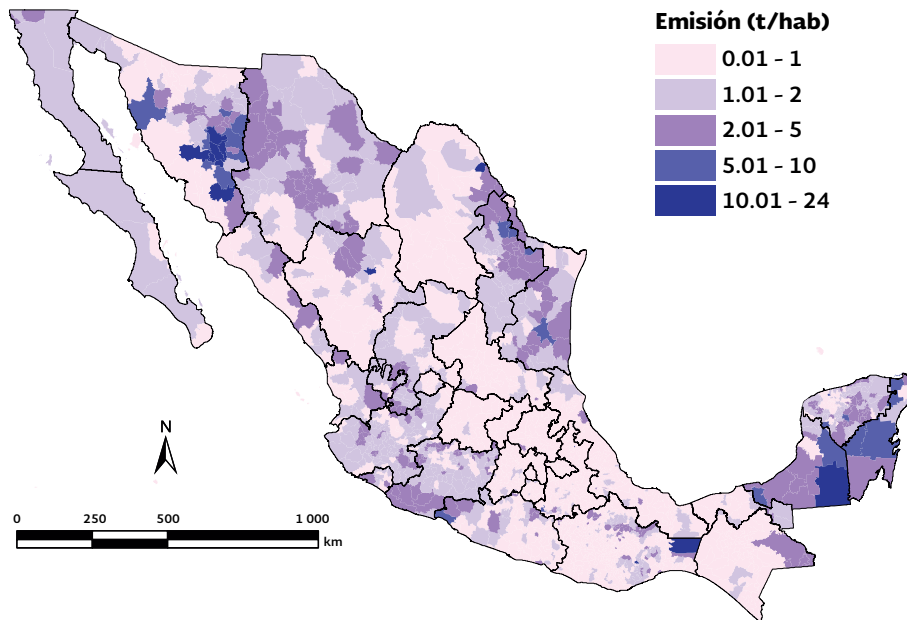
En lo que se refiere a las PM<sub>10</sub> el 95% de los municipios del país emitieron entre una y 1 600 toneladas, lo que representa en conjunto

<sup>7</sup> Los COV naturales son isoprenos y monoterpenos y pueden ocasionar reacciones de tipo alérgico e incluso lesiones neurológicas graves.



## Emisión per cápita de contaminantes por municipio, 2005

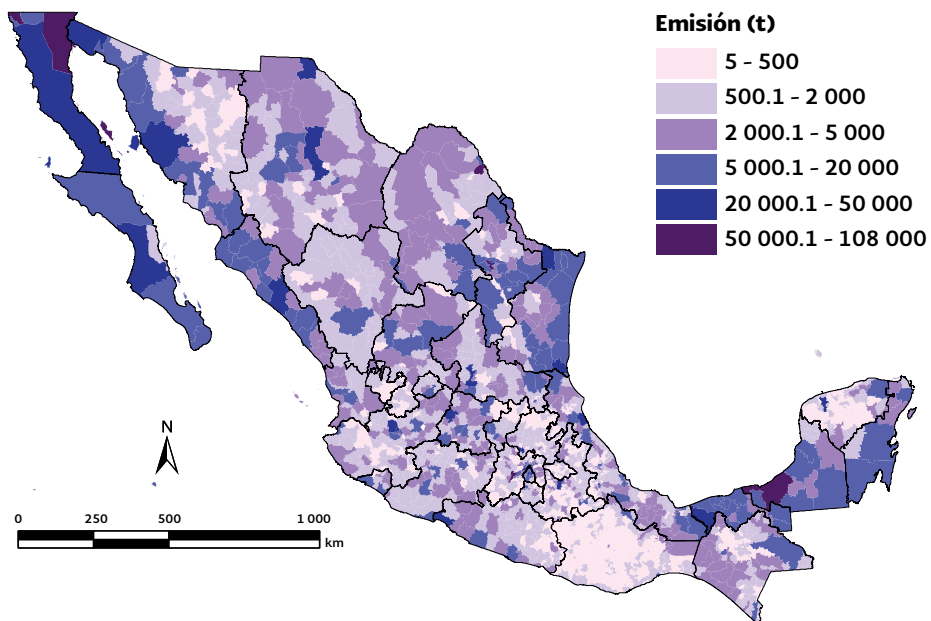
Mapa 5.1



Fuente:  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

## Emisión de óxidos de nitrógeno por municipio, 2005

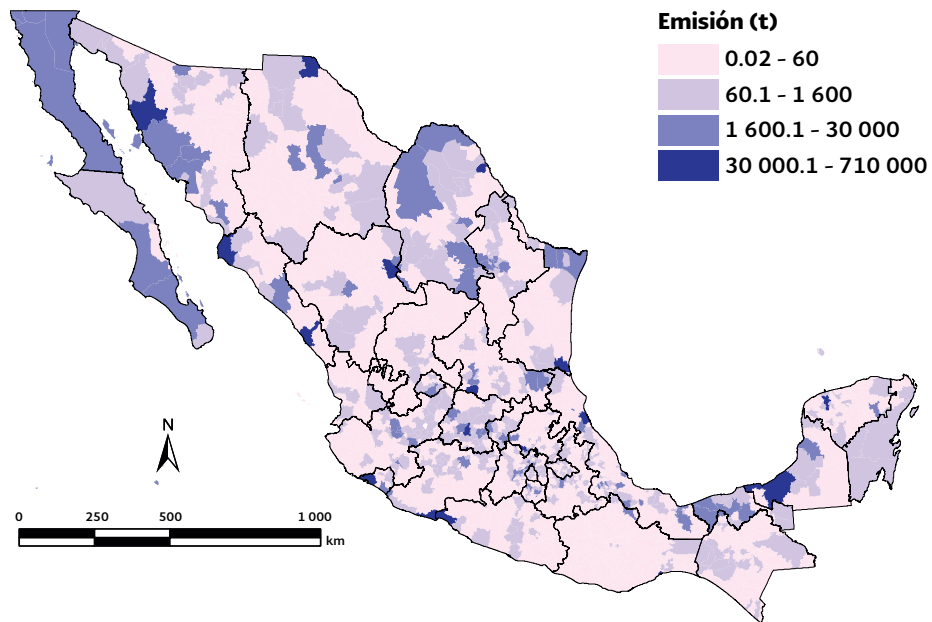
Mapa 5.2



Fuente:  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

## Emisión de bióxido de azufre por municipio, 2005

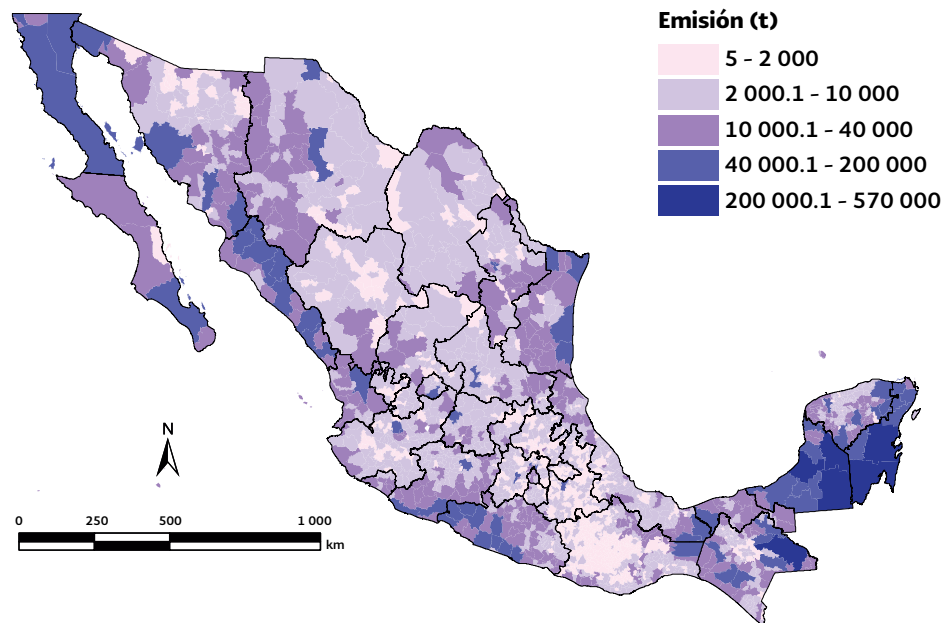
Mapa 5.3



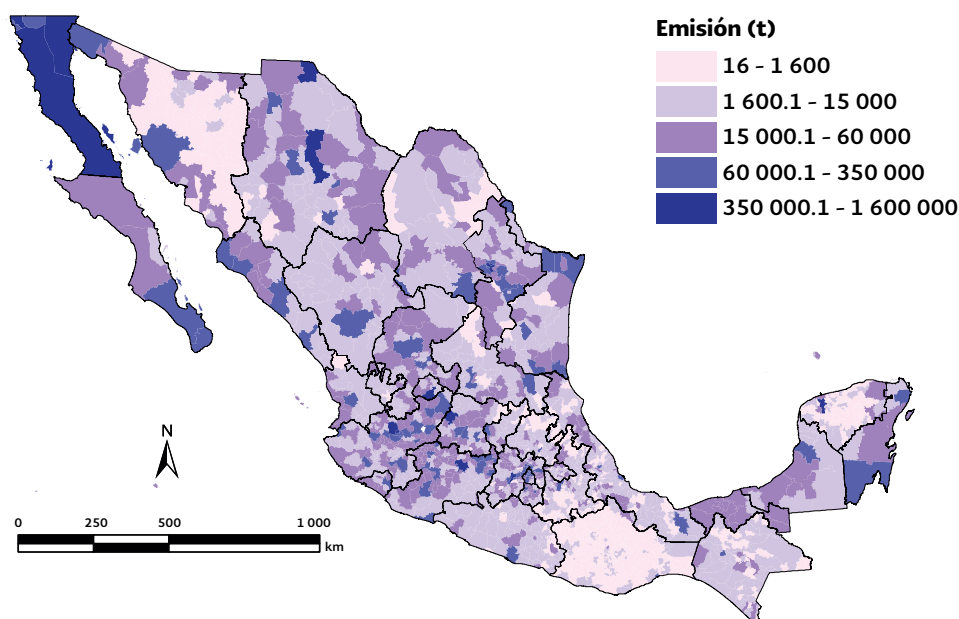
**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México, 2012.

## Emisión de compuestos orgánicos volátiles por municipio, 2005

Mapa 5.4



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México, 2012.



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

el 52% de la emisión total del contaminante (Mapa 5.6). Los cinco municipios donde se emitió la mayor cantidad de  $PM_{10}$  son: Monclova (Coahuila), Tula de Allende (Hidalgo), Jaltipan (Veracruz), Manzanillo (Colima) y Culiacán (Sinaloa). Respecto a la emisión de  $PM_{2.5}$ , el 97% de los municipios emitieron entre una y 1 600 toneladas, generando entre todos ellos el 56% del total emitido (Mapa 5.7). Los municipios que emitieron el mayor volumen de este contaminante son: Monclova (Coahuila), Tula de Allende (Hidalgo), Tuxpan (Veracruz), León (Guanajuato) y Manzanillo (Colima). Ambos tipos de partículas fueron generados principalmente por las fuentes fijas y de área.

El amoníaco ( $NH_3$ ) es producido principalmente por las actividades ganaderas, 95% de los municipios produjeron entre 0.8 y 1 600 toneladas, acumulando poco más de 592 mil toneladas (que equivalen a 59% del total de  $NH_3$  emitido; Mapa 5.8). Los cinco municipios con las mayores emisiones fueron: Nava (Coahuila); San Juan de los Lagos (Jalisco),

Tepatitlán de Morelos (Jalisco), Culiacán (Sinaloa) y Huajuapán de León (Oaxaca), que emitieron entre 7 000 y 11 200 toneladas.

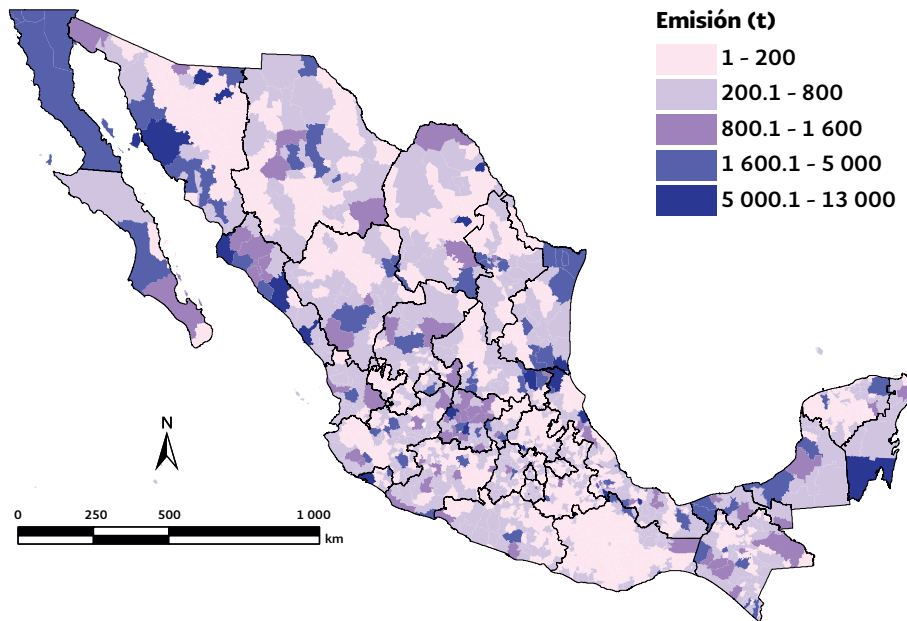
Si se revisan las emisiones totales generadas por actividades humanas, a nivel municipal, se observa que 69% de los municipios emitieron entre 25 y 10 mil toneladas de contaminantes, acumulando un total de alrededor de 4.4 millones de toneladas (8% del total emitido; Mapa 5.9). Los cinco municipios que generaron mayores cantidades de contaminantes fueron Tijuana (Baja California), Guadalajara (Jalisco), Monterrey (Nuevo León), Toluca (México) y Mexicali (Baja California) que en total emitieron el 12% nacional.

### EMISIONES EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

En la ZMVM se han estimado las emisiones de contaminantes para el periodo 2000-2010. Los resultados que se enfatizan en esta sección

## Emisión de partículas menores a 10 micrómetros por municipio, 2005

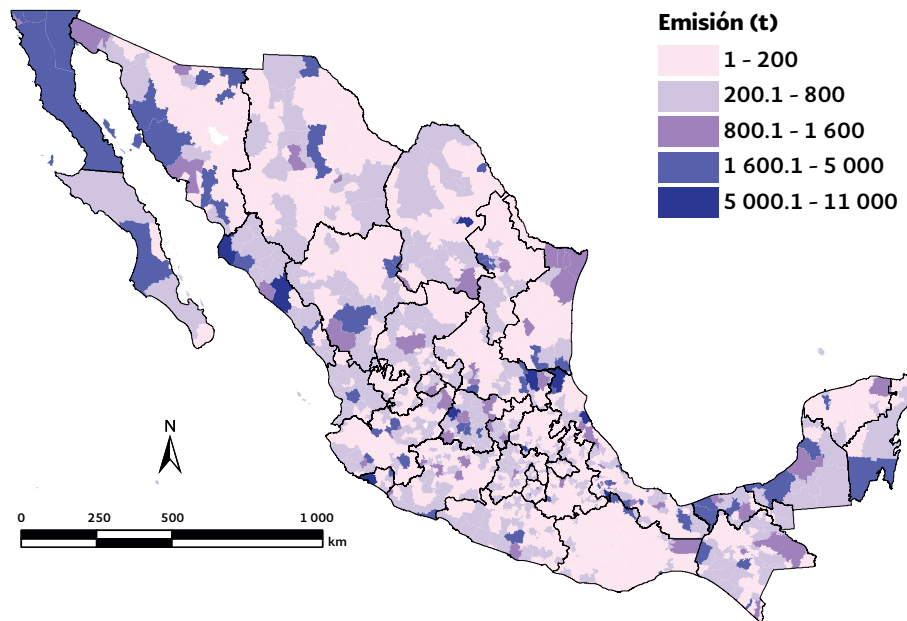
Mapa 5.6



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

## Emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros por municipio, 2005

Mapa 5.7



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

son los obtenidos en 2010, mientras que los cambios ocurridos toman como referencia el año 2000<sup>8</sup>.

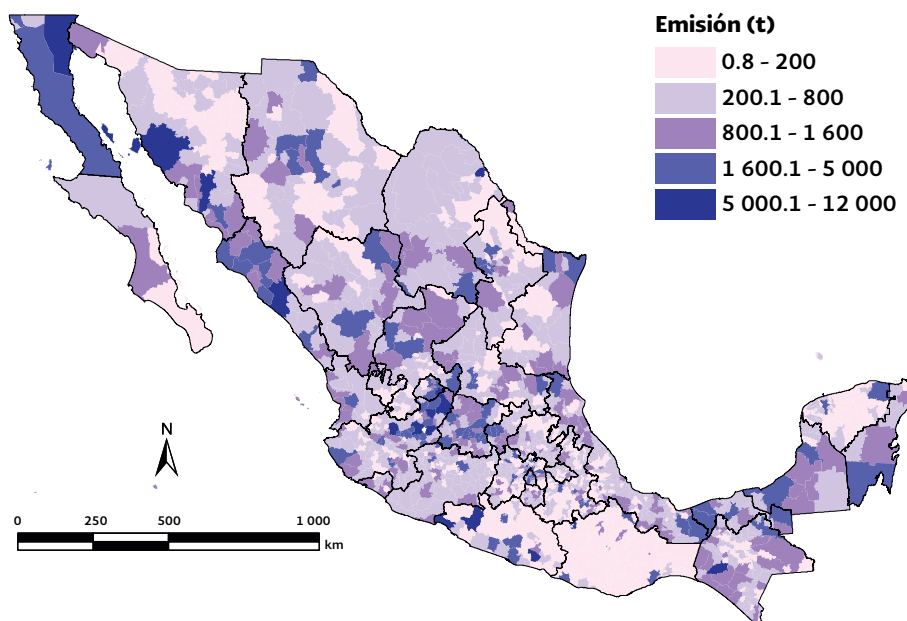
Considerando el total de contaminantes emitidos en el periodo 2000-2010, hubo una reducción importante en la emisión (41%) entre esos años (Figura 5.5). El CO ha sido, consistentemente, el contaminante que más se ha emitido en la ZMVM, con valores que han oscilado entre el 66 y 79% del total de las emisiones (Figura 5.5). No obstante, la emisión de este gas es la que, comparativamente con los restantes contaminantes, ha mostrado la disminución más drástica en su volumen de emisión, al pasar de cerca de 3.3 millones de toneladas en 2000 a 1.6 millones de toneladas en 2010, lo cual ha sido resultado principalmente de la incorporación de nuevas tecnologías en un mayor número de vehículos. Esto también se refleja en el caso de las emisiones de COV y de NO<sub>x</sub> que presentan

una reducción del 25 y 8%, respectivamente, en el mismo periodo. Aunque el SO<sub>2</sub> se emite en menor proporción, sus emisiones también han disminuido, debido principalmente a la reducción en el contenido de azufre en los combustibles y al cambio por combustibles gaseosos y menos contaminantes (GDF, 2012). Las PM<sub>10</sub> mostraron un ligero incremento en el periodo al pasar de 0.8% en el 2000 a 1.2% en 2010.

En lo que se refiere al origen de los contaminantes, en 2010 el 61% de las emisiones provino de las fuentes móviles, siendo el CO el contaminante que representó la mayor proporción de las emisiones de dicha fuente (74%; Figura 5.6). Las altas emisiones asociadas a las fuentes móviles, pueden deberse a factores como el número de vehículos en circulación, la cantidad de combustible que consumen y las emisiones de vehículos sin tecnologías de control

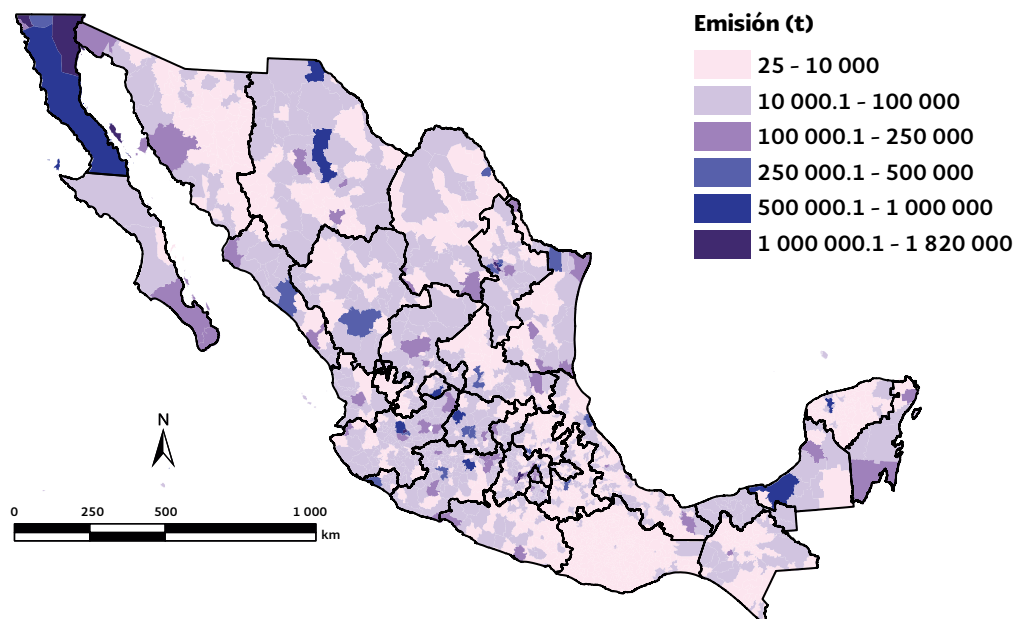
### Emisión de amoniaco por municipio, 2005

Mapa 5.8



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

<sup>8</sup> La información para hacer este análisis fue publicada en el Inventario de Emisiones de la ZMVM 2010, el cual incluye un nuevo cálculo de las emisiones de todos los años anteriores usando la misma metodología.



**Fuente:**  
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2005*. México. 2012.

incorporadas (por ejemplo, en el año 2010, todavía el 11% de los vehículos a gasolina no contaban con sistemas de control de emisiones). Los autos particulares por ser los más numerosos, generan la mayor parte de las emisiones de las fuentes móviles; no obstante los tractocamiones, aunque menos abundantes, contribuyen en gran proporción con las emisiones de partículas debido a su consumo de diesel (GDF, 2012).

A las fuentes móviles le siguieron en importancia las fuentes de área (que emitieron 27% del total de los contaminantes de la ZMVM), las fuentes puntuales (9%) y la vegetación y los suelos (3% de las emisiones).

### NORMATIVIDAD Y MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

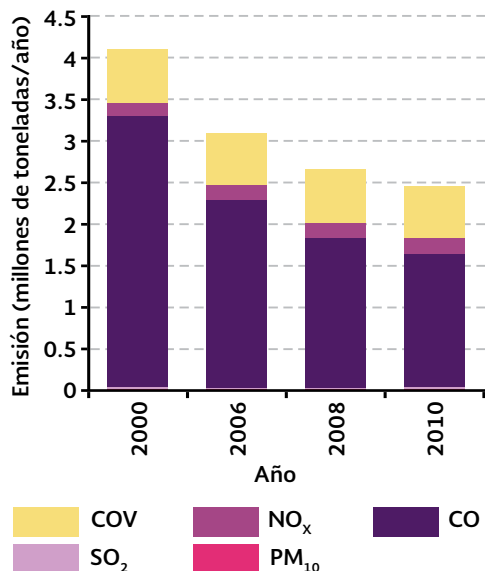
Los contaminantes atmosféricos tienen efectos negativos sobre la salud de la población, entre ellos, las enfermedades respiratorias y los problemas cardiovasculares

(ver Recuadro *Efectos de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la salud*). Por esta razón, en distintas zonas metropolitanas y poblaciones del país se monitorea la concentración atmosférica de los principales contaminantes:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ , bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ),  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , partículas suspendidas totales (PST) y plomo (Pb). Para cada uno de ellos se cuenta con un estándar o norma de calidad del aire que establece las concentraciones máximas que no deben sobrepasarse en un periodo definido, con el objeto de garantizar la protección de la salud de la población, incluyendo a 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 de partículas, en la que se incluyen por primera vez las  $\text{PM}_{2.5}$  (DOF, 2005).

## Emisión de contaminantes en la Zona Metropolitana del Valle de México<sup>1</sup> 2000 - 2010

Figura 5.5



**Nota:**

<sup>1</sup> La ZMVM incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del estado de México pero, para fines de comparación con los inventarios de años anteriores, en esta gráfica sólo se incluyen 18 municipios del estado de México además de todas las delegaciones del Distrito Federal.

**Fuente:**

GDF. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010*. México. 2012.

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.

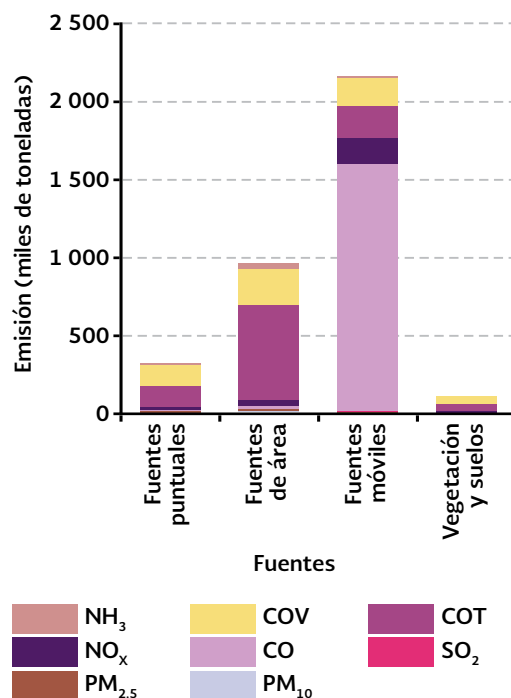
Para conocer la concentración de contaminantes, se han establecido estaciones y redes de monitoreo atmosférico. Actualmente se cuenta con equipos instalados para la medición de contaminantes atmosféricos en 82 zonas metropolitanas y poblaciones (Mapa 5.10; **IB 1.1-9; IC 6**). Tomando en cuenta sólo a las poblaciones con más de cien mil habitantes, existen 35 localidades que no cuentan con monitoreo de la calidad del aire en el país. En



todas las estaciones y redes de monitoreo, los contaminantes se miden aplicando procedimientos estandarizados a nivel internacional. La red más completa y antigua se localiza en la ZMVM, que cuenta con 26 estaciones de monitoreo automático (EMA), 2 estaciones de monitoreo manuales, 8 mixtas y 2 unidades móviles. Las estaciones de monitoreo registran, entre otras variables, las concentraciones de O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, 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.

## Emisión de contaminantes atmosféricos por fuente en la Zona Metropolitana del Valle de México<sup>1</sup>, 2010

Figura 5.6



**Nota:**

<sup>1</sup> Los totales no coinciden con las emisiones de 2010 presentadas en la gráfica 5.5 debido a que aquí se considera la ZMVM completa (16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del estado de México).

**Fuente:**

GDF. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010*. México. 2012.

Las poblaciones que habitan en zonas con elevada concentración de contaminantes están expuestas a un mayor riesgo de contraer enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica. Por ejemplo, existen estudios que han analizado el efecto de las emisiones de partículas sobre la salud de las personas, en los que se plantea que un incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , respectivamente) causan un aumento en la mortalidad de 1.83 y 1.48% respectivamente (García-Suástegui *et al.*, 2011). Análisis epidemiológicos en Estados Unidos sugieren que existe un incremento de cáncer de pulmón asociado a la exposición a contaminantes atmosféricos y, en particular, a las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .

Asimismo se ha reportado que la exposición de mujeres embarazadas a  $\text{PM}_{2.5}$  puede generar un déficit en el crecimiento (peso y estatura) de los recién nacidos. El estudio también encontró evidencia de que los fetos masculinos son más sensibles a la exposición a  $\text{PM}_{2.5}$  si son expuestos a una concentración promedio de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ya que nacen con un déficit promedio de 189 gramos de peso y 1.1 centímetros de estatura, en comparación con los efectos sobre los fetos femeninos cuyo déficit al nacer es de 17 gramos y 0.36 centímetros (Jedrychowski, *et al.*, 2009).

Diversos análisis llevados a cabo en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) han encontrado una asociación entre las concentraciones de ozono y el

incremento en admisiones hospitalarias por asma. También reportan una correlación entre el incremento de mortalidad en la población total y grupos vulnerables como niños y adultos mayores (GDF, Semarnat, SSA, GEM, 2002).

Para la misma ZMVM se analizó la relación entre la presencia de aductos<sup>1</sup>, esto es, alteraciones del material genético por la incorporación de compuestos químicos, y la concentración de partículas ( $\text{PM}_{10}$ ) en el aire. El estudio encontró que los niveles de aductos en ADN de células sanguíneas fueron significativamente mayores en la época seca donde la concentración de  $\text{PM}_{10}$  fue mayor que en la época de lluvias (García-Suástegui *et al.*, 2011).

**Nota:**

<sup>1</sup> Los aductos son alteraciones del ADN que se producen cuando un compuesto químico se une a su cadena. La presencia de estos aductos se ha relacionado con un elevado riesgo de desarrollo de cáncer.

**Referencias:**

GDF, Semarnat, SSA, GEM. *Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*. México. 2002.

García-Suástegui, W. A., A. Huerta-Chagoya, Carrasco-Colín, K. L., Pratt, M., John, K., Petrosyan, P., Rubio, J., Poirier, M. y M. Gonsebatt. Seasonal variations in the levels of PAH-DNA adducts in young adults living in Mexico City. *Mutagenesis* 26: 385-391. 2011.

Jedrychowski, W., F. Perera, Mrozek-Budzyn, D., Mroz, E., Flak, E., Spengler, J., Edwards, S., Jacek, R., Kaim, I. y Z. Skolicki. Gender differences in fetal growth of new borns exposed prenatally to airborne fine particulate matter. *Environmental Research* 4: 447-456. 2009.



## Zonas metropolitanas o poblaciones con equipos instalados para el monitoreo de la calidad del aire, 2012

Mapa 5.10



**Fuente:**

Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, INE, Semarnat. México. 2012.

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 Ajacuba y Tepetitlán en Hidalgo, Guaymas y Navojoa en Sonora, que se enfocan en la medición de partículas. La lista completa de las estaciones de monitoreo y los contaminantes registrados

se pueden consultar en la Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.

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.

La difusión del Imeca se inició en 1986 a través de diversos medios y actualmente se transmite por radio, televisión, Internet y prensa escrita. Sin embargo, al no existir un documento oficial que definiera el significado y la utilidad del Imeca, así como los lineamientos para su generación, uso y difusión, no existió uniformidad de sus procedimientos entre los distintos generadores en los estados. Esto llevó a que en el Distrito Federal se elaborara la norma ambiental NADF-009-AIRE-2006 (GDF, 2006), 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 forman parte de la ZMVM. De acuerdo con esta norma, 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). Sin embargo, para analizar 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 la ZMVM, algunas de las medidas que se aplican, completa o parcialmente, 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.

### Interpretación del Imeca

Tabla 5.1

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. 2011. Disponible en: [www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=2&opcioninfoproductos=22](http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=2&opcioninfoproductos=22). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

## CALIDAD DEL AIRE EN LAS CIUDADES DEL PAÍS

Existen diversas formas de abordar el análisis de la calidad del aire. En este informe se empleó el número de días al año en los que se excede el valor de la norma asociada a cada contaminante, y los promedios anuales de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$  y CO. 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. Para

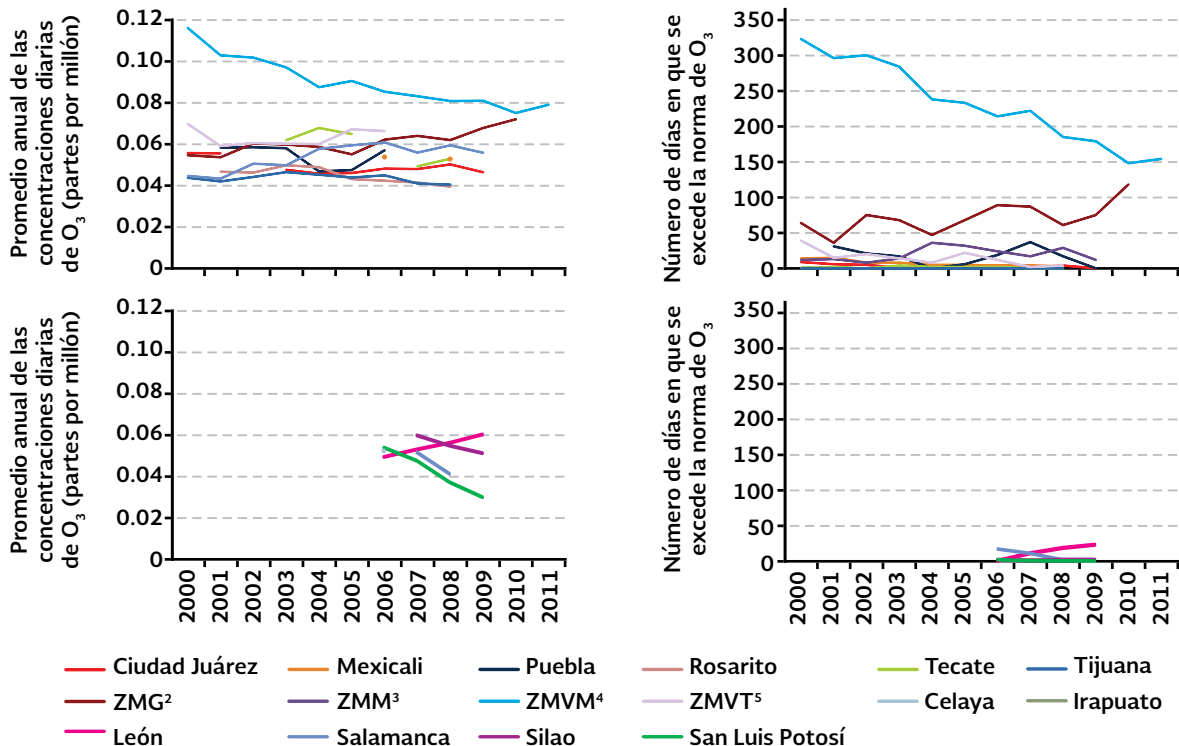
tener una imagen más integral de la calidad del aire, también se ha incluido aquí el número de días por año, en los que se excede la norma de cualquiera de los contaminantes criterio, ya que si por lo menos uno de los contaminantes excede sus niveles permitidos, la calidad del aire no es adecuada. En este capítulo se describe la calidad del aire de aquellas ciudades del país que cuentan con información confiable para realizar análisis adecuados.

Si se examina la frecuencia con la que se exceden los límites establecidos en las normas, los dos contaminantes más importantes en las ciudades con monitoreo son el  $O_3$  (Figura 5.7; Cuadro D3\_AIRE01\_06; IB 1.1-7) y las  $PM_{10}$  (Figura 5.8; IB 1.1-5). El  $O_3$  es el principal problema en la ZMVM, ya que el número de días que se rebasa la norma



### Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma horaria de ozono<sup>1</sup>, 2000 - 2011

Figura 5.7



**Notas:**

- <sup>1</sup> Norma (Modificación a la NOM-020-SSA1-1993): no exceder 0.11 ppm en una hora en un periodo de un año.
- <sup>2</sup> ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- <sup>3</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
- <sup>4</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- <sup>5</sup> ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

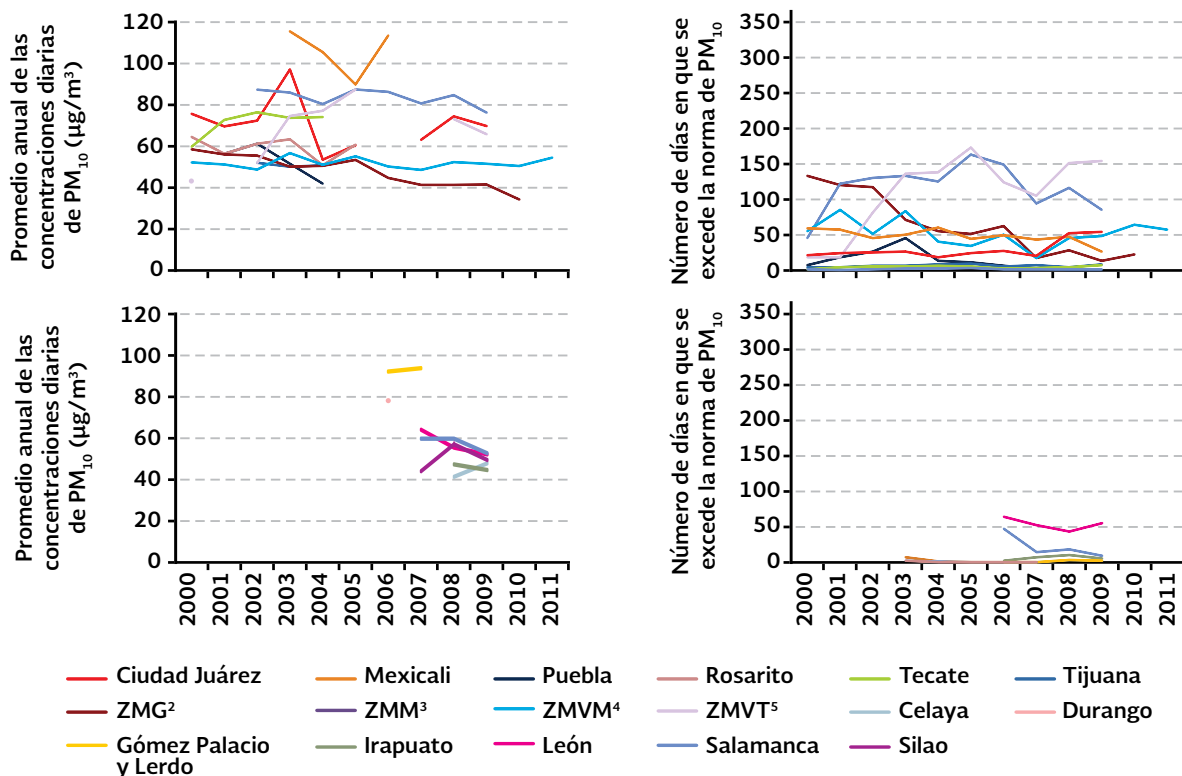
horaria aún es elevado (154 días en 2011, que representan 42% del año); no obstante es considerablemente más bajo si se compara con los registros de principios de la década pasada (por ejemplo, 323 días en el año 2000). La ZMG ha reportado para el periodo 2001-2010 valores de entre 36 y 118 días en que se excede la norma. Las demás ciudades han reportado valores menores a 40 días en los periodos para los que existe información. Las ZMVM, ZMM, ZMG y Rosarito muestran una tendencia de reducción de los promedios anuales de las concentraciones diarias de  $O_3$ , mientras que Ciudad Juárez, Puebla, Tecate, Tijuana y la ZMVT no mostraron cambios significativos (Figura 5.7; **IB 1.1-7**).



En el caso de las  $PM_{10}$ , aunque en algunas de las ciudades no se puede observar una clara tendencia o bien no hay cambios significativos, la ZMG es la única que reporta una mejora en el periodo 2000-2010. En contraste, la ZMVT incrementó significativamente el número de días en que se rebasa la norma en el periodo 2000-2010. Las ZMVT y ZMM son las que reportan el mayor número de días (154 y 85 días, respectivamente en 2009) en que se excede la norma diaria. En contraste, hay ciudades como Tijuana, Tecate, Rosarito, Celaya, Irapuato y Silao en las que la frecuencia con que se rebasa el límite permitido es muy baja (entre 1 y 8 días en 2009) o llega a cero en el caso de Puebla en 2008 y 2009 (Figura

### Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma<sup>1</sup> de 24 horas de partículas menores a 10 micrómetros, 2000 - 2011

Figura 5.8



**Notas:**

- <sup>1</sup> Norma (Modificación a la NOM-025-SSA1-1993): no exceder 120  $\mu g/m^3$  en 24 horas 2% de veces al año.
- <sup>2</sup> ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- <sup>3</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
- <sup>4</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- <sup>5</sup> ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

5.8; *Cuadro D3\_AIRE01\_06*; **IB 1.1-5**). En lo que se refiere a los promedios anuales de las concentraciones diarias, sólo la ZMG mostró una clara reducción, mientras que Ciudad Juárez, Mexicali, Rosarito, Tecate, ZMM, ZMVM y ZMVT se mantuvieron con niveles constantes. El resto de las ciudades no muestra una tendencia clara ya que aún cuentan con pocos datos (Figura 5.8; **IB 1.1-5**).

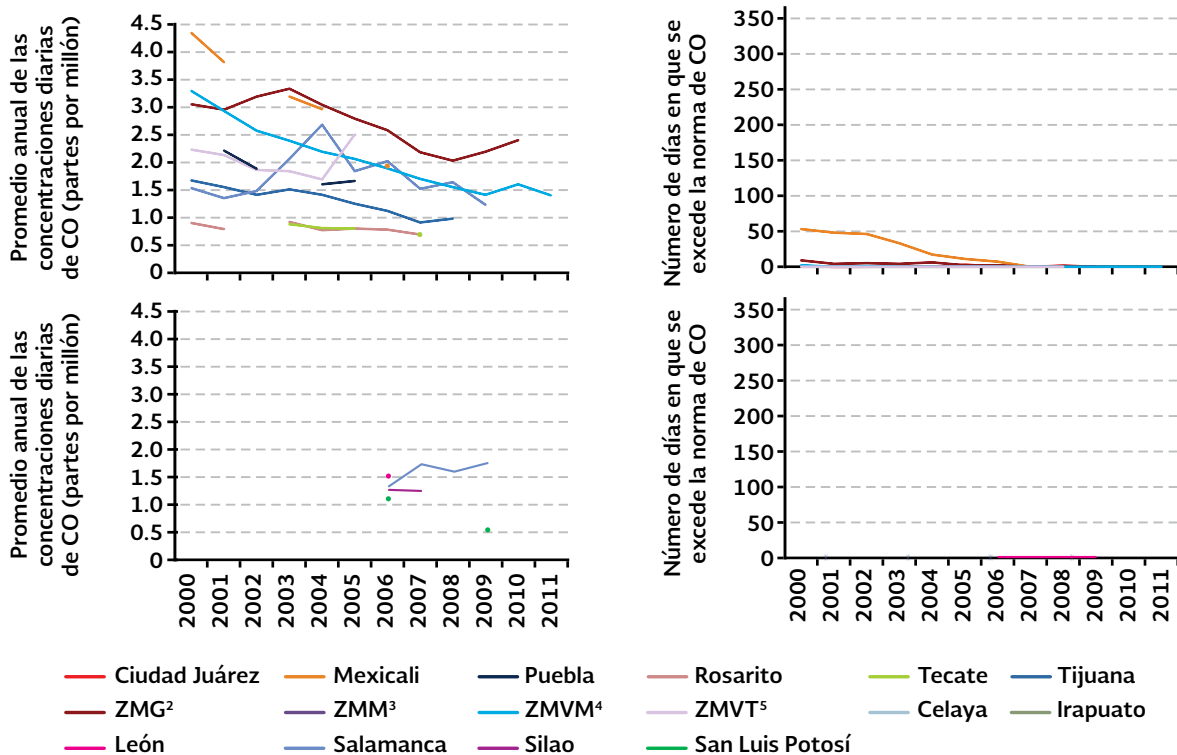
En los últimos años, la concentración atmosférica de CO no ha sido un problema grave en prácticamente ninguna de las ciudades con monitoreo. El número de días en que se rebasa el límite permitido de CO ha disminuido en algunas ciudades, como Mexicali y ZMG y se ha mantenido constante, entre 3 y cero días, en Ciudad Juárez, Puebla, Rosarito,

Tecate, Tijuana, ZMM, ZMVM y ZMVT (Figura 5.9; *Cuadro D3\_AIRE01\_06*; **IB 1.1-3**).

El SO<sub>2</sub> también está controlado en casi todas las ciudades en las que se mide; en el periodo reportado, prácticamente no se rebasó la norma ningún día, con excepción de Salamanca, que en el año 2000 reportó 51 días con niveles mayores a los permitidos; no obstante, en el 2009 ya no se excedió la norma ningún día en esa ciudad (Figura 5.10; *Cuadro D3\_AIRE01\_06*; **IB 1.1-6**). Reflejo de lo anterior fueron las concentraciones diarias relativamente bajas en todas las ciudades con monitoreo en el periodo, con la excepción ya señalada de Salamanca, que aunque reportaba concentraciones mayores, han disminuido significativamente en los últimos años.

**Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma<sup>1</sup> de 8 horas de monóxido de carbono, 2000 - 2011**

**Figura 5.9**



**Notas:**

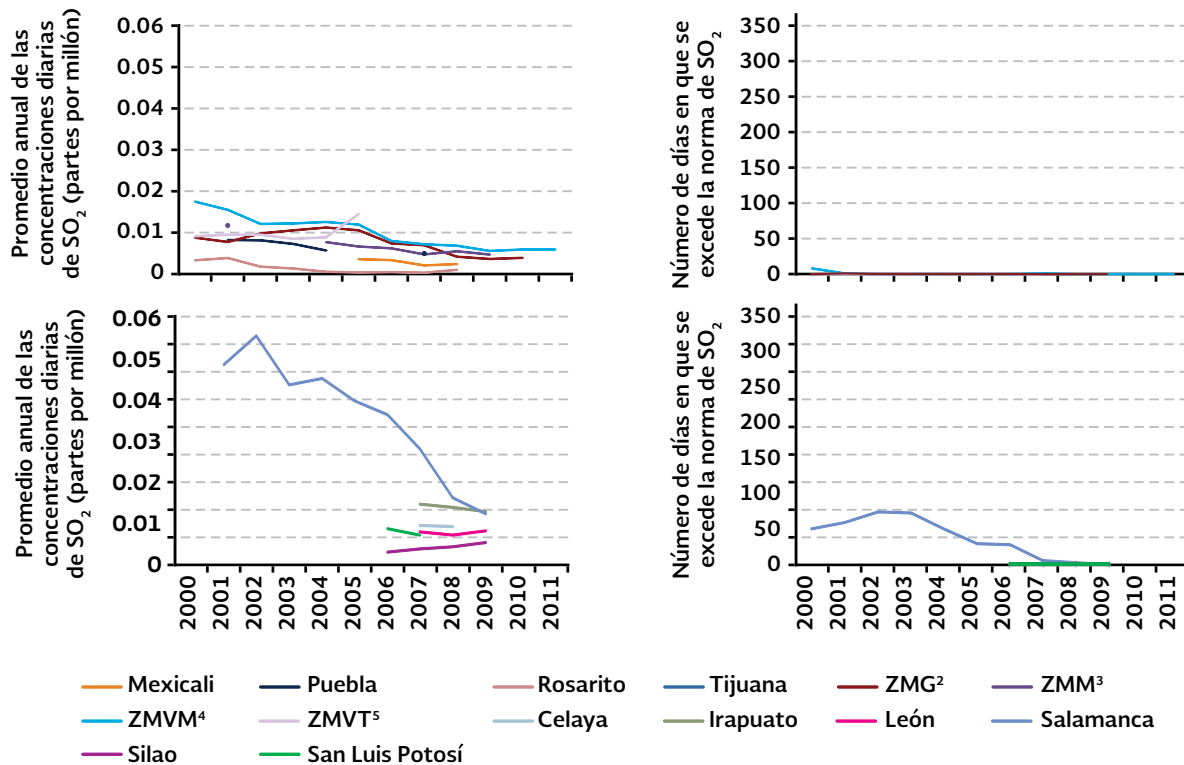
- <sup>1</sup> Norma (NOM-021-SSA1-1993): no exceder 11 ppm en promedio móvil de 8 horas una vez al año.
- <sup>2</sup> ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- <sup>3</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
- <sup>4</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- <sup>5</sup> ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

**Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma<sup>1</sup> de 24 horas de bióxido de azufre, 2000 - 2011**

**Figura 5.10**



**Notas:**

- <sup>1</sup> Norma (NOM-022-SSA1-1993): no exceder 0.13 ppm en 24 horas una vez a año.
- <sup>2</sup> ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- <sup>3</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
- <sup>4</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- <sup>5</sup> ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

El problema de la contaminación por NO<sub>2</sub> también está controlado, prácticamente en ninguna ciudad con monitoreo se rebasa la norma (sólo en la ZMG se rebasó la norma seis días en 2010); las concentraciones se han mantenido relativamente constantes y por debajo de 0.05 partes por millón en la mayoría de las ciudades (Figura 5.11; [Cuadro D3\\_AIRE01\\_06](#); **IB 1.1-4**).



El monitoreo de las partículas menores a 2.5 micrómetros es el más reciente. Entre 2004 y 2011, la ZMVM redujo ligeramente su concentración. En las restantes ciudades con monitoreo no puede apreciarse aún su tendencia por el escaso número de datos. El

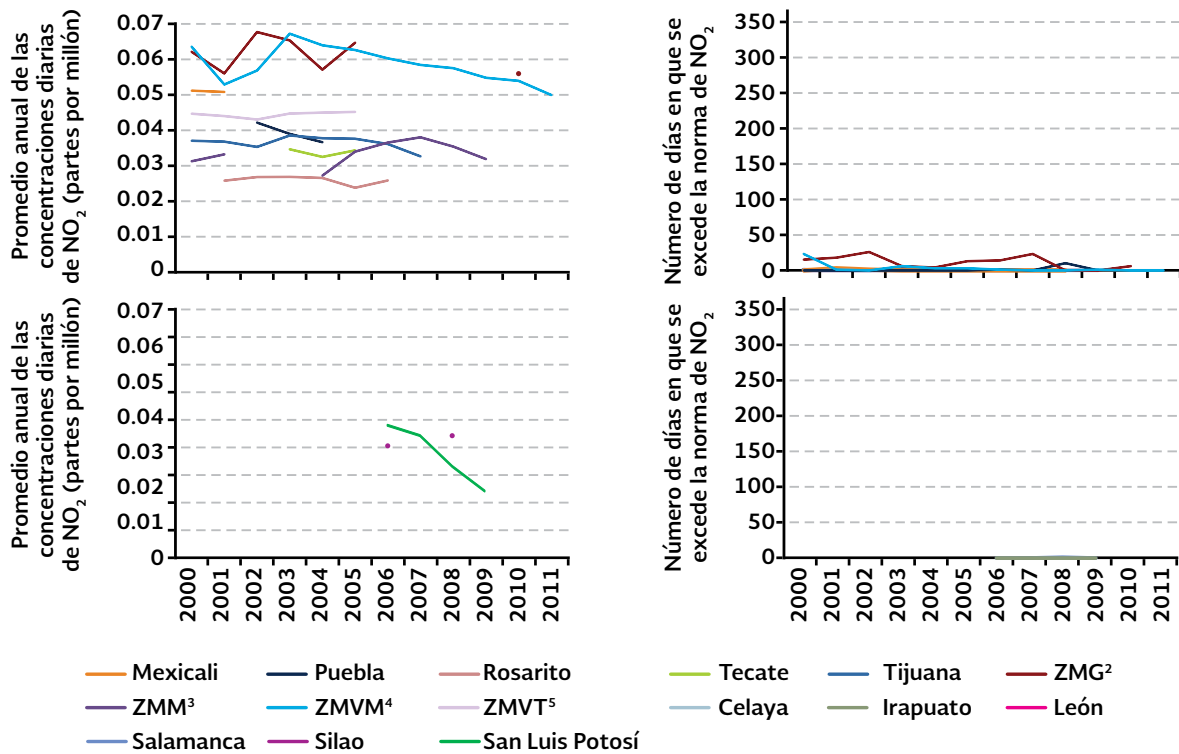
número de días por año en los que se rebasó la norma se mantuvo prácticamente en los mismos niveles en la ZMM y la ZMVM, a diferencia de Mexicali cuyos valores oscilaron entre 13 días en 2005 y 110 en 2007 (Figura 5.12; [Cuadro D3\\_AIRE01\\_06](#); **IB 1.1-8**).



Aunque en las gráficas anteriores es posible analizar con detalle la situación de cada contaminante en las distintas zonas metropolitanas y algunas ciudades, no se puede evaluar de manera integral la calidad del aire. Por ello y con el fin de mostrar de manera resumida la situación de la calidad del aire en cada ciudad con monitoreo, en la Figura 5.13 se presenta el número de días en los que

**Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma horaria de bióxido de nitrógeno, 2000 - 2011**

**Figura 5.11**



**Notas:**

- <sup>1</sup> Norma (NOM-023-SSA1-1993): no exceder 0.21 ppm en una hora una vez al año.
- <sup>2</sup> ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- <sup>3</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.
- <sup>4</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- <sup>5</sup> ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

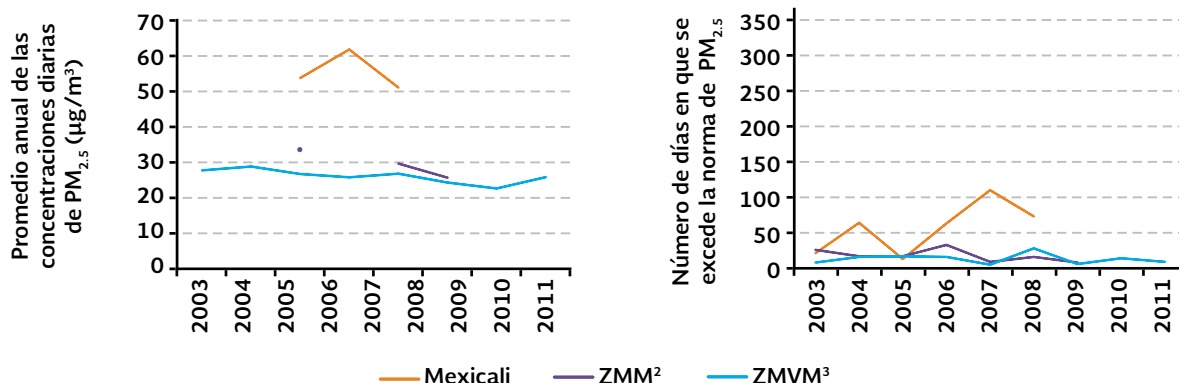
por lo menos alguno de los contaminantes monitoreados excedió su límite establecido en la norma. Esta información resulta relevante en el análisis, dado que la calidad del aire se deteriora cuando al menos uno de los contaminantes monitoreados excede los límites de concentración establecidos en las normas.

De acuerdo con esta información, las grandes ciudades son las que tienen los principales problemas, aunque con tendencias a disminuir en los años recientes. Por ejemplo, la contaminación del aire en la ZMVM a principios de la década pasada rebasaba los límites permitidos entre 329 y 305 días al año, mostrando posteriormente una clara tendencia a la baja llegando en 2010 a 178 días. Guadalajara y Mexicali también reportaron

un número significativo de días en el año 2000 (157 y 117 respectivamente) con un posterior descenso (123 días en 2010 y 26 en 2009 respectivamente). En el caso de Salamanca, aunque ha llegado a reportar hasta 79 días (año 2006) con valores mayores a los permitidos, en el año 2009 esta cifra disminuyó a 11 días. En contraste, Monterrey y Valle de Toluca han incrementado el número de días en los que se rebasan los límites establecidos en las normas. En el resto de las ciudades con monitoreo no se han excedido los límites en más de 58 días al año, de hecho en algunas de ellas el máximo ha sido de 11 días, tal es el caso de Tijuana, San Luis Potosí, Irapuato, Celaya, Silao, Tecate, Rosarito, y la Zona Metropolitana de Hidalgo y Tepeji del Río de Ocampo. Es importante señalar que la tendencia del número de días en que se exceden

**Promedio anual de las concentraciones diarias y número de días en que se excede el valor de la norma<sup>1</sup> de 24 horas de partículas menores a 2.5 micrómetros, 2003 - 2011**

Figura 5.12



**Notas:**

<sup>1</sup> Norma (Modificación a la NOM-025-SSA1-1993): no exceder 65 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas 2% de veces al año.

<sup>2</sup> ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey.

<sup>3</sup> ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

**Fuente:**

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

las normas de salud, en cada ciudad refleja su condición particular, por lo que la comparación entre ellas debe hacerse con reserva pues no todas las ciudades o zonas urbanas monitorean todos los contaminantes (Figura 5.13).

A pesar de que actualmente existen estaciones de monitoreo de los principales contaminantes en 82 localidades, aún son insuficientes para contar con una cobertura nacional. Además, en la mayoría de las ciudades, la información todavía no tiene las características necesarias para hacer un análisis confiable de la tendencia de las concentraciones de contaminantes: sólo veinte de ellas cuentan con datos suficientes para conocer la calidad del aire de al menos tres años consecutivos, nueve localidades para cinco años y únicamente las zonas metropolitanas de Monterrey, Guadalajara y Valle de México han generado de manera constante la información desde que iniciaron operaciones (INE, Semarnat, 2011). En el caso de la ZMVM su red de monitoreo también registra información relacionada con lluvia ácida. En 1987 se puso en marcha el Programa de Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ver Recuadro *Lluvia ácida: causas y consecuencias*).

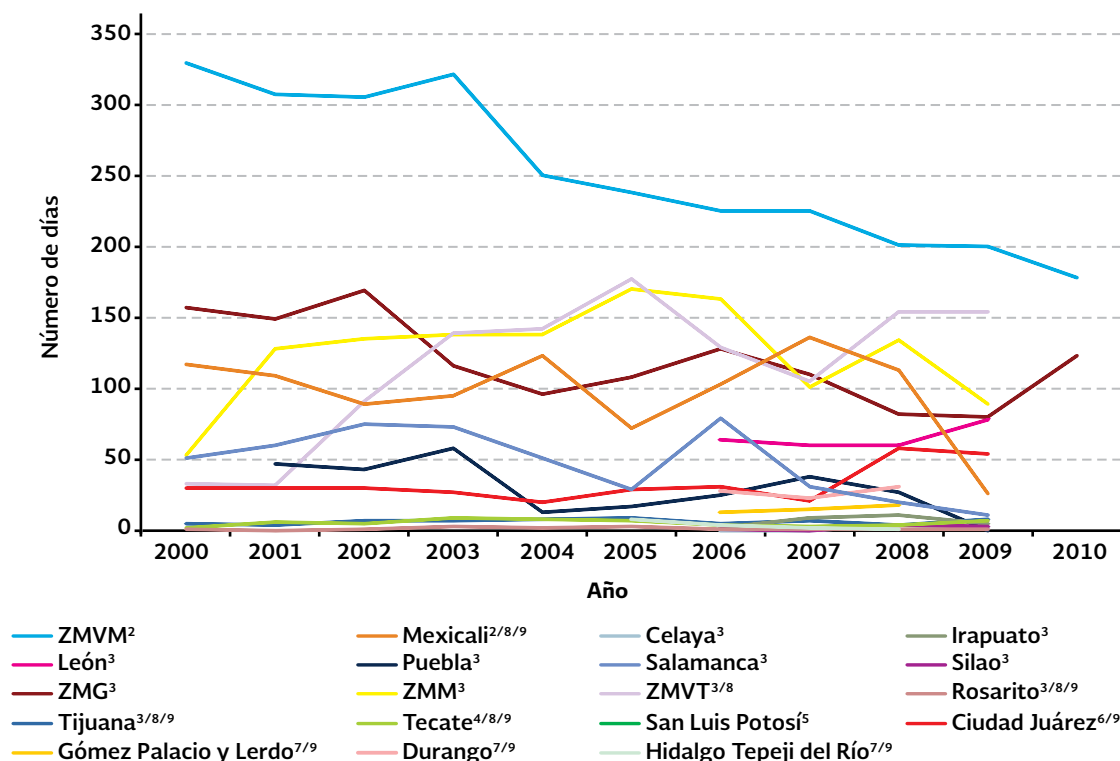
En resumen, del análisis de las tendencias de los principales contaminantes se desprende que en general la calidad del aire en las principales ciudades del país ha mejorado en los últimos años. A pesar de que en la ZMVM la calidad del aire aún es deficiente, debido principalmente a los niveles de O<sub>3</sub>, es importante resaltar que se presenta una tendencia a la baja en su concentración, así como en la de otros contaminantes, por ejemplo el CO, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>. 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 SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>2</sub> 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



## Número de días en los que al menos un contaminante excede algún límite de las normas de calidad de aire, 2000 - 2010<sup>1</sup>

Figura 5.13



### Notas:

<sup>1</sup> Los años para los cuales no se reportan datos se debe a que no existe medición, información o actualización.

<sup>2</sup> PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

<sup>4</sup> PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO y NO<sub>2</sub>

<sup>5</sup> O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

<sup>6</sup> PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y CO

<sup>7</sup> PM<sub>10</sub>

<sup>8</sup> El número de días en 2009 sólo corresponde a las PM<sub>10</sub>.

<sup>9</sup> Los días corresponden a muestreos de 24 horas con equipo manual.

### Fuente:

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2012.

sector académico ha establecido programas para mejorar la calidad del aire, conocidos como Proaires. Estos representan uno de los principales instrumentos desarrollados para revertir las tendencias de deterioro e incorporan una visión de mediano y largo plazos, además de que proponen acciones concretas para la reducción y control de las emisiones (Semarnat, 2012). Las acciones contenidas en estos programas 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. 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 son el Valle de México, Monterrey, Guadalajara, Toluca, Ciudad Juárez, Mexicali, Tijuana-Rosarito, Salamanca, Puebla, León, Cuernavaca, Durango y la Comarca Lagunera (que incluye parte de Coahuila y Durango), Querétaro-

La lluvia, deposición o precipitación ácida se forma a partir de la reacción química de sus precursores -dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )- con la humedad atmosférica. Los ácidos sulfúrico y nítrico que se forman se depositan en construcciones y monumentos, vegetación, suelo y cuerpos de agua 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  $\text{pH}^1$  del agua de lluvia, que es de 5.6 (SMAGDF *et al.*, 2011). Los precursores de la lluvia ácida provienen de fuentes naturales, como los incendios forestales, las emisiones volcánicas y la materia orgánica en descomposición, o de fuentes antropogénicas relacionadas con la agricultura y la quema de combustibles fósiles en la industria, la generación de energía y el sector transporte (EPA, 2011; SMAGDF *et al.*, 2011). 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 de la susceptibilidad de la vegetación y de los organismos expuestos a ella (INE, 2007).

### EFFECTOS 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, 2011). Las escorrentías pueden además 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). La lluvia ácida puede producir la acidificación de lagos y arroyos con baja capacidad de amortiguamiento; los lagos que tienen  $\text{pH}$  entre 6 y 8 pueden mitigar mejor el efecto ácido de la lluvia; mientras que los que son naturalmente ácidos, presentan menor capacidad de amortiguamiento (EPA, 2011).

La acidificación de los cuerpos de agua tiene diversas consecuencias en los ecosistemas y, en particular 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, 2011), lo que 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 ocasiona la lixiviación de los nutrientes del suelo antes de que las plantas puedan aprovecharlos, provoca daños y alteraciones fotosintéticas en las hojas y cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Calva *et al.*, 1991; Saavedra-Romero *et al.*, 2003). A nivel mundial, se ha estimado que entre 7 y 17% de los ecosistemas

<sup>1</sup> 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.

terrestres están en riesgo crítico de acidificación (Bouwman *et al.*, 2002). La precipitación ácida también perjudica los cultivos agrícolas al dañar las hojas y reducir la calidad del suelo (SMAGDF *et al.*, 2011).

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 Chapa de Mota y San Luis Ayucan al noreste del Valle de México se han registrado valores muy ácidos en la lluvia (Velasco-Saldaña *et al.*, 2002). En el Parque Nacional del Desierto de los Leones, en los bosques de *Abies religiosa* se han registrado valores de pH entre 5.11 y 6.64 en la lluvia (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).

Además de sus efectos sobre los ecosistemas boscosos, la lluvia ácida también daña la roca caliza de edificios y monumentos históricos. Por ejemplo, Bravo *et al.* (2006) documentaron los daños en la zona arqueológica de El Tajín, en Veracruz, donde se han registrado valores de pH menores a 5.62. 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.

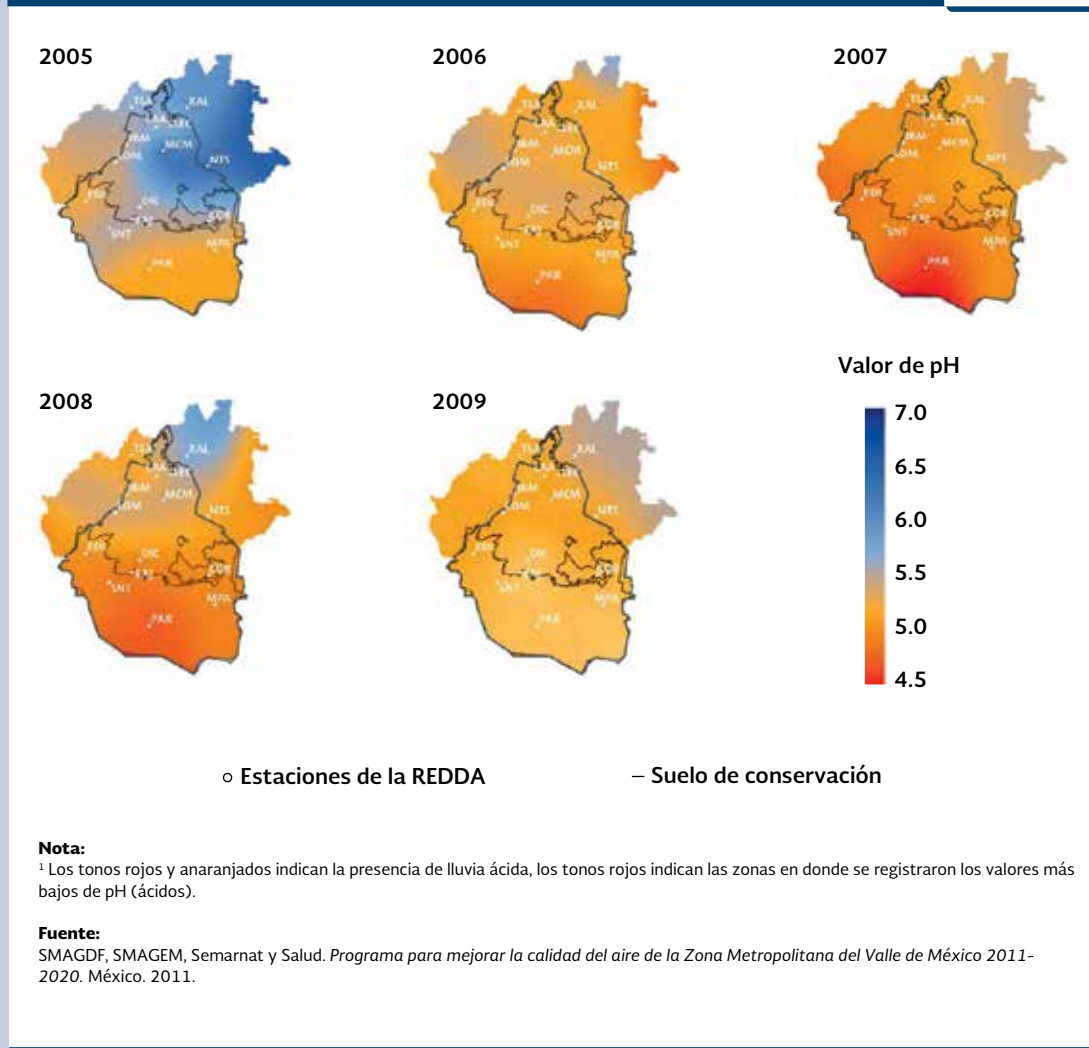
### MONITOREO DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA ZMVM

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). Hasta el año 2006, la REDDA estaba formada por 16 estaciones de monitoreo distribuidas en las áreas urbana, rural y de conservación ecológica de toda la ZMVM. En estas estaciones se registra el pH y la concentración de iones presentes en la deposición húmeda (Muñoz *et al.*, 2008).

Aunque en la ZMVM las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> son mayores en las regiones centro, noroeste y noreste, lo cual se asocia con la afluencia vehicular, los vientos tienen una dirección norte-suroeste, lo que propicia que los contaminantes sean trasladados hacia el sur de la Ciudad de México, donde se acumulan dando lugar a precipitaciones ácidas. Los registros

Distribución espacial de la lluvia ácida en la ZMVM, 2005 - 2009

Figura a



históricos en la ZMVM muestran que en 1989 se registró el valor más ácido (3.4; INE, 2007). En la Figura a se muestra el comportamiento de la lluvia ácida en los últimos años y es evidente que la intensidad del fenómeno varía entre años, la superficie afectada ha aumentado y consistentemente la zona más afectada es la sur-surponiente.

**Referencias:**

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.

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.

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. *Acid rain*. 2011. Disponible en: [www.epa.gov/acidrain/index.html](http://www.epa.gov/acidrain/index.html). Fecha de consulta: abril de 2012.

Graveland, J. Effects of acid rain on bird populations. *Environmental Review* 6: 41-54. 1998.

INE. *Aire*. 2007. Disponible en: [www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/16/parte4\\_17.html](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/16/parte4_17.html). Fecha de consulta: abril de 2012.

Muñoz, 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](http://www.sma.df.gob.mx). Fecha de consulta: abril de 2012.

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.

SMAGDF, SMAGEM, Semarnat y Salud. *Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020*. México. 2011.

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  $H_2SO_4$  and  $HNO_3$  on soil acidification and aluminum speciation in variable and constant charge soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 129: 33-43. 2001.



San Juan del Río, Villahermosa y San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez (**IB 1.1-10**). Actualmente se encuentran vigentes ocho Proaires y cinco están en fase de elaboración o actualización (Tabla 5.2). Los Proaires vigentes benefician a 36.5 millones de personas que habitan en las zonas de aplicación de las medidas para mejorar la calidad del aire; por su parte, los Proaires en elaboración beneficiarán a una población aproximada de 5.9 millones de personas (Semarnat, 2013).

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

relacionadas con el contenido de azufre, olefinas y benceno. La comercialización de estos combustibles ha sido paulatina: por ejemplo, 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 la 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 inició la comercialización, en la frontera norte, del diesel UBA de 15 ppm máximo, el cual desde 2009 se distribuye también en la zona metropolitana de Monterrey, mientras que desde finales del mismo año se usa en el Metrobús de la Ciudad de México.

Otras acciones emprendidas a nivel local, como la reforestación y pavimentación, los

Proaire/región	Situación	Población (millones de personas)
Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca 2012-2017	Vigente	1.8
Programa para Mejorar la Calidad del Aire, de la Zona Metropolitana de Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito 2012 - 2020	Vigente	1.8
Programa de Gestión de la Calidad del Aire del Estado de Puebla 2012 - 2020	Vigente	5.8
Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020	Vigente	20
Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Mexicali 2011-2020	Vigente	0.9
Programa para Mejorar la Calidad del Aire Jalisco 2011-2020	Vigente	4.4
Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015	Vigente	1.2
Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Durango 2009-2013	Vigente	0.6
Zona Metropolitana de Querétaro - San Juan del Río 2012-2021	En elaboración	1.4
Zona Metropolitana de Villahermosa 2012-2016	En elaboración	0.8
Región de Salamanca 2013- 2022	En elaboración	1.1
León 2013-2022	En elaboración	1.6
Zona Metropolitana de San Luis Potosí - Soledad de Graciano Sánchez	En elaboración	1
<b>Población total beneficiada</b>		<b>42.4</b>
<b>Fuente:</b> Semarnat. Programas de Gestión de la Calidad del Aire. Disponible en: <a href="http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx">http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx</a> . Fecha de consulta: enero de 2013.		

apoyos para la renovación del parque vehicular y el mayor control sobre las emisiones de las 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 a prevenir y controlar la contaminación atmosférica, se incrementó de 69 598 millones de pesos en 2009 (apenas el 0.1% del gasto ambiental

total) a 123 830 millones de pesos, que significaron 2.2% del gasto ambiental total, el cual incluye también actividades en materia de aguas residuales, residuos, suelos, agua subterránea, biodiversidad, paisaje, programas ecológicos de regulación y preservación, infraestructura ecológica, regulación humana de los establecimientos y educación ambiental, entre otras actividades (INEGI, 2011 y 2012).

## CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es uno de los principales desafíos ambientales globales en la actualidad, con implicaciones que rebasan al ambiente, ya que sus efectos proyectados podrían tener consecuencias económicas, sociales y políticas importantes que determinarán, en buena parte, las características y condiciones del desarrollo económico en este siglo (Semarnat y SHCP, 2009). Si bien ha sido un tema muy comentado, no es igualmente comprendido, en virtud de que existen interpretaciones equivocadas en las cuales se ha tendido a responsabilizarlo de eventos con los cuales tiene poca o ninguna relación. Para comprender este fenómeno es necesario conocer, de la manera más objetiva posible y basada en fuentes de información sólidas, tanto las bases científicas del problema como las causas y posibles efectos que trae consigo. En este contexto, esta sección describe de manera general el fenómeno del cambio climático, sus causas y consecuencias, así como las medidas de mitigación y adaptación tomadas.

La atmósfera está constituida de manera natural principalmente por nitrógeno y oxígeno que, en conjunto, representan el 99.03% de los gases que la componen. El argón representa 0.93% del total y el porcentaje restante está constituido por otros gases en concentraciones más bajas –bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua, ozono ( $\text{O}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )–, los cuales, por su capacidad de absorber calor, son llamados 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 –incluso irradian nuevamente una parte de calor hacia ella–, produciendo

un efecto neto de calentamiento, de manera similar al que ocurre en los invernaderos. Sin este fenómeno, la temperatura de la Tierra sería en promedio 33°C más fría (IPCC, 2001) y muy probablemente la vida no se hubiera desarrollado o sería muy distinta de la que conocemos hoy 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 más cortos de tiempo. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) definió el cambio climático como “...todo cambio en el clima a través del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas” (IPCC, 2007a). 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 la temperatura promedio observado desde mediados del siglo XX a la fecha, se debe *muy probablemente*<sup>9</sup> al incremento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico (IPCC, 2007a).

### EMISIONES ANTROPOGÉNICAS DE GEI

Los gases de efecto invernadero se emiten tanto por fuentes naturales como por las actividades humanas, dentro de las cuales la más importante es la quema de combustibles fósiles. A partir de la Revolución Industrial iniciada en el siglo XVIII, se intensificó significativamente la producción de bienes y servicios, la cual trajo consigo una mayor demanda y consumo de combustibles fósiles que generaron emisiones crecientes de GEI que al ser incorporadas a la atmósfera, incrementaron su concentración y, de acuerdo con la evidencia científica disponible, han promovido el calentamiento global y el cambio climático (IPCC, 2007c).

El  $\text{CO}_2$  es el GEI más importante en términos de su volumen emitido, su larga vida en

<sup>9</sup> De acuerdo con el IPCC, muy probablemente corresponde a una probabilidad mayor a 90%.

la atmósfera (entre 5 y 200 años), su forzamiento radiativo<sup>10</sup> (1.3-1.5 Wm<sup>-2</sup>) y el notable incremento de su concentración en la atmósfera (IPCC, 2001). 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).

## EMISIONES MUNDIALES

Debido a que el volumen de emisión mundial de CO<sub>2</sub> es representativo de la emisión total de GEI, ya que equivale a más del 70% de las emisiones totales y a que es el GEI para el cual se cuenta con información más confiable y homogénea a nivel mundial, en esta sección sólo se hará referencia a las emisiones de este gas por consumo y quema de combustibles fósiles como una aproximación a la emisión total de GEI. Cabe señalar que aunque la mayoría de los países que forman parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático cuentan con un

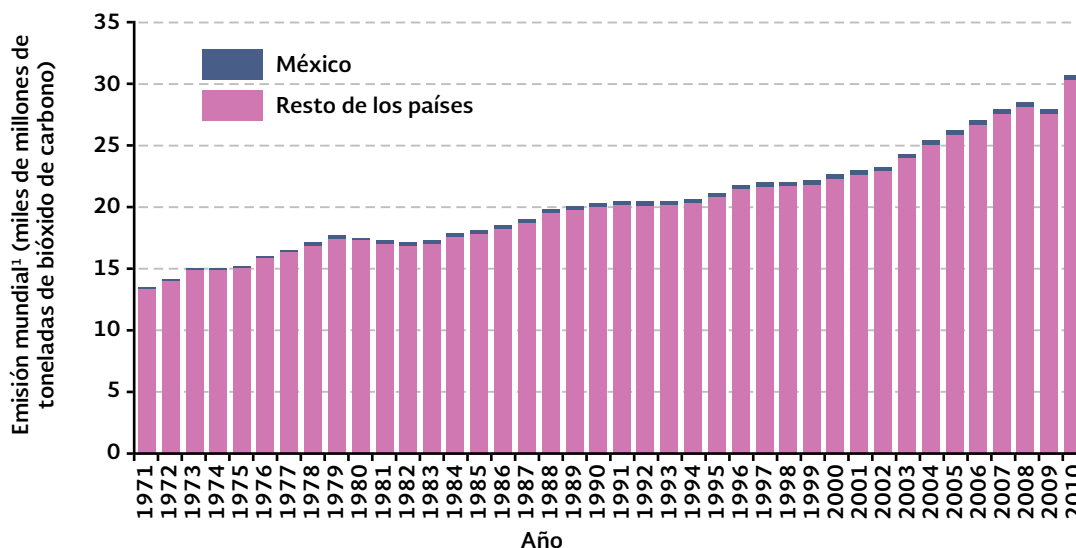
primer Inventario Nacional de Emisiones de GEI, los datos son para diferentes periodos por lo que no son completamente comparables<sup>11</sup>.

La emisión de CO<sub>2</sub> se ha incrementado de manera directa con la quema de combustibles fósiles. Durante el periodo 1971-2010, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 115% (Figura 5.14; **IB 1.2-1**). De acuerdo con el último informe publicado por la Agencia Internacional de Energía, en el año 2010, cinco países fueron responsables del 58% del CO<sub>2</sub> emitido a nivel mundial por consumo y quema de combustibles fósiles: Estados Unidos, China, Rusia, Japón e India, que en conjunto emitieron 16 935.9 millones de toneladas de un total de poco más de 30.2 mil millones de toneladas generadas en el planeta (Figura 5.15). Entre estos países, destacan China y Estados Unidos, responsables de 24.7 y 18.4%, de las emisiones en el planeta en ese año, respectivamente. La contribución de México a las emisiones globales en 2010 fue de 1.4%,



**Emisión mundial de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles, 1971 - 2010**

**Figura 5.14**



**Nota:**

<sup>1</sup> No incluye las emisiones de bunkers internacionales.

**Fuente:**

IEA. *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights. 2012 Edition.* France. 2012.

<sup>10</sup> Índice del peso del factor (en este caso el CO<sub>2</sub>) 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.

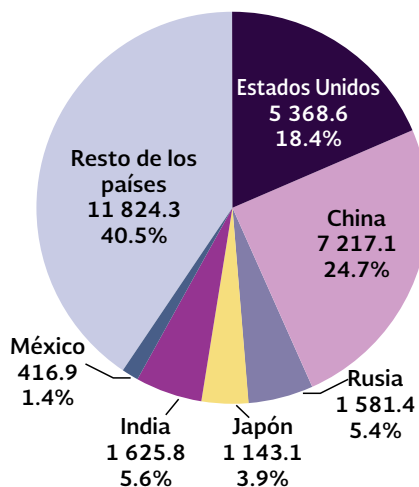
<sup>11</sup> Los inventarios de emisión, incluidos en las Comunicaciones Nacionales de cada país, pueden consultarse en la página electrónica: [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int).



## Contribución de los principales países emisores y México a la emisión mundial de CO<sub>2</sub> por consumo y quema de combustibles fósiles, 2010.

Millones de toneladas de bióxido de carbono y porcentaje

Figura 5.15



**Nota:**  
No incluye las emisiones de bunkers internacionales.

**Fuente:**  
IEA. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights. 2012 Edition. France. 2012.

ubicándolo entre los primeros quince países por su volumen de emisión (Figuras 5.14 y 5.15). Si se considera la emisión de bióxido de carbono en el contexto regional sobresalen Asia, Norteamérica y Europa (Mapa 5.11).

Si se examinan las emisiones per cápita a nivel mundial en 2010, destacan Qatar (36.9 toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante), Kuwait (31.9), Trinidad y Tobago (31.9), Luxemburgo (21) y Brunei Darussalam (20.6) como los cinco principales emisores, con volúmenes que representaron entre 4 y 8 veces la emisión per cápita mundial (4.44 toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante; Figura 5.16; IEA, 2012). En el caso de México, el valor puede variar, dependiendo de la fuente de datos, entre 3.63 (INE, Semarnat,

2012) y 3.85 toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante (IEA, 2012). Estas cifras lo ubican en el lugar 70 a nivel mundial y como el segundo más bajo dentro de los países de la OCDE (10.1 toneladas por persona), muy por debajo de la cifra de Luxemburgo, Estados Unidos (17.31) y Australia (17; IEA, 2012).

## EMISIONES NACIONALES

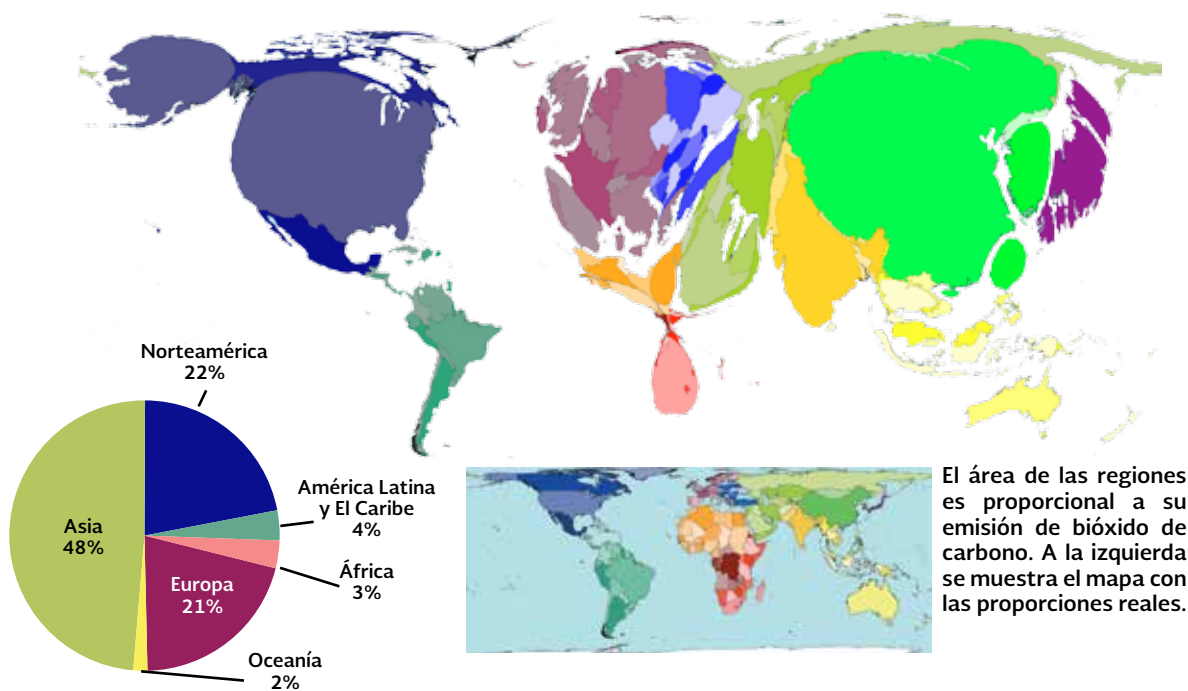
En México, la primera estimación nacional de las emisiones de GEI se publicó en 1995 con datos de 1990. Los resultados se presentaron ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1997 como parte de la Primera Comunicación Nacional ante la Convención. Posteriormente, en 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, que incluyó el inventario nacional con nuevos cálculos para el periodo 1990-2002. En el 2009 se presentó la Cuarta Comunicación Nacional con datos para el periodo 1990-2006 y a finales de 2012 se publicó la Quinta Comunicación Nacional con datos para el periodo 1990-2010. Cabe señalar que debido al cambio de método, las comparaciones entre inventarios no son recomendables, por lo que en este texto se hace 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 (INEGEI), la emisión total de GEI aumentó aproximadamente 33.4% entre 1990 y 2010 siendo en este último año de alrededor de 748 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>12</sup> (Figura 5.17). El sector energético, que incluye el consumo de combustibles fósiles<sup>13</sup> y las emisiones fugitivas<sup>14</sup>, emitió en el 2010 poco más del 67% del total de GEI (503.8 millones

<sup>12</sup> CO<sub>2</sub> equivalente: volumen de bióxido de carbono que causa el mismo forzamiento radiativo que una mezcla determinada de gases de efecto invernadero. El equivalente de bióxido de carbono para un gas determinado se calcula multiplicando su volumen por su potencial de calentamiento.

<sup>13</sup> Incluye consumo de combustibles para la generación de energía, manufactura e industria de la construcción y transporte, entre otros sectores.

<sup>14</sup> Aquellas 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 del petróleo y gas natural.



El área de las regiones es proporcional a su emisión de bióxido de carbono. A la izquierda se muestra el mapa con las proporciones reales.

**Fuentes:**

IEA. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights. 2011 Edition. France. 2011.  
 SASI Group y M. Newman. 2006. Disponible en: [www.worldmapper.org/textindex/text\\_index.html](http://www.worldmapper.org/textindex/text_index.html). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente; Figura 5.17, **IC 7**). Dentro de este sector, el consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones en el país: entre 1990 y 2010 emitió entre 48.6 y 56.2%, respectivamente, del volumen total de GEI.

En el 2010, las emisiones derivadas de los desechos (que incluyen la disposición de residuos sólidos en suelo, manejo y tratamiento de aguas residuales e incineración de residuos) contribuyeron con 5.9% del total de GEI (44.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente), mientras que la agricultura, los procesos industriales, y el cambio de uso del suelo y silvicultura fueron responsables del 12.3, 8.2 y 6.3% (92.2, 61.2 y 46.9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, respectivamente) del total nacional.

De los seis principales GEI contemplados por el Protocolo de Kioto<sup>15</sup>, que incluyen

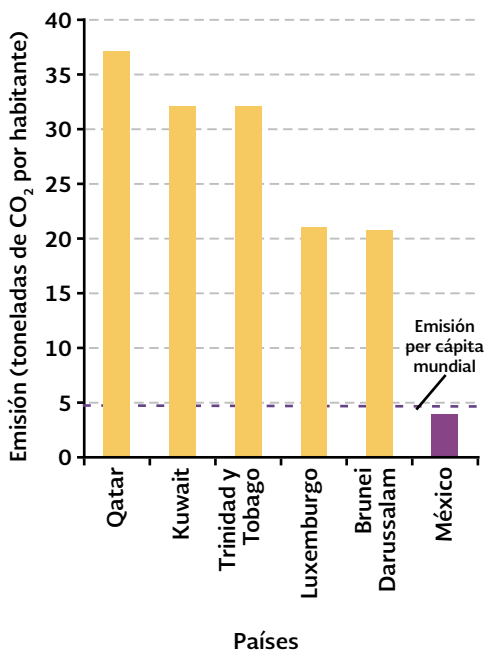
al CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), HFC (hidrofluorocarbonos), PFC (perfluorocarbonos) y SF<sub>6</sub> (hexafluoruro de azufre), el CO<sub>2</sub> fue el que se emitió en mayor proporción a nivel nacional (66% del total de GEI emitido), seguido por el metano, con alrededor del 22% del total (Figura 5.18).

De acuerdo con el INEGI, entre 1990 y 2010 se incrementaron las emisiones nacionales de casi todos los gases de efecto invernadero, resaltando por su importancia en volumen las de CO<sub>2</sub>, que aumentaron 24%. El CH<sub>4</sub> tuvo un incremento de 60% y el N<sub>2</sub>O de 23%. En contraste, se redujeron las emisiones de PFC. Aunque los HFC y el SF<sub>6</sub> muestran un gran crecimiento entre 1990 y 2010 (2 307 y 320%, respectivamente), debe considerarse que sus volúmenes de emisión son muy pequeños comparados con los restantes gases.

<sup>15</sup> Convenio internacional que busca reducir las emisiones de GEI y del que México forma parte.

### Emisión per cápita de CO<sub>2</sub> en los principales países emisores y México, 2010

Figura 5.16



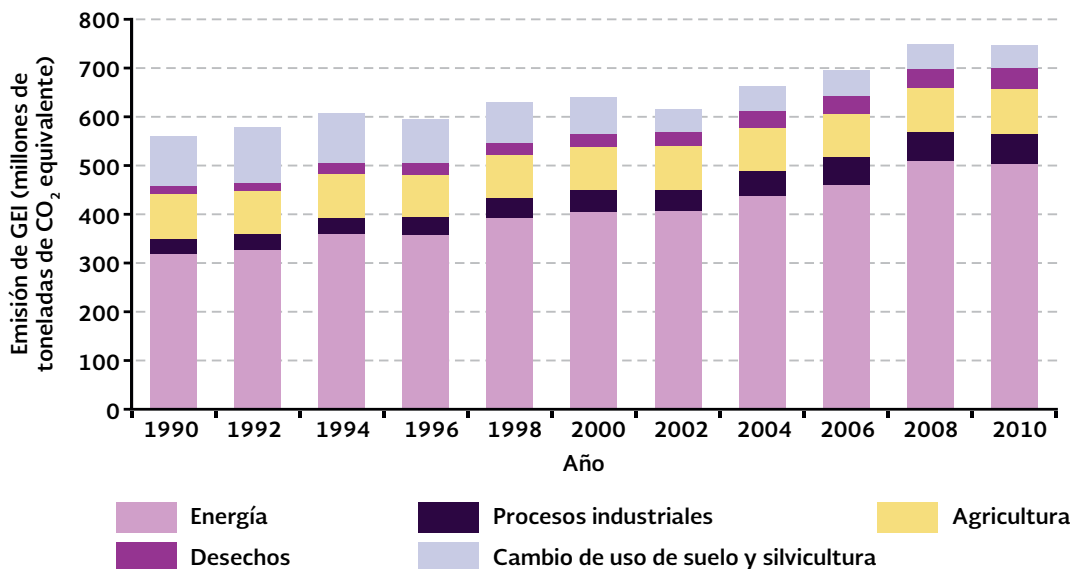
Fuente: IEA. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights. 2012 Edition. France. 2012.

Existen otros gases de efecto invernadero que, a pesar de que son emitidos en mucho menor volumen que el CO<sub>2</sub>, contribuyen de manera significativa al calentamiento global debido a su acción combinada de tiempo de permanencia en la atmósfera y de retención de calor. Por ejemplo, los clorofluorocarbonos (CFC) que destruyen la capa de ozono estratosférico pueden permanecer en la atmósfera hasta 1 700 años, mientras que los fluorocarbonos lo pueden hacer por 50 mil años. En lo que respecta a su retención de calor, los halocarbonos, que incluyen halones y CFC, tienen un forzamiento radiativo de 0.33 Wm<sup>-2</sup>, que es equivalente al 13% del forzamiento radiativo de todos los GEI mezclados mundialmente (IPCC, 2007a).

En el contexto internacional, si se examina la generación de CO<sub>2</sub> con referencia al Producto Interno Bruto (PIB) del país, México (0.55 kg de CO<sub>2</sub> por dólar a precio de 2000) ocupó en 2009 el lugar 23 dentro de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), después de Grecia, Nueva Zelanda y Estados Unidos, entre otros (IEA, 2011). A nivel mundial, nuestro país se ubica en el lugar 53, con un valor por

### Emisión nacional de gases de efecto invernadero por fuente, 1990 - 2010

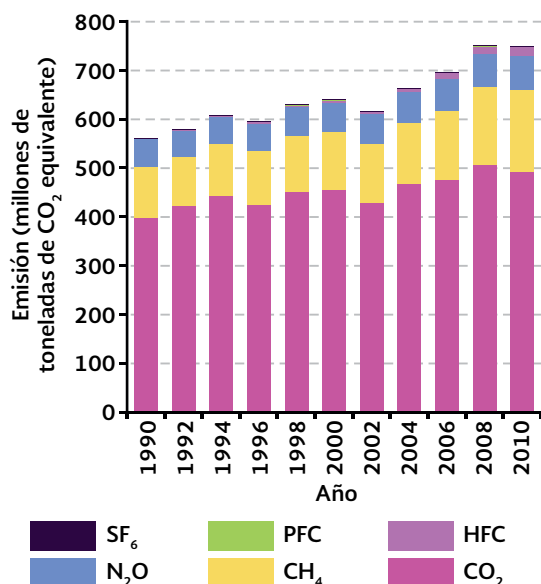
Figura 5.17



Fuente: Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE, Semarnat. México. 2012.

## Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por gas, 1990 - 2010

Figura 5.18



Fuente:  
Coordinación del Programa de Cambio Climático, INE, Semarnat.  
México. 2012.

los datos recogidos en este lugar se consideran representativos de la dinámica temporal de la concentración global (Keeling y Whorf, 2005). La información de la concentración de CO<sub>2</sub> se complementa con la obtenida por los paleoclimatólogos, que han descrito el clima pasado, a partir de muestras de hielo conocidas como “testigos de hielo”, las cuales contienen burbujas con una fracción de la atmósfera de la época en la que se formaron. A partir de estas muestras se puede estimar la temperatura y concentración de gases, entre otras variables. De acuerdo con los registros históricos y las estimaciones derivadas de los “testigos de hielo”, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se mantuvo relativamente constante durante la época preindustrial, incrementándose de manera clara a partir de la mitad del siglo XVIII y alcanzando una aceleración muy marcada durante la segunda mitad del siglo XX (Figura 5.19; **IB 1.2-4**). Mientras que la concentración preindustrial de CO<sub>2</sub> fue de alrededor de 280 partes por millón (ppm), en el año 2012 alcanzó las 394 ppm, lo que significa un incremento de poco más de 40%.



debajo del promedio mundial de 0.73 kg de CO<sub>2</sub> por dólar a precio de 2000. La intensidad de emisiones de México ha disminuido constantemente desde finales de los ochenta, cuando su valor alcanzaba los 0.64 kg de CO<sub>2</sub> por dólar a precio de 2000, lo que se traduce en una tendencia hacia una menor intensidad de carbono de la economía.

### CONCENTRACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA ATMÓSFERA

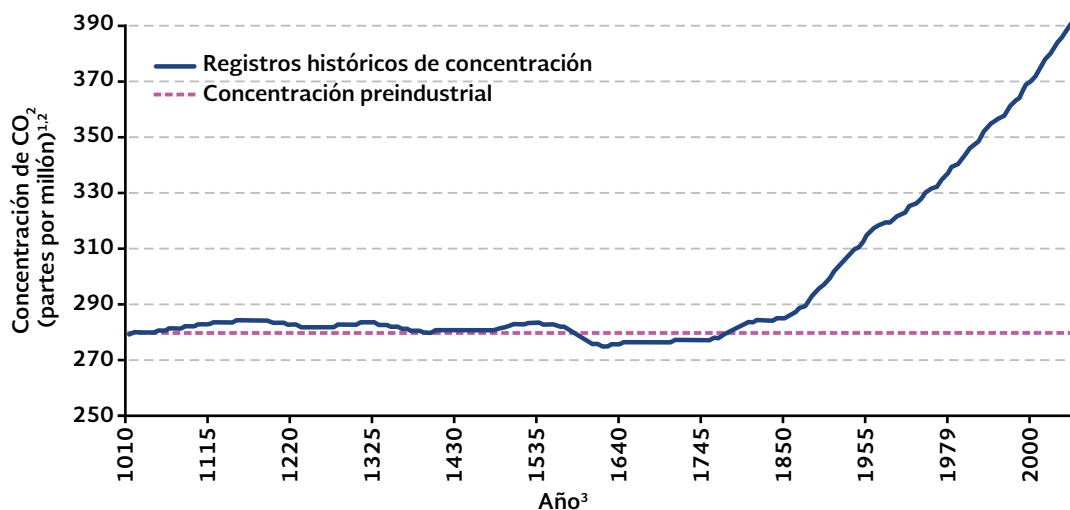
La acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se debe a que los sumideros naturales, como la vegetación y los cuerpos de agua, no han sido suficientes para capturar sus crecientes emisiones, lo que ha traído como consecuencia el aumento de su concentración en la atmósfera. Debido a que el CO<sub>2</sub> se dispersa fácilmente, las mediciones hechas en cualquier parte del planeta son representativas de la situación global. No obstante, el registro histórico más largo y confiable corresponde a la zona del Mauna Loa, en Hawai, por lo que

Otros gases, como el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el metano (CH<sub>4</sub>) también han aumentado significativamente su concentración en los últimos años. El CH<sub>4</sub> pasó de 715 partes por mil millones (ppmm) en la era preindustrial a 1 747 ppmm en 2010 (Figura 5.20). Por su parte, la concentración de N<sub>2</sub>O pasó de 270 a 322 ppmm en el mismo periodo.

En términos generales, se ha estimado que el CO<sub>2</sub> es responsable de aproximadamente 60% del efecto invernadero acumulado desde el siglo XVIII, el CH<sub>4</sub> de 20%, el N<sub>2</sub>O de 6% y los halocarbonos de 14% (PNUMA, 2002; IPCC, 2007a). El forzamiento radiativo del CO<sub>2</sub> se incrementó 20% de 1995 a 2005, lo que representa el mayor 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O es de 2.30 Wm<sup>-2</sup> 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.

## Concentración global atmosférica de CO<sub>2</sub>, 1010 - 2012

Figura 5.19



**Notas:**

<sup>1</sup> La concentración histórica de bióxido de carbono proviene de registros de muestras de hielo (1010-1955) y de mediciones directas de la atmósfera (1959-2010).

<sup>2</sup> La concentración pre-industrial fue de alrededor de 280 ppm de acuerdo con el IPCC.

<sup>3</sup> El promedio anual de 2012 incluye las mediciones hechas de enero a septiembre de ese año.

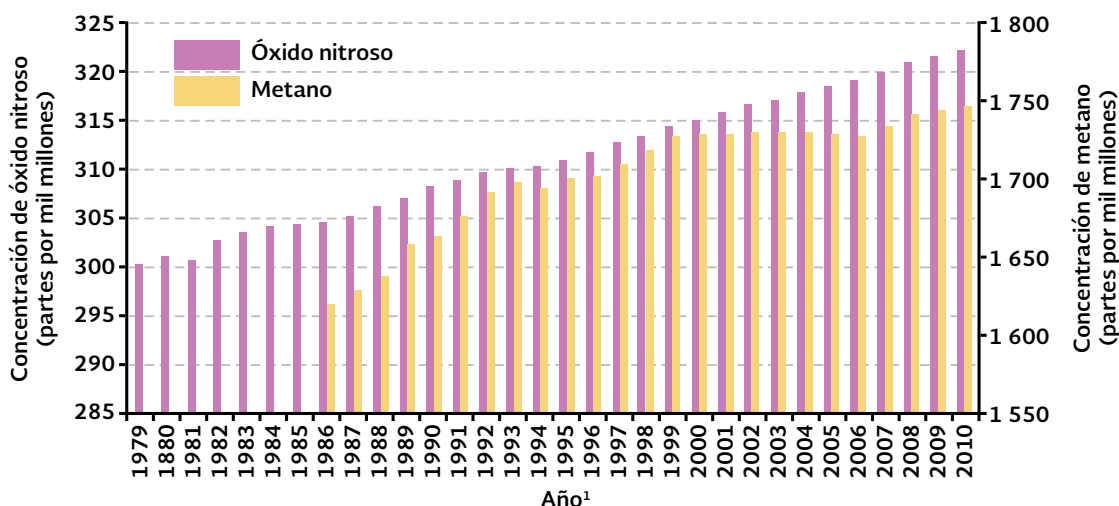
**Fuentes:**

Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.L. Langenfelds and R.J. Francey. *Historical CO<sub>2</sub> records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores*. 1998. En: Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center. U.S.A. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html>. Fecha de consulta: marzo de 2012.

Keeling, C. D., S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann y H. A. Meijer. *Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and 13CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000*. I. Global aspects. SIO Reference Series, No. 01-06, Scripps. Institution of Oceanography. En: Scripps CO<sub>2</sub> Program. Atmospheric CO<sub>2</sub>. Disponible en: [http://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric\\_co2.html](http://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2.html). Fecha de consulta: octubre 2012.

## Concentración global atmosférica de óxido nítrico y metano, 1979 - 2010

Figura 5.20



**Nota:**

<sup>1</sup> Para 2010, las concentraciones de óxido nítrico y metano corresponden a los meses de enero a septiembre. No se cuenta con datos anteriores a 1986 para el metano.

**Fuentes:**

CDIAC. *Atmospheric Trace Gas Measurements*. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/>. Fecha de consulta: enero de 2012.


World Resources Institute. *Climate and Atmosphere Searchable Database*. Earth Trends. The Environmental Information Portal. 2008. Disponible en: <http://earthtrends.wri.org/index.cfm>. Fecha de consulta: noviembre de 2011.

## EVIDENCIAS Y CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

### Temperatura

Las evidencias de cambios en el clima, tanto a escala global como regional, incluyen básicamente incrementos de la temperatura (atmosférica y marina superficial), en la concentración de vapor de agua en la atmósfera, así como cambios en los patrones de precipitación, vientos y pautas de circulación atmosférica y oceánica (estos últimos se manifiestan en una mayor frecuencia, persistencia e intensidad de los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur; NAS, 2001; IPCC, 2007c).

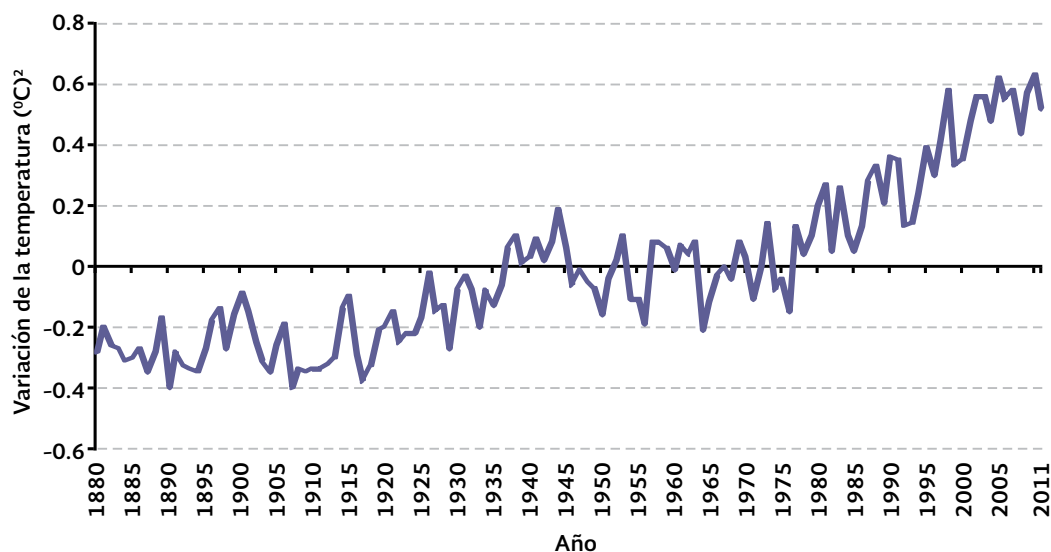
El incremento de temperatura (conocido como “calentamiento global”) es una de las evidencias más contundentes de la existencia del cambio climático. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) indicó que los 13 años más calurosos desde que existen registros de

temperatura se concentraron en los últimos 15 años (OMM, 2011). De acuerdo con el IPCC, el incremento de temperatura del periodo 2001-2005 con respecto al periodo 1850-1899 fue de 0.76°C (IPCC, 2007a). Los registros de temperatura global, en los últimos diez años, indican que la variación promedio fue de cerca de 0.55°C por arriba de la media del periodo 1951-1980; siendo 2010 el año en que se registró la mayor desviación (0.63°C; Figura 5.21; **IB 1.2-5**). 

El aumento de la temperatura no ha sido igual en todas las regiones del globo. La evaluación del IPCC (2007) 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 Europa, Norteamérica y Asia (Figura 5.22).

### Variación de la temperatura global<sup>1</sup>, 1880 - 2011

Figura 5.21



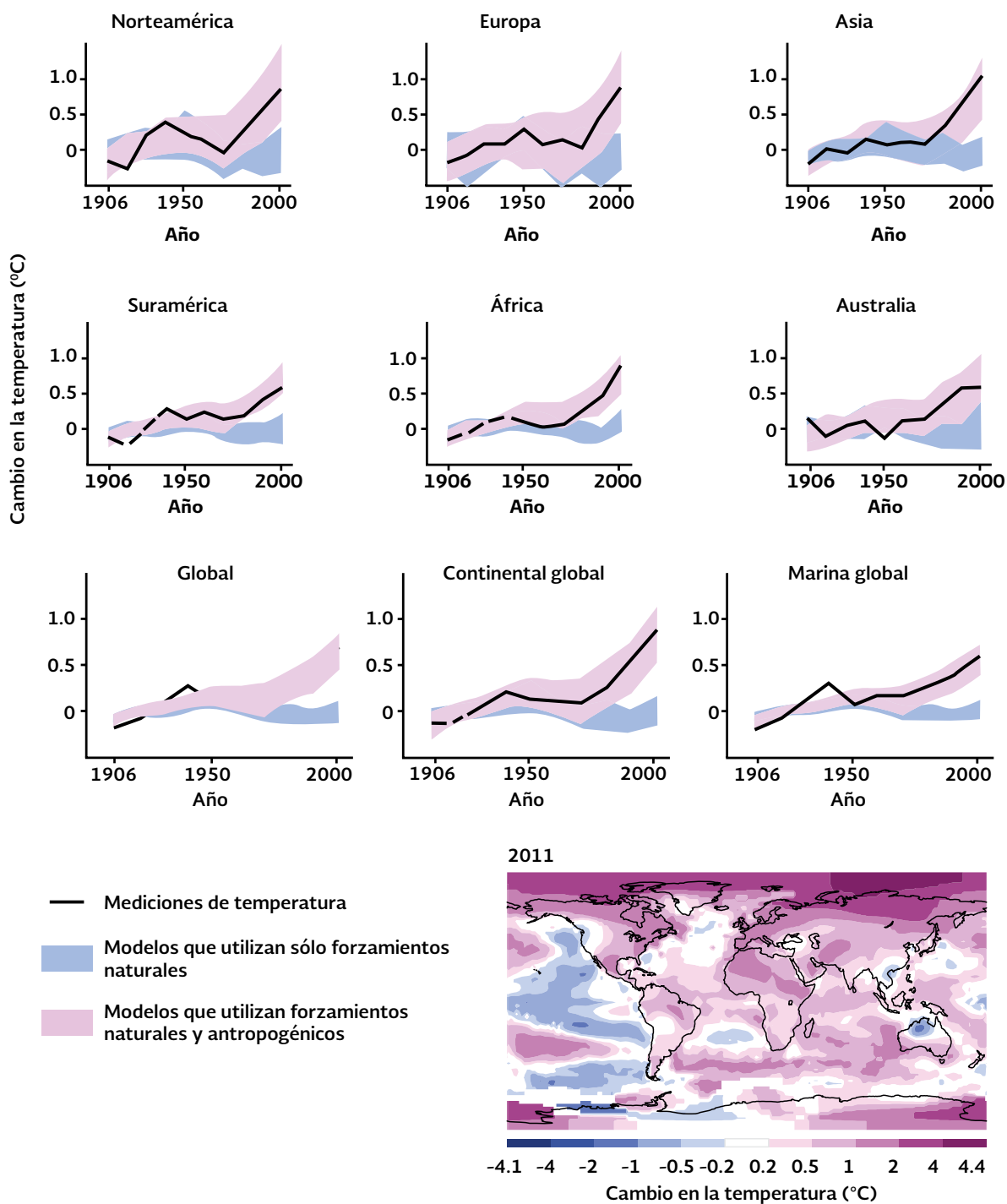
#### Notas:

<sup>1</sup> La serie de tiempo presenta el registro combinado de la temperatura global superficial terrestre y marina.

<sup>2</sup> El 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)*. 2012. Disponible en: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>. Fecha de consulta: octubre de 2012.



**Notas:**

<sup>1</sup> Las gráficas muestran 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.

<sup>2</sup> El mapa muestra el cambio respecto al promedio de temperatura del periodo 1951-1980.

**Fuentes:**

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007.

NASA. *GISS Surface Temperature Analysis*. 2012. Disponible en: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps>. Fecha de consulta: octubre de 2012.

En el caso de México, los registros instrumentales del periodo 1971-2008 muestran un incremento en la temperatura media anual de 0.6°C en promedio (Figura 5.23). La media histórica de ese periodo fue de 20.9°C y desde el año 1990 la mayoría de las temperaturas medias anuales registradas han estado por arriba de ese valor. En el periodo 1999-2008, el calentamiento ha sido de 0.7°C (INE, Semarnat, 2009).

El calentamiento observado a nivel nacional y mundial está correlacionado con el aumento, en las latitudes medias, de la cantidad de días cálidos extremos, la disminución de la cantidad de días gélidos extremos y la disminución del número de heladas (IPCC, 2007c). Los registros demuestran que las olas de calor en el mundo aumentaron en frecuencia y duración. Por ejemplo, en el verano de 2003 Europa occidental y central enfrentaron una intensa ola de calor que provocó la muerte de 35 mil personas. Ese verano fue el más cálido

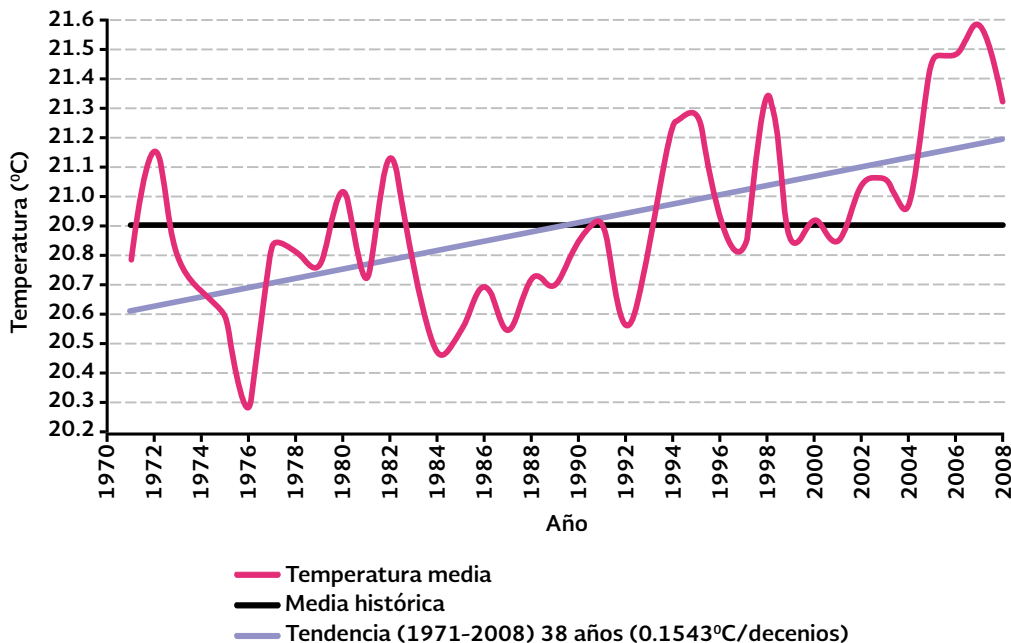
registrado desde 1780 en ese continente. El calentamiento global también ha traído consigo cambios importantes en la biodiversidad (ver Recuadro *Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad*).

### Precipitación

De acuerdo con el IPCC, a partir de 1976 la humedad superficial aumentó en estrecha relación con las temperaturas más altas tanto terrestres como oceánicas. El vapor de agua total en el aire, sobre los océanos, aumentó 1.2% por década desde 1988 hasta 2004, lo que podría reflejarse en el aumento de precipitaciones tanto en forma de lluvia como de nieve (IPCC, 2007c). Se ha observado un incremento significativo de las precipitaciones en zonas orientales de América del Norte y del Sur, Europa septentrional y en Asia septentrional y central, así como condiciones más secas en el Mediterráneo, África meridional y algunas

Variación de la temperatura promedio en México, 1971 - 2008

Figura 5.23



Fuente: SMN. 2009. En: INE, Semarnat. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 2009.



La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, resultado de la intensa actividad humana de los últimos 250 años, ha traído consigo alteraciones importantes en el clima global y a la biodiversidad de muchas regiones del planeta. 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 aquellos derivados de los cambios de uso del suelo, de la urbanización y de la sobreexplotación de los recursos naturales, entre otros.

Durante la última década se han publicado una cantidad importante de estudios que demuestran los efectos del cambio climático global sobre la biodiversidad de todos los continentes y la mayoría de los océanos (IPCC, 2001; IPCC, 2007). A nivel de ecosistemas, los cambios regionales del clima han ocasionado principalmente: *i*) la modificación de su distribución (p. e., bosques que migran hacia el norte en altas latitudes del hemisferio), *ii*) el remplazo de ecosistemas (p. e., 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). Los ecosistemas también se degradan por los efectos que el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (p. e., huracanes, sequías, inundaciones, granizadas y rachas de vientos) y la presencia de plagas y enfermedades, han tenido en su estructura, composición y dinámica (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

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 ellas. Con respecto a la fenología, se han observado cambios en los tiempos de reproducción (tanto en la floración de las plantas como en la puesta de huevos o el inicio del cortejo en los animales), en la migración y en el desacoplamiento de los ciclos de vida de depredadores y presas. Morfológicamente, se han encontrado 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 significativas y tener graves impactos sobre el bienestar humano. Según la última evaluación del IPCC, si el incremento futuro de la temperatura oscila entre 1.5 y 2.3°C, 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, 2007; Parmesan y Yohe, 2007). Por ejemplo,

la extinción de especies de algunos grupos, como los anfibios, ya se asocia al cambio climático global. No debe olvidarse que la pérdida de especies no significa tan 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.

**Referencias:**

IPCC. *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2001.

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007.

Parmesan, C. y Yohe, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across Natural systems. *Nature* 421: 37-42. 2003.

The Royal Society. *Biodiversity-climate interactions: adaptation, mitigation and human livelihoods*. United Kingdom. 2007.

zonas de Asia meridional (Figura 5.24; IPCC, 2007c y 2008).

Aunque en muchas regiones del planeta han aumentado las precipitaciones, también lo han hecho las zonas de sequía, así como su duración e intensidad. La mayoría de los estudios que miden la sequía utilizan los cambios en las precipitaciones unidos a la temperatura, como en el caso del Índice de Severidad de Sequías Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés). Con base en este índice, el IPCC indica que se han registrado sequías más intensas y largas en los trópicos y subtropicos a partir de 1970 (IPCC, 2007c). Estos cambios se deben a la intensificación de la falta de humedad debido a temperaturas más altas y a la disminución de las precipitaciones (ver el Recuadro *Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía* en el capítulo *Agua* y la sección *El problema de la desertificación* en el capítulo *Suelos*).

**Huracanes**

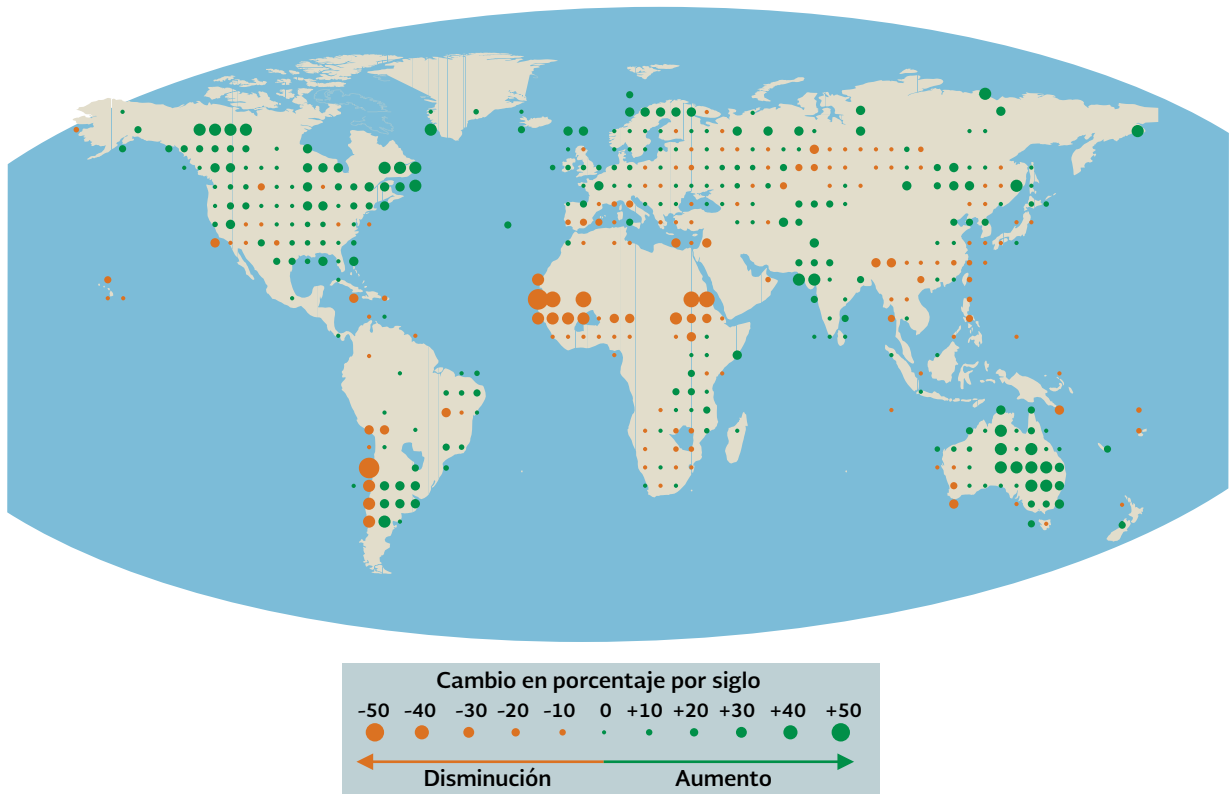
El efecto de la temperatura sobre la actividad ciclónica es un tema polémico. A la fecha no

se ha encontrado una correlación clara entre la temperatura y el número de huracanes; sin embargo, existe cada vez más evidencia de que la intensidad de los huracanes sí ha sido influenciada por la creciente temperatura de los océanos. A nivel global, el número de huracanes de categoría 1<sup>16</sup> ha sido relativamente constante; en contraste, los huracanes de las categorías más fuertes (4 y 5) prácticamente duplicaron su número y proporción respecto al número total de huracanes registrados durante la década pasada (Figura 5.25; Webster *et al.*, 2005). Las proyecciones para el año 2100 indican consistentemente que el incremento de la temperatura hará que aumente globalmente la intensidad media de los ciclones tropicales entre 2 y 11% (Bender *et al.*, 2010; Knutson *et al.*, 2010).

**Nivel del mar**

El incremento del nivel del mar se debe principalmente a dos factores: la expansión de los cuerpos de agua marina debido a su calentamiento y la contribución del

<sup>16</sup> La escala Saffir-Simpson clasifica a los huracanes de acuerdo con la intensidad del viento; las categorías van de 1 a 5.

**Fuente:**

IPCC. Resumen Técnico. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. 2007.

agua que se derrite de los glaciares. Con respecto al primero de ellos, los océanos han absorbido alrededor del 80% del calor que se ha adicionado al sistema climático (IPCC, 2007c). Su expansión térmica aumentó significativamente desde la segunda mitad del siglo XX y contribuyó con alrededor del 25% del incremento del nivel del mar a partir de 1960, mientras que para el periodo 1993-2003 lo hizo en aproximadamente 50% (Nicholls y Cazenave, 2010). Sin embargo, es importante señalar que el incremento de la temperatura del mar no ha ocurrido en todo el planeta: zonas del Atlántico Norte, Pacífico Norte y Pacífico ecuatorial se enfriaron durante los últimos 50 años, siguiendo un patrón opuesto a la tendencia global de calentamiento (IPCC, 2007c).

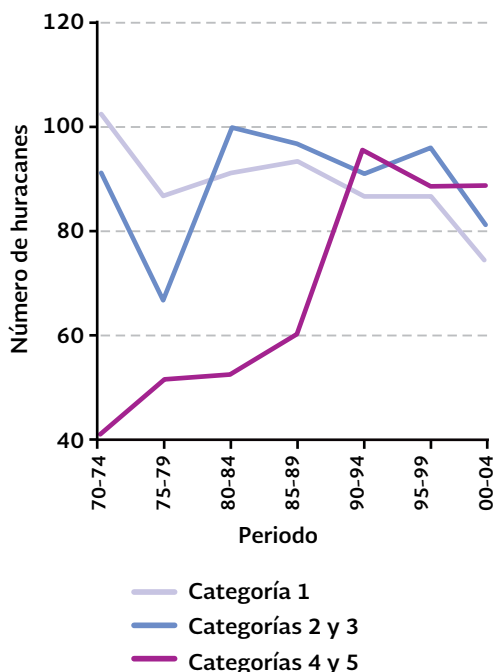
El incremento total del nivel medio del mar para el siglo XX se ha estimado en 17 centímetros,

con un rango entre 12 y 22 centímetros (IPCC, 2007a). El promedio mundial de aumento del nivel del mar fue, en el periodo 1961-2003, de 1.8 milímetros por año (con un rango de 1.3 a 2.3 mm; Figura 5.26). Sin embargo, entre 1993 y 2003, la tasa de incremento promedio alcanzó los 3.1 milímetros (2.4 a 3.8 mm) por año (IPCC, 2007a; Nicholls y Cazenave, 2010). Tal vez este incremento parezca mínimo, pero si se considera que existen numerosas ciudades ubicadas en zonas costeras bajas e incluso por debajo del nivel del mar (como es el caso de Ámsterdam, Holanda, que está en promedio a 4 metros por debajo del nivel del mar), pequeños cambios en el nivel pueden tener efectos importantes.

Por otro lado, el deshielo de los glaciares contribuyó con alrededor del 30% del incremento del nivel del mar de 1993 a 2009 (Nicholls y Cazenave, 2010). De acuerdo con

## Ocurrencia global de huracanes por categoría, 1970 - 2004

Figura 5.25



**Fuente:**

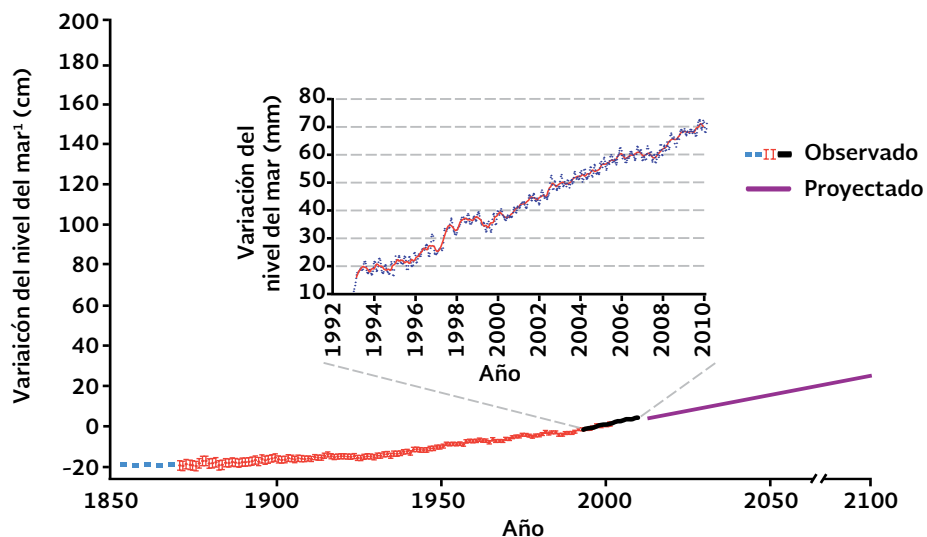
Webster, P.J., G.J. Holland, J. A. Curry y H. R. Chang. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* 309: 1844-1846. 2005.

el IPCC, el derretimiento de los glaciares y casquetes polares contribuyó con 0.05 metros al incremento del nivel del mar en el periodo 1961-2003 y con 0.077 metros entre 1993 y 2003 (IPCC, 2007c).

México también ha sido afectado por la elevación del nivel del mar. Los registros indican que la mayoría de los 17 sitios estudiados en el Golfo de México y el Pacífico mexicano, entre principios de los años cincuenta y el año 2000, muestran tendencias de incremento en el nivel, excepto Acapulco, Guerrero, cuya tendencia fue negativa debido a un movimiento de la corteza terrestre provocado por un doble sismo (Semarnat *et al.*, 2008). En la Figura 5.27 se observa la tendencia del nivel del mar en algunos de los 17 sitios analizados. En el Golfo de México, el incremento registrado varió de 1.79 milímetros por año en Alvarado, Veracruz, hasta 9.16 milímetros en Ciudad Madero, Tamaulipas; no obstante, debe considerarse que los periodos de datos para ambos sitios son diferentes. En el Pacífico mexicano sobresalen Guaymas (Sonora) y Manzanillo (Colima) con

## Variación del nivel medio global del mar, 1850 - 2100

Figura 5.26

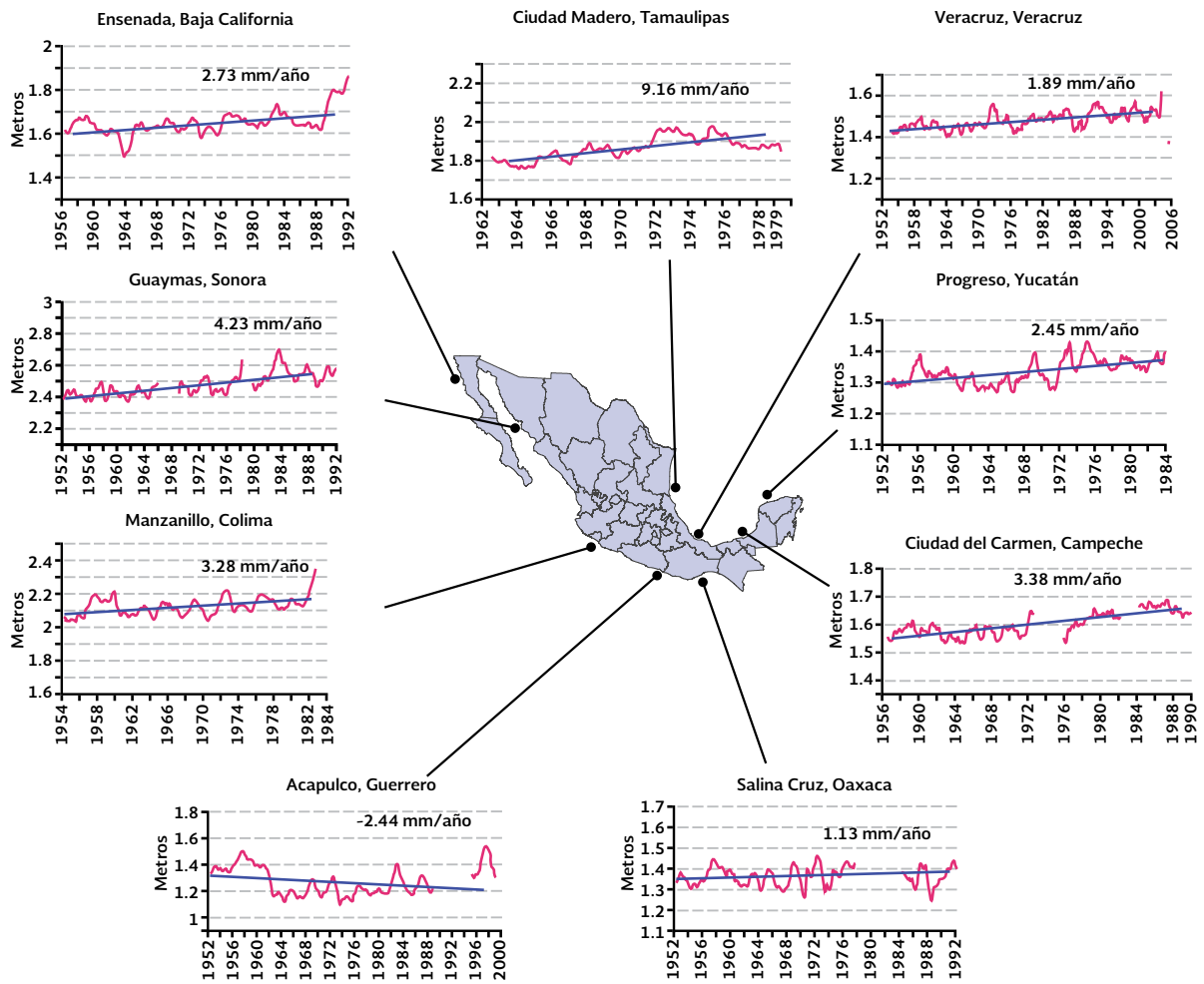


**Nota:**

<sup>1</sup> Para los datos observados, las curvas azul y roja se basan en mediciones con mareógrafos y la curva negra en registros de altimetría. Acercamiento para el periodo 1993-2009.

**Fuente:**

Nicholls, R. J. y A. Cazenave. Sea-Level Rise and its Impact on Coastal Zones. *Science* 328: 1517-1520. 2010.



Fuente:

INE, Semarnat y UNAM. Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos. México. 2008.

incrementos anuales de 4.23 y 3.28 milímetros, respectivamente (Semarnat et al., 2008).

### Deshielos

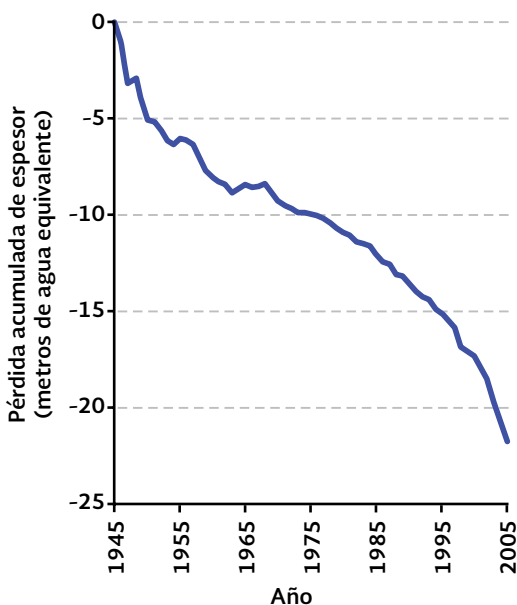
Los glaciares y casquetes polares que cubren actualmente alrededor del 10% de la superficie terrestre del planeta, experimentaron una amplia pérdida de masa y contribuyeron al aumento del nivel del mar durante el siglo XX (UNEP y WGMS, 2008). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el

Desarrollo (UNEP, por sus siglas en inglés) y con el Servicio de Monitoreo Global de los Glaciares (WGMS, por sus siglas en inglés) el balance global de masa promedio de los glaciares fue negativo en las seis décadas pasadas, lo que significa que el volumen perdido de hielo fue mayor al volumen acumulado. La pérdida acumulada de espesor del hielo en 2005 fue de aproximadamente 15 metros de agua equivalente (mae)<sup>17</sup> respecto al año 1980 (Figura 5.28; UNEP y WGMS, 2008).

<sup>17</sup> El balance de masa se expresan en metros de agua equivalente, que representa el espesor medio perdido (valor negativo) o ganado (valor positivo) del glaciar durante ese año en particular.

## Balance global de masa promedio de los glaciares, 1945 - 2005

Figura 5.28



Fuente: UNEP y WGMS. *Global Glacier Changes: facts and figures*. 2008.

Por otro lado, las mediciones de la longitud de algunos glaciares en el mundo han estado disponibles desde finales del siglo XIX, lo que muestra un retroceso general con respecto a su tamaño en la Pequeña Edad de Hielo, que abarcó desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX (UNEP y WGMS, 2008).

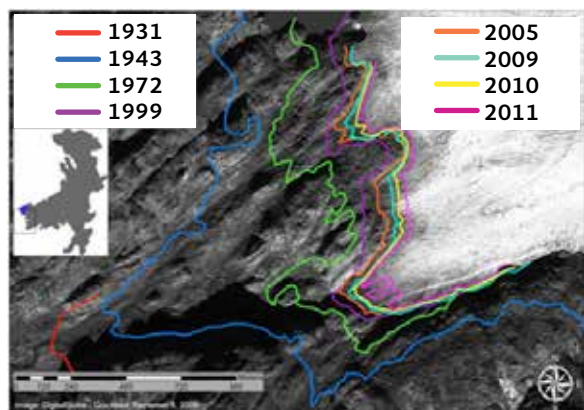
De acuerdo con un estudio de la NASA, las capas de hielo de Groenlandia y Antártica están perdiendo masa a un ritmo muy acelerado: en el año 2006 cada una de estas capas de hielo perdió, en promedio, una masa de 475 gigatoneladas<sup>18</sup>, lo cual sería suficiente para elevar el nivel del mar 1.3 milímetros por año. En 2011, el deshielo en Groenlandia fue de alrededor de 430 gigatoneladas, es decir, el tercer deshielo más importante registrado en el mundo desde 1979 (NOAA, 2011b).

La Figura 5.29 muestra el retroceso del glaciar Mittivakkat, al sureste de Groenlandia, en el periodo 1931-2011. El límite del glaciar ha retrocedido alrededor de 1 600 metros

## Pérdida de hielo en Groenlandia y el Ártico

Figura 5.29

### Retroceso del glaciar Mittivakkat en Groenlandia

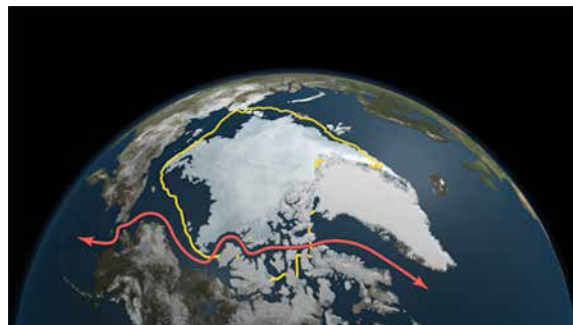


El hielo retrocedió 1 300 metros desde 1931.

#### Fuentes:

NOAA. *Arctic Report Card: Update for 2011. Greenland Ice Sheet*. 2011. Disponible en: [www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland\\_ice\\_sheet.html](http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland_ice_sheet.html). Fecha de consulta: octubre de 2012.  
 NASA. *Arctic Sea Ice Continues Decline, Hits 2nd-Lowest Level*. 2011. Disponible en: [www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-ice-min.html](http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-ice-min.html). Fecha de consulta: octubre de 2012.

### Retroceso del hielo en el casquete polar Ártico



En el 2011 el hielo marino se redujo a un nivel mucho menor que el promedio de 30 años (línea amarilla), con lo que se abrieron rutas de navegación al noroeste (línea roja).

<sup>18</sup> Una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas métricas.

en total desde 1900 y 1 300 metros desde 1931 (NOAA, 2011a). En la misma Figura se observa la reducción de la extensión del hielo en el casquete polar Ártico: en septiembre de 2011 alcanzó el segundo nivel más bajo registrado (4.61 millones de km<sup>2</sup>) con respecto al promedio de treinta años registrado entre 1970 y 2000 (7.04 millones de km<sup>2</sup>; NASA, 2011).

Los deshielos también han afectado a los glaciares de montaña: en el 2006 perdieron 402 gigatoneladas al año en promedio (NASA, 2011). Los glaciares de los Alpes suizos, en el periodo 1850-1980, perdieron un tercio de su superficie y al menos la mitad de su masa, y de seguir esta tendencia, para el 2050 el 75% de ellos habrá desaparecido (EEA, 2004). En América Latina, durante los próximos 15 años, es muy probable que los glaciares intertropicales desaparezcan (IPCC, 2007c). En el caso particular de México, los glaciares del Iztaccíhuatl sufrieron reducciones de hasta el 40% de su extensión entre 1960 y 1983, mientras que el Pico de Orizaba y el Popocatepetl mostraron 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; Delgado *et al.*, 2007).

Las consecuencias de los deshielos no solo se observan en el incremento del nivel del mar. Más de un sexto de la población mundial, que vive en cuencas fluviales alimentadas por los glaciares o por la nieve derretida, será afectada al reducirse la disponibilidad de agua y la generación de energía hidroeléctrica por la disminución en la extensión de los glaciares y la nieve (IPCC, 2007c).

## EL CLIMA DEL FUTURO Y SUS CONSECUENCIAS

### Impactos futuros globales

La gran cantidad de factores que intervienen para determinar el clima hacen compleja y

difícil la tarea de proyectar el clima del futuro. A pesar de la incertidumbre asociada, los escenarios más conservadores con cambio climático, proyectan 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 promovido 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 CO<sub>2</sub> en el año 2100 podría ser de entre 540 y 970 ppm, muy superiores a las 280 ppm registradas en el periodo 1000-1750 y entre 1.4 y 2.5 veces superior a la concentración actual (392 ppm). Como consecuencia de la concentración prevista para el 2100, el aumento de la temperatura media superficial del planeta podría ser de entre 1.8 y 4°C para finales 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. Es importante decir que dicho calentamiento será diferencial, mayor sobre la superficie terrestre y en latitudes más boreales y menor sobre el océano Antártico y el norte del Atlántico, estimándose su incremento de 0.2°C por década en los próximos veinte años. Para América Latina se ha proyectado un incremento de temperatura de entre 1 y 6°C para finales del siglo XXI, así como anomalías en la precipitación con incrementos en las zonas tropicales y disminuciones en el sur.

El aumento de la temperatura podría traer 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 presente siglo, 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). También se prevé que el derretimiento de la placa de hielo de Groenlandia continúe contribuyendo con la elevación del nivel del mar, por lo menos hasta el año 2100 (IPCC, 2007a).

En algunas regiones del planeta, 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 (IPCC, 2007a). 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). También es probable que aumente la frecuencia e intensidad de los huracanes en el Caribe, así como la ocurrencia de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos (Figura 5.30; IPCC, 2007c).

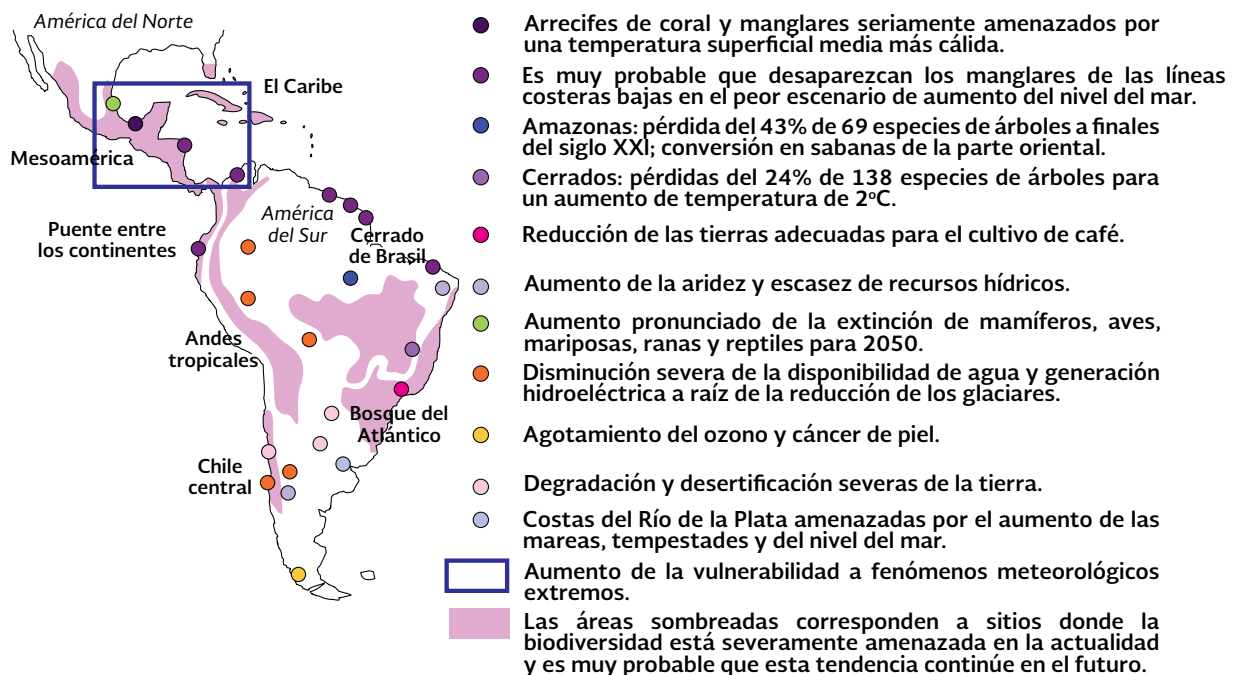
En el caso de la biodiversidad, se ha planteado por ejemplo, la reducción e incluso la pérdida de las poblaciones de numerosas especies y ecosistemas; mayores tasas de blanqueamiento en los arrecifes de coral; la reducción o expansión de las áreas de distribución de diversas especies de invertebrados, 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. Los científicos han previsto que los bosques tropicales puedan convertirse gradualmente en sabanas a mediados de siglo en el este del Amazonas y en los bosques tropicales de México central y meridional. También prevén que la vegetación semiárida sea árida en el noreste de Brasil y en una gran parte de México central y septentrional debido al incremento de temperatura y a la disminución del agua en el suelo. Es muy probable que en el 2050 el 50% de las tierras agrícolas enfrenten desertificación y salinización. Además, puede haber una pérdida significativa de biodiversidad debido a la extinción de especies en muchas zonas tropicales de América Latina (IPCC, 2007c).

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 vectores podría

## Impactos previstos del cambio climático en América Latina

Figura 5.30



**Fuente:**  
IPCC. Resumen Técnico. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Francia. 2007.



extenderse (IPCC, 2001; NAS, 2001; Townsend *et al.*, 2002; CBD, 2003; Smith *et al.*, 2003).

### Impactos futuros en México

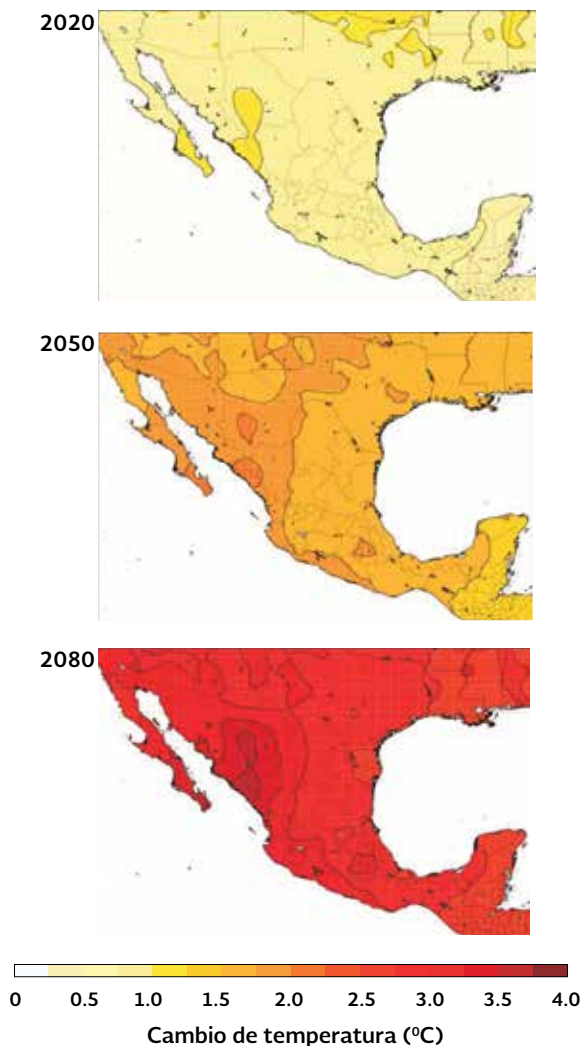
Existen diversas estimaciones de los efectos que el cambio climático podría tener en México para diferentes sectores. En este texto se hará mención de algunos de ellos y se recomienda consultar, para mayores detalles, los estudios específicos o bien la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En la Cuarta Comunicación se incluyen proyecciones sobre los sectores pesquero, forestal, agrícola, ganadero, turístico y de salud humana, entre otros.

De acuerdo con la Cuarta Comunicación Nacional, el escenario<sup>19</sup> para el que se proyectan los mayores aumentos de temperatura, prevé que los cambios más importantes ocurran en el noroeste de México y la zona del Golfo de California, mientras que en el sureste se prevén los menores incrementos (Figura 5.31; INE, Semarnat, 2009).

En lo que se refiere a las precipitaciones en este mismo escenario, las proyecciones indican que, hacia mediados y finales de este siglo, las lluvias disminuirán en gran parte del país (Figura 5.32), siendo la región noroeste de México, en la parte alta del Golfo de California, la más afectada. El promedio anual nacional de precipitaciones podría disminuir entre 11 y 30% en la región noroeste para finales de este siglo (INE, Semarnat, 2009).

El incremento del nivel del mar podría afectar los ambientes costeros causando inundaciones, pérdida de humedales, erosión, intrusión de agua salada en los acuíferos y aumento en los niveles freáticos. Un estudio sobre la vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el incremento del nivel del

**Cambios proyectados en la temperatura media nacional con respecto al periodo 1970 - 1999** **Figura 5.31**



#### Incremento de temperatura proyectado a nivel nacional, 2020 - 2080

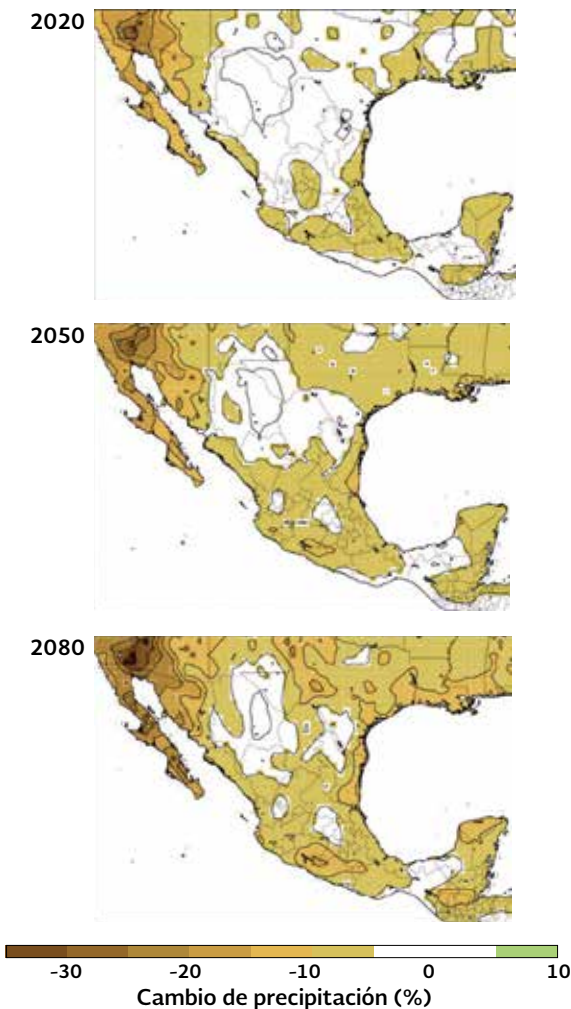
Década	Norte del país	Sur del país
2020	1.3±0.8°C	0.5±0.5°C
2050	2.3±1.0°C	1.3±0.3°C
2080	3.5±1.3°C	2.5±0.3°C

**Fuente:**

INE, Semarnat. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 2009.

<sup>19</sup> El escenario empleado (llamado A2) es uno de los que contempla la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y considera un alto crecimiento económico, elevadas emisiones de GEI, así como un desarrollo económico diferencial por regiones (Nakicenovic *et al.*, 2000).

**Cambios proyectados en la precipitación anual con respecto al periodo 1970 - 1999** **Figura 5.32**



**Cambios proyectados en la precipitación a nivel nacional, 2020 - 2080**

Década	Centro y norte del país	Centro y noroeste del país	Sur y sureste del país
2020	-5%	-10%	-5%
2050	-5%	-5 y -10%	-5%
2080 <sup>1</sup>	-5%	-10%	-5%

**Nota:**  
<sup>1</sup> Para la década 2080 las precipitaciones serán similares a las de 2020 y 2050, pero intensificadas.

**Fuente:**  
 INE, Semarnat. México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 2009.

mar, realizó proyecciones de las afectaciones en México bajo tres escenarios de incremento del nivel: 0.6, 1 y 2 metros (INE, Semarnat y UNAM, 2008). En caso de un incremento de 2 metros, la superficie nacional afectada sería de 29 622.6 km<sup>2</sup>, siendo Campeche, Sinaloa y Quintana Roo los estados más afectados en términos absolutos. En términos relativos a su superficie, Tabasco (14%) sería el más afectado, seguido por Quintana Roo (11.9%), Campeche (9.5%) y Sinaloa (8.9%; Figura 5.33). En el caso del menor incremento del nivel del mar (0.6 m), los estados más afectados serían Tabasco (21.2% de su superficie), Campeche (13.3%) y Sinaloa (9.5%).

En lo que se refiere a los recursos hídricos del país, éstos pueden ser fuertemente impactados por el cambio climático. Un estudio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) evaluó la variación de la disponibilidad de agua en el país, concluyendo que dado que la cantidad y la calidad del agua actualmente son vulnerables<sup>20</sup>, la vulnerabilidad crecerá en condiciones de cambio climático, siendo las regiones hidrológico-administrativas más afectadas la Noroeste y Río Bravo, seguidas de Cuencas Centrales del Norte, Baja California y Valle de México (Mapa 5.12; INE, Semarnat e IMTA 2008).

Con respecto a los efectos sobre la biodiversidad nacional, y en el caso particular de los ecosistemas, las proyecciones realizadas por un estudio del Instituto Nacional de Ecología (2009) indican que los cambios más notables se observarán en el norte del país, con reducciones potenciales en la superficie de los bosques de coníferas. Se estima también que con una elevación de un metro en el nivel del mar, se perderán superficies de humedales en las costas del Pacífico Sur, de la Península de Baja California, El Caribe y el Golfo de México. El mismo estudio sugiere que el incremento en

<sup>20</sup> El estudio definió un índice de vulnerabilidad, que considera la presión o intensidad de uso del recurso, sobreexplotación, intrusión salina y grado de contaminación, además de los efectos del cambio climático.

## Zonas afectadas ante un escenario de incremento de dos metros del nivel del mar en México<sup>1</sup>

Figura 5.33



Estados costeros más impactados		
Estado	Superficie afectada (km <sup>2</sup> )	Superficie relativa <sup>2</sup> (%)
Campeche	5 503.0	9.50
Sinaloa	5 106.6	8.90
Quintana Roo	5 058.0	11.94
Veracruz	3 806.0	5.30
Tabasco	3 463.0	14.00
Tamaulipas	2 886.0	3.60
Yucatán	2 484.0	6.27
Nayarit	1 316.0	4.73

### Notas:

<sup>1</sup> Las áreas en rojo corresponden a las afectadas por el incremento del nivel del mar.

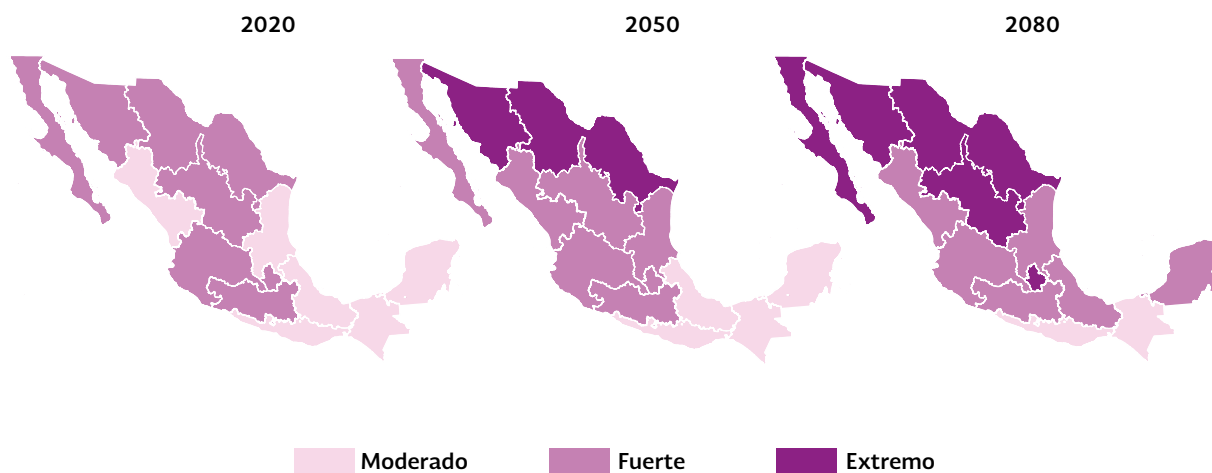
<sup>2</sup> La superficie relativa está en función de la superficie total del estado.

### Fuente:

INE, Semarnat y UNAM. *Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos*. México. 2008.

## Índice de vulnerabilidad por cantidad y calidad de recursos hídricos<sup>1</sup>

Mapa 5.12



### Nota:

<sup>1</sup> El índice de vulnerabilidad considera la presión o intensidad del uso del recurso, sobreexplotación, intrusión salina y grado de contaminación, además de los efectos del cambio climático. El escenario empleado (llamado A2) es uno de los que contempla la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y considera un alto crecimiento económico, elevadas emisiones de GEI, así como un desarrollo económico diferencial por regiones.

### Fuente:

INE, Semarnat e IMTA. *Evaluación de la afectación de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos por efecto de la variabilidad y el cambio climático y su impacto en la biodiversidad, agricultura, salud, turismo e industria*. México. 2008.

la intensidad de los huracanes provocará una mayor erosión de playas y dunas en la Riviera Maya en Quintana Roo, donde ya se notan los efectos en algunas zonas de manglar que han quedado expuestas a la erosión directa por el oleaje. A nivel de grupo taxonómico, el trabajo del INE prevé que para mediados del presente siglo, 30 de las 61 especies de mamíferos que consideraron en el estudio pierdan 50% o más de su área de distribución actual y que, por lo menos para nueve de ellas, se reduzca en más del 80%.

## MEDIDAS PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Como respuesta a esta problemática mundial, en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992, se adoptó 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 impida las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. México firmó y ratificó este acuerdo en 1992 y 1993, respectivamente (UNEP, 2002; PEF, 2009).

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 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 1997 y lo ratificó en el 2000 como país No Anexo I (países en desarrollo; CICC, 2007).

A marzo de 2012, 192 países habían ratificado, aprobado o aceptado el Protocolo, los cuales, en conjunto, emiten el 63.7% del

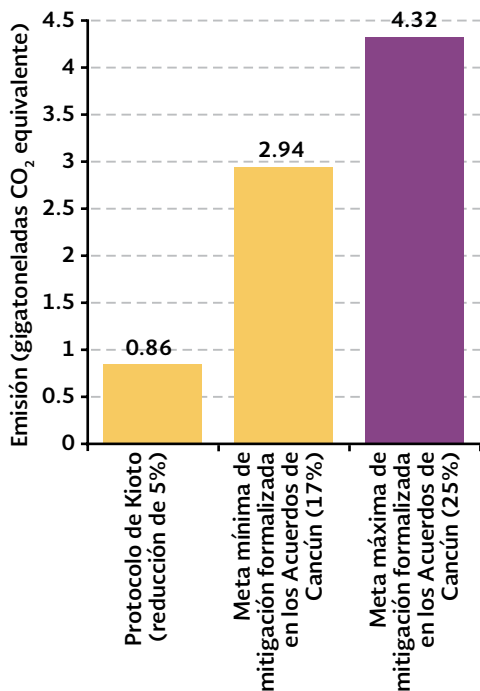
total de gases de efecto invernadero de los países desarrollados o con economías en transición (UNFCCC, 2012). Algunos de los países que más GEI emiten a la atmósfera se han negado a ratificar el Protocolo de Kioto, entre ellos Estados Unidos, responsable de aproximadamente el 18% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en el 2009. 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 requería ser 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.

Dado que el Protocolo contempla compromisos de reducción para el periodo 2008-2012, se han realizado negociaciones para darle continuidad al término de su vigencia, habiéndose aceptado en la COP 17 de Durban, en Sudáfrica, en 2011, un segundo periodo de compromisos con una duración que no ha sido definida, pero que podría ser a 2018 o 2020. En la Conferencia de las Partes celebrada en el año 2010 en Cancún, México, se formalizaron los compromisos de mitigación de los países desarrollados. Las reducciones esperadas son mayores a las contenidas en el Protocolo de Kyoto; en el caso de los países desarrollados, para 2020, están entre 17 y 25% por debajo de sus emisiones de 1990 (Figura 5.34; Semarnat, 2011).

En el marco de estos acuerdos internacionales, México ha impulsado distintas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. El país ha destacado a nivel internacional como una de las naciones que más esfuerzos dedica a enfrentar este problema. Sobresalen el impulso a la propuesta de la creación, a nivel global, del Fondo Verde Climático como mecanismo financiero de la Convención, para apoyar las acciones de adaptación y mitigación de los países en desarrollo (Semarnat, 2011) y la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009-2012. Como resultado de las metas establecidas en el PECC, a junio de 2012 se habían reducido

## Emisiones mitigadas con el Protocolo de Kioto y metas de mitigación post-Kioto

Figura 5.34



Fuente: Semarnat. COP 16. CMP6 México 2010. Las conferencias de Cancún un espacio sobre cambio climático para todos. México, 2011.

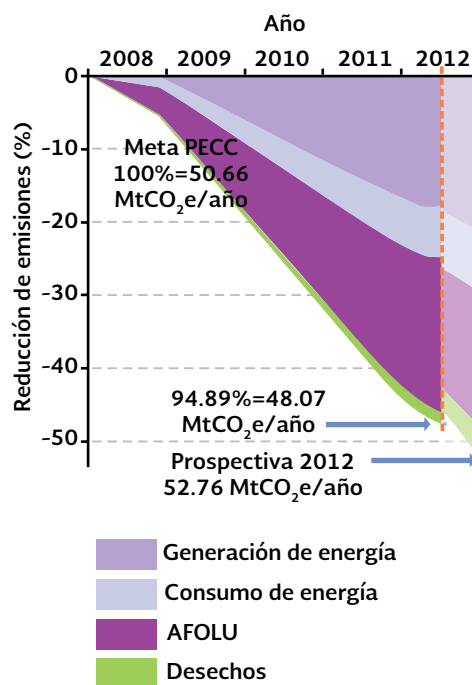
48.07 MtCO<sub>2</sub>e/año a nivel nacional, lo que equivale a 94.89% de avance respecto a la meta a 2012 (50.66 MtCO<sub>2</sub>e/año; Figura 5.35). Algunas otras de las medidas tomadas por México en materia de cambio climático se presentan en la Tabla 5.3.

De acuerdo con el Informe Stern (*Stern review: the economics of climate change*), si no se toman medidas efectivas desde ahora, el costo total por los impactos del cambio climático podría ser equivalente a cuando menos el 5% anual del PIB global. Es importante destacar que si se consideran los riesgos y 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 presentó, en el año 2009, su propio estudio sobre las implicaciones económicas del cambio climático. En él se destaca que este fenómeno global tendrá consecuencias económicas negativas para nuestro país: los "...costos económicos de los impactos climáticos al 2100 serán al menos tres veces superiores que los costos de mitigación de 50% de nuestras emisiones. Por ejemplo, en uno de los escenarios considerados, con tasa de descuento del 4% anual, se estimó que los impactos climáticos alcanzan, en promedio, el 6.22% del PIB actual mientras que los costos de mitigación de 50% de las emisiones representarían el 0.70% y 2.21% del PIB, a 10 y 30 dólares la tonelada de carbono respectivamente" (Semarnat y SHCP, 2009). Esto significa que los costos de la inacción son más elevados que los de mitigación.

## Avance a junio de 2012 en la mitigación de emisiones derivado de las acciones del PECC

Figura 5.35



Fuente: Dirección General de Políticas de Cambio Climático, Semarnat. *Avances y Perspectivas de Cumplimiento al Tercer Bimestre 2012*. México, 2012. Disponible en: [www.cambioclimatico.gob.mx/index.php/es/publicaciones.html](http://www.cambioclimatico.gob.mx/index.php/es/publicaciones.html). Fecha de consulta: agosto de 2012.

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
<p><b>Ley General de Cambio Climático</b></p>	<p>En junio de 2012 se publicó el decreto de esta ley que busca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la cooperación entre la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas en la materia;</li> <li>II. Regular las emisiones de gases de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático;</li> <li>III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;</li> <li>IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país y crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;</li> <li>V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación;</li> <li>VI. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y</li> <li>VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.</li> </ul>
<p><b>Programa Especial de Cambio Climático (PECC)</b></p>	<p>Este programa, planteado para el periodo 2009-2012, se basa en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. El programa describe las acciones de reducción o mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y presenta políticas públicas para la adaptación al cambio climático mediante 294 metas específicas planteadas por la Administración Pública Federal. El PECC plantea alcanzar una reducción de 50.6 MtCO<sub>2</sub>e/año en el año 2012 y una visión de largo plazo al año 2050.</p>
<p><b>La Economía del Cambio Climático en México</b></p>	<p>Publicado en el 2009, este estudio estima los costos económicos que el cambio climático antropogénico generará para nuestro país, en especial para aquellos sectores de la población que, por su condición de pobreza, son los más vulnerables. Una de sus principales conclusiones señala que los costos de las acciones para combatir el cambio climático y mitigar sus efectos son muy inferiores a los daños económicos que pueden evitarse.</p>
<p><b>Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático</b></p>	<p>México ha asumido el compromiso internacional de presentar Comunicaciones Nacionales y es el único país en desarrollo que ha presentado su Cuarta Comunicación Nacional (2009). La Comunicación informa sobre las acciones realizadas a nivel nacional y subnacional en materia de mitigación de emisiones de GEI y adaptación e incluye la actualización del inventario. También integra un capítulo de las circunstancias nacionales y hace un análisis de las necesidades, carencias y obstáculos para entender y atender los problemas relacionados con el cambio climático. La Quinta Comunicación Nacional fue presentada durante la Conferencia de las Partes 18, en Doha, Qatar, a fines del 2012 e incluye el inventario actualizado a 2010. Las Comunicaciones Nacionales se pueden consultar en: <a href="http://www.inecc.gob.mx/cclimatico/comnal.html">www.inecc.gob.mx/cclimatico/comnal.html</a>.</p>
<p><b>Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero</b></p>	<p>El último inventario (1990-2010) incluye las emisiones antropogénicas por fuente y sumidero de todos los gases de efecto invernadero. Los inventarios se elaboran usando metodologías de comparación aceptadas y promovidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y con ellos se cumplen los compromisos adquiridos ante ella. Los inventarios pueden ser consultados en: <a href="http://www.inecc.gob.mx/cclimatico/inventario.html">www.inecc.gob.mx/cclimatico/inventario.html</a>.</p>

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
<p><b>Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC)</b></p>	<p>En mayo de 2007 se publicó la ENACC cuyos objetivos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar oportunidades de reducción de emisiones y desarrollar proyectos de mitigación.</li> <li>- 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.</li> <li>- Proponer líneas de acción, políticas y estrategias que sirvan de base para la elaboración de un Programa Especial de Cambio Climático.</li> </ul>
<p><b>Programa GEI México</b></p>	<p>Es un programa nacional voluntario de contabilidad y reporte de GEI y de proyectos de reducción de emisiones. El Programa es coordinado por la Semarnat y la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), con el soporte técnico del Instituto Mundial de Recursos (WRI, por sus siglas en inglés) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés).</p> <p>Las empresas reportan anualmente sus emisiones de GEI. Los resultados del Programa para el año 2010 son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empresas inscritas: 155.</li> <li>- Inventarios corporativos de GEI entregados: 100.</li> <li>- Total de emisiones contabilizadas por los reportes entregados: 121 millones de tCO<sub>2</sub>e.</li> <li>- Porcentaje de emisiones respecto al total del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: 18%.</li> </ul>
<p><b>Comisión Intersecretarial de Cambio Climático</b></p>	<p>La Comisión se creó en 2005 y tiene como atribución principal coordinar la planeación e integración sectorial de las políticas nacionales en materia de cambio climático. 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, Hacienda y Crédito Público, Gobernación, Salud, Turismo y Marina, así como por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Se apoya en siete Grupos de Trabajo: Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero; Mitigación; Adaptación; Programa Especial de Cambio Climático; REDD+ (actividades que reducen las emisiones por evitar la deforestación y degradación forestal y contribuyen a la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejoramiento de los acervos de carbono forestal); Negociaciones Internacionales y Vinculación con la Sociedad Civil.</p>
<p><b>Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero</b></p>	<p>Se creó en 2004 y funciona como Grupo de Trabajo de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático con la atribución de identificar oportunidades, así como facilitar y aprobar la realización de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero en México. A finales de junio de 2012, el Comité había otorgado 292 cartas de aprobación de proyectos. Los proyectos mexicanos registrados ante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) sumaban 144 hasta finales de julio de 2012 y habían recibido 16.03 millones de Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE), lo que coloca a México en el 5° lugar mundial de RCE recibidas.</p>

Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
<p><b>Impulso a la eficiencia y tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica</b></p>	<p>Para reducir las emisiones de GEI, combatir los efectos del cambio climático y contribuir a disminuir sus posibles efectos en el mediano y largo plazos, el Gobierno Federal ha puesto en práctica acciones orientadas a fomentar el uso de las energías renovables, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, y generar ahorros y un óptimo aprovechamiento de la energía para el país. Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha instrumentado proyectos de eficiencia energética, cogeneración, reducción de emisiones de metano, recuperación mejorada con bióxido de carbono y disminución de la quema de gas. Estos proyectos se encuentran en diferentes etapas del proceso de gestión de proyectos considerados Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) ante la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con la intención de ser presentados como actividad de proyecto en el marco del MDL.</p> <p>La Comisión Federal de Electricidad (CFE) elaboró desde 2007 un portafolio de 27 proyectos viables bajo el esquema de MDL, con una contribución estimada de 6.5 millones de toneladas evitadas de bióxido de carbono al 2012.</p>
<p><b>Promoción al uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte</b></p>	<p><b>Programa de Eficiencia Energética</b>                      Busca el ahorro de energía térmica en las instalaciones industriales y ahorro de energía eléctrica en inmuebles de la Administración Pública Federal (APF). En las instalaciones industriales, de enero de 2007 a junio de 2010 el ahorro de energía térmica ha sumado 9.62 millones de barriles de petróleo crudo equivalente. En los inmuebles de la APF el ahorro eléctrico fue de 119 millones de kilowatts-hora.</p> <p><b>Desarrollo de vivienda sustentable</b>                      La Comisión Nacional de Vivienda otorgó, a mayo de 2012, 165 124 hipotecas verdes, acumulando entre 2009 y mayo de 2012 un total de 832 358 hipotecas de este tipo. Se estima que cada vivienda de interés social equipada con ecotecnologías reduce sus emisiones anuales entre 1 y 1.5 tCO<sub>2</sub>.</p>
<p><b>Programas de adaptación al cambio climático</b></p>	<p>Existe una gran cantidad de programas, estudios e iniciativas para una adecuada adaptación al cambio climático a nivel nacional, sectorial, estatal, local y regional. A continuación, y sólo con el fin de ejemplificar, se enlistan algunos de ellos: 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; Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba: sectores agrícola, forestal e hídrico, Modernización del Servicio Meteorológico Nacional, así como la elaboración de los Atlas Regionales de Vulnerabilidad y del Atlas Nacional de Vulnerabilidad.</p> <p>Los programas de la Conafor (especialmente el ProÁrbol), los de conservación de hábitats a través de las Áreas Naturales Protegidas, 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, constituyen importantes esfuerzos del gobierno mexicano para proteger los sumideros de carbono existentes.</p> <p>Los planes de acción climática municipal buscan crear capacidades entre los tomadores de decisiones de los municipios sobre el cambio climático y sus impacto, así como promover políticas públicas a nivel local.</p>



Medidas, compromisos o acciones tomadas	Observaciones
Programas de adaptación al cambio climático	Los Programas Estatales de Acción frente al Cambio Climático (PEACC) apoyan en la planeación y desarrollo de políticas públicas estatales en la materia. Los Programas involucran además de los inventarios y escenarios de emisiones, una revisión sobre la variabilidad climática y cambio climático local y estatal; una evaluación de la vulnerabilidad e impactos en los sectores o regiones de los estados para determinar las estrategias de mitigación y adaptación. Al año 2012 existían ocho PEACC concluidos y 24 en desarrollo.
Programas de comunicación y difusión del cambio climático	Programas de difusión y participación en actividades internacionales e integración del tema en políticas nacionales. Por ejemplo: Portal de cambio climático: <a href="http://www.inecc.gob.mx/cclimatico/index.html">www.inecc.gob.mx/cclimatico/index.html</a> ; 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. Existen también diversas publicaciones, tanto técnicas como de difusión al público en general, disponibles en las páginas electrónicas de la Semarnat e INECC.
<p><b>Nota:</b>  <sup>1</sup> Para ampliar la información sobre las medidas, programas e iniciativas aquí mencionadas se recomienda visitar la página electrónica de la Semarnat y otras dependencias involucradas. En particular se recomienda visitar el sitio de cambio climático de la Semarnat, disponible en: <a href="http://www.cambioclimatico.gob.mx/">www.cambioclimatico.gob.mx/</a> o el Portal de Cambio Climático del INECC, disponible en: <a href="http://www.cambio_climatico.inecc.gob.mx/">www.cambio_climatico.inecc.gob.mx/</a>, así como las Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático publicadas en la página del INECC: <a href="http://www.inecc.gob.mx">www.inecc.gob.mx</a>.</p> <p><b>Fuentes:</b>                      Conavi. <i>Avances del Sector Vivienda Mayo 2012</i>. México. 2012. Disponible en: <a href="http://www.conavi.gob.mx/documentos/coyuntura/avances-del-sector-mayo-2012.pdf">www.conavi.gob.mx/documentos/coyuntura/avances-del-sector-mayo-2012.pdf</a>. Fecha de consulta: agosto de 2012.                      Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático, Semarnat. México. 2012.                      Semarnat. <i>Acciones de México</i>. México. 2010. Disponible en: <a href="http://www.cambioclimatico.gob.mx/">www.cambioclimatico.gob.mx/</a>. Fecha de consulta: marzo de 2012.</p>	

## OSONO ESTRATOSFÉRICO

El adelgazamiento de la capa de ozono es otro de los problemas ambientales globales más importantes, debido a que dicha capa regula el paso de los rayos ultravioleta<sup>21</sup> (UV) emitidos por el Sol. La destrucción de la capa de ozono ha sido resultado de la acción de varios agentes, conocidos genéricamente como sustancias agotadoras del ozono (SAO), las cuales pueden existir naturalmente en la atmósfera o generarse como resultado de las actividades humanas; tienen como característica distintiva el contener en su estructura átomos de cloro, flúor y bromo. Las SAO antropogénicas más conocidas son los clorofluorocarbonos (CFC), pero también destacan los hidroc fluorocarbonos (HCFC), halones, bromuro de metilo (MBR), tetracloruro de

carbono (TET) y metil cloroformo (MCF). Las SAO se utilizan comúnmente en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado, espuma rígida de poliuretano, solventes, plaguicidas, aerosoles y extintores, entre otros. Al ser emitidas, las SAO alcanzan la estratosfera, donde participan en una serie de reacciones que liberan átomos de cloro y bromo que destruyen la molécula del ozono. Para dar una idea de la capacidad destructiva de estas sustancias, un átomo de cloro o bromo puede destruir hasta 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. En particular, las condiciones

<sup>21</sup> La radiación ultravioleta (UV) es una forma de energía radiante que proviene del Sol y llega a la Tierra en las formas UV-A, UV-B y UV-C. Los rayos UV-A son los menos nocivos y llegan en menor cantidad a la superficie terrestre. Los UV-C son altamente energéticos y los más dañinos, sin embargo, la capa de ozono impide su paso. Por último, la radiación UV-B, también muy dañina, es retenida en su mayor parte por la capa de ozono, aunque una pequeña proporción alcanza la superficie y puede causar daños a las células y tejidos de los organismos.

atmosféricas en el Polo Sur favorecen las reacciones que convierten a las SAO en gases reactivos que destruyen al ozono. 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, los cuales 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; Manney *et al.*, 2011).

El adelgazamiento de la capa de ozono en Antártica ha producido lo que se conoce como el “agujero de ozono<sup>22</sup>”, observado por primera vez a principios de los años ochenta y que presentó su máximo tamaño registrado en el año 2000, cubriendo cerca de 29.9 millones de km<sup>2</sup> (Figura 5.36). En 2011, el tamaño máximo fue de 26 millones de km<sup>2</sup>, una superficie ligeramente más grande que Norteamérica

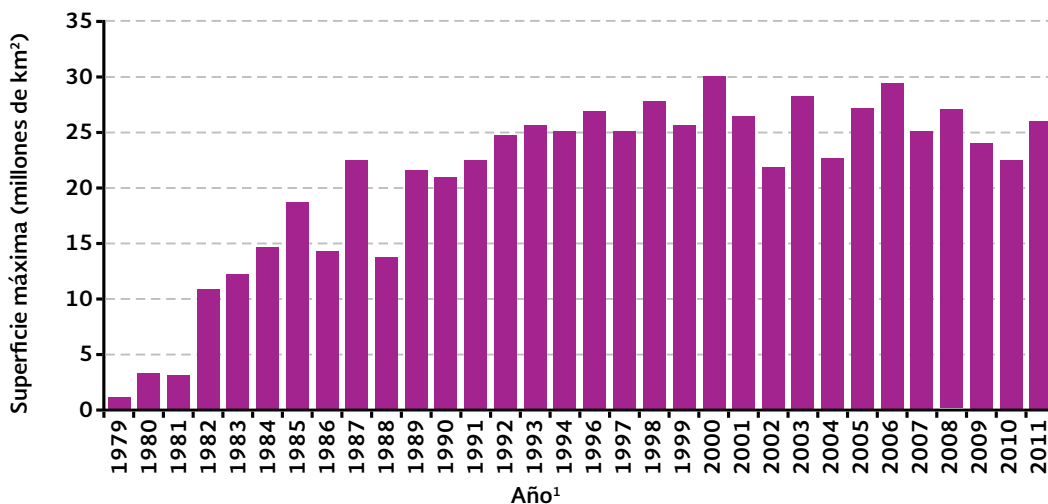
(NASA, 2011). Aunque el agujero de ozono se había registrado exclusivamente en Antártica, en el año 2011 se registró por primera vez en el Ártico. Ese año, las condiciones frías en la estratosfera baja ártica duraron más de lo habitual y fueron más severas, lo que permitió que se liberaran formas activas de cloro que destruyeron alrededor de 80% de las moléculas de ozono entre los 18 y 20 kilómetros de altitud (Manney *et al.*, 2011).

La Agencia Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés) monitorea la concentración de ozono en las principales ciudades del mundo, así como en los polos. En la Figura 5.37 se observan las concentraciones promedio anuales de ozono estratosférico global, en la Ciudad de México y Guadalajara y Antártica (en el mes de octubre<sup>23</sup>), entre 1979 y 2012. Es evidente la baja concentración que se registra desde principios de los años ochenta en octubre en Antártica, comparada con la concentración global (IB 1.3-3). En esa región



**Superficie máxima cubierta por el agujero de ozono, 1979 - 2011**

**Figura 5.36**



**Nota:**

<sup>1</sup> No hay datos disponibles para el año 1995.

**Fuentes:**

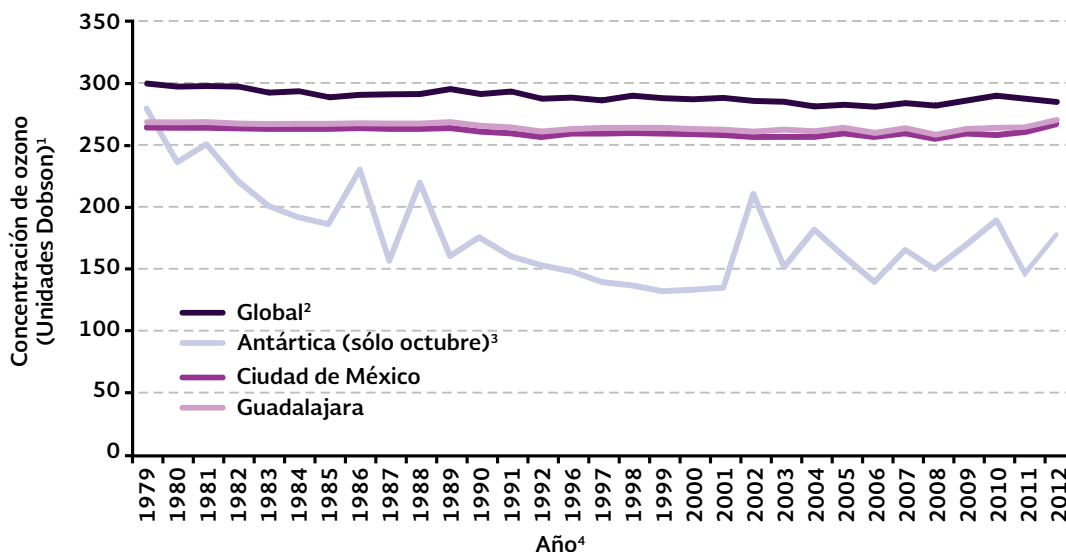
NASA. Ozone Hole Watch. Annual Records. 2011. Disponible en: [http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual\\_data.html](http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual_data.html). Fecha de consulta: marzo de 2012.

<sup>22</sup> Se considera que existe un “agujero” en la capa de ozono cuando la concentración de ozono estratosférico es inferior a 220 unidades Dobson (UD), concentración menor a la global 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).

<sup>23</sup> Se considera que el agujero de ozono en Antártica se forma en el mes de octubre.

## Concentración del ozono estratosférico: global, sobre Antártica y sobre dos ciudades mexicanas, 1979 - 2012

Figura 5.37



### Notas:

<sup>1</sup> Una unidad Dobson es una medida empleada 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 (nivel del mar).

<sup>2</sup> La concentración global de ozono en el año 2012 incluye mediciones hechas de enero a agosto; para Guadalajara y Ciudad de México abarca de enero a octubre.

<sup>3</sup> Para Antártica, los promedios anuales corresponden a las concentraciones de ozono registradas en octubre. Octubre es considerado el mes en el que se abre el agujero de ozono.

<sup>4</sup> Datos no disponibles para el periodo 1993-1995.

### Fuentes:

NASA. Total Ozone Mapping Spectrometer. 2003.

NASA. Aura Validation Data Center. Disponible en: <http://avdc.gsfc.nasa.gov/index.php?site=677741240>. Fecha de consulta: octubre de 2012.

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, aunque presentan cambios en la concentración éstos no son significativos, lo cual refuerza el hecho de que a pesar de que se trata de un problema generado a nivel global, sus consecuencias más evidentes son regionales.

## CONSUMO Y CONCENTRACIÓN DE SAO

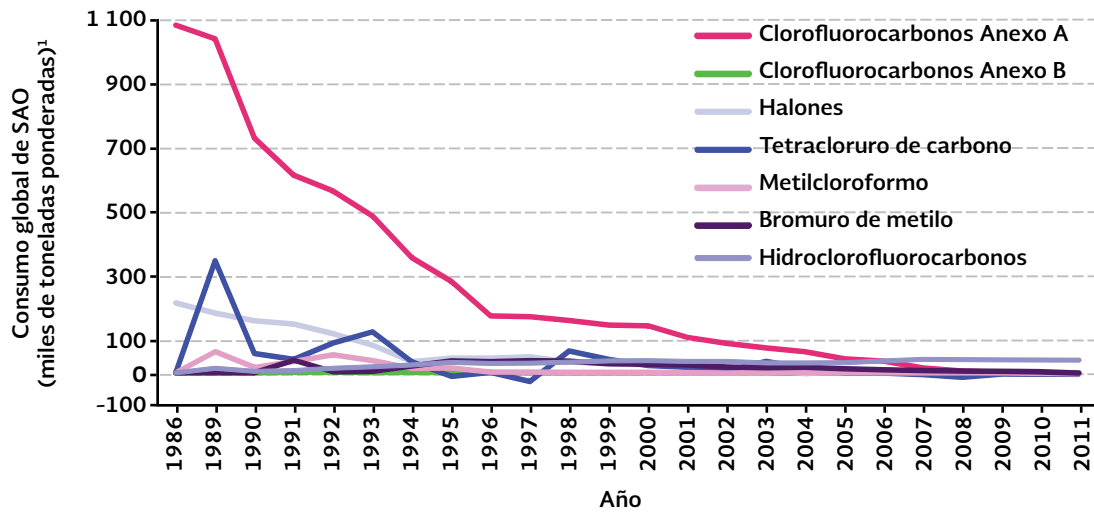
Dado que el impacto de las SAO depende de su potencial de agotamiento del ozono<sup>24</sup>

(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 con la entrada en vigor del Protocolo de Montreal<sup>25</sup> (97% en el periodo 1986-2011), esto no se ha reflejado en su concentración atmosférica (Figuras 5.38 y 5.39; **IB 1.3-1** y **1.3-4**). Aunque se esperaría que sus concentraciones se redujeran casi a la par de la caída en el consumo, éstas se han estabilizado desde principios de los años noventa, lo cual

<sup>24</sup> El potencial de agotamiento del ozono (PAO) es la capacidad de cada SAO para destruir al ozono y se calcula usando como referencia al CFC-11 (PAO igual a 1).

<sup>25</sup> 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. Más detalles sobre este tratado pueden consultarse en la sección de Protección de la capa de ozono en este mismo capítulo.

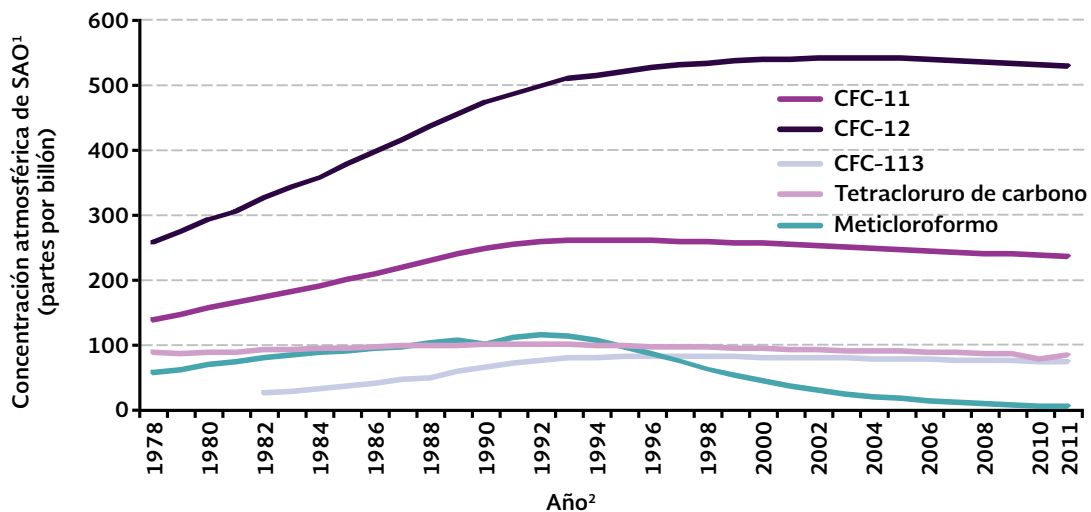


**Notas:**

<sup>1</sup> El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción. El consumo neto es ponderado por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

**Fuente:**

UNEP. *Ozone Secretariat. Data Reporting and Access. Data Access Centre: Access data on ozone depleting substances by year(s), party(s) and group(s) of substances.* 2011. Disponible en: [http://ozone.unep.org/Data\\_Reporting/Data\\_Access/#notes](http://ozone.unep.org/Data_Reporting/Data_Access/#notes). Fecha de consulta: octubre de 2012.



**Notas:**

<sup>1</sup> Los datos de concentración corresponden a registros en el hemisferio sur.

<sup>2</sup> Para 2011, los promedios anuales corresponden a datos de enero a septiembre.

**Fuentes:**

WRI. *Earth Trends. Climate and Atmosphere Searchable Database.* 2011.

CDIAC. *Atmospheric Trace Gas Measurements.* Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/>. Fecha de consulta: octubre de 2012.

puede explicarse por los tiempos de vida atmosférica de las SAO, que pueden ser largos, variando de los cinco hasta los 100 años (WMO y UNEP, 2003; CDIAC, 2011).

En México, el consumo total ponderado de SAO disminuyó cerca de 95% en 2011 (se consumieron 1 563 toneladas) con respecto al volumen reportado en 1989 (poco más de 29 mil toneladas; Figura 5.40; **IB 1.3-2; IC8**). Esta disminución es debida principalmente a la eliminación del consumo de los CFC con mayor potencial de agotamiento y al incremento en el uso de sustancias alternativas como los HCFC con bajos potenciales de agotamiento.

Además de la concentración atmosférica de SAO, existen otros factores que influyen en la destrucción del ozono: la temperatura en la estratosfera, la actividad solar y la concentración atmosférica de gases como el metano, vapor de agua y el óxido nitroso (Weatherhead y Andersen, 2006). No obstante los esfuerzos realizados y los resultados

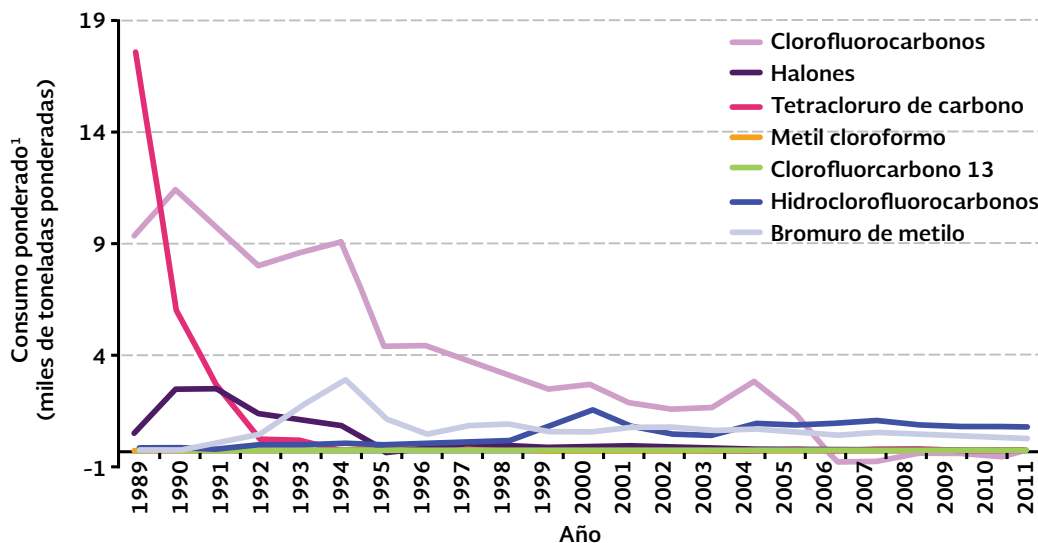
alcanzados en la reducción del consumo y producción de SAO, las evaluaciones recientes indican que la capa de ozono regresará a los niveles que tenía en 1980 entre los años 2050 y 2075 (PNUMA, 2007 y 2008).

## 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 los compromisos para reducir el consumo y la producción de SAO (PNUMA, 2003; Tabla 5.4). A junio de 2012, 197 países habían firmado y ratificado tanto la Convención como el Protocolo. México firmó estos tratados y adoptó las enmiendas de Londres (1991), Copenhague (1994), Montreal (2006) y Beijing (2007; UNEP, 2011b).



**Consumo nacional ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1989 - 2011** Figura 5.40



**Nota:**

<sup>1</sup> El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción. El consumo neto es ponderado por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

**Fuente:**

Unidad Protectora de la Capa de Ozono, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.

Sustancia	Reducción en países industrializados (porcentaje)	Reducción en países en desarrollo (porcentaje)
Clorofluorocarbonos	100% en 1996	0% en 1999
		50% en 2005
		85% en 2007
		100% en 2010
Halones	100% en 1994	0% en 2002
		50% en 2005
		100% en 2010
Tetracloruro de carbono	100% en 1996	85% en 2005
		100% en 2010
Metil cloroformo	100% en 1996	0% en 2003
		30% en 2005
		70% en 2010
		100% en 2015
Bromuro de metilo	0% en 1995	0% en 2002
	25% en 1999	20% en 2005
	50% en 2001	100% en 2015
	70% en 2003	
	100% en 2005	
Hidroclorofluorocarbonos	0% en 1996	10% en 2015
	35% en 2004	35% en 2020
	65% en 2010	67.5% en 2025
	90% en 2015	97.5% en 2030
	99.5% en 2020	100% en 2040
	100% en 2030	
Hidrobromofluorocarbonos	100% en 1996	100% en 1996

**Fuente:**

Unidad Protectora de la Capa de Ozono, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.

A partir de 1995, la mayoría de las sustancias agotadoras de ozono incluidas en el Protocolo de Montreal, con excepción de los CFC, habían dejado de producirse en los países industrializados. A partir de 2005, se eliminó la producción y el consumo global de más del 95% de todas las sustancias controladas por el Protocolo. En el caso de los países en desarrollo, el protocolo especificó además

de un periodo de gracia para su eliminación, apoyos financieros que les permitieran enfrentar los costos de eliminación de las SAO.

Dado el éxito en el cumplimiento de las metas establecidas, el Protocolo de Montreal es considerado como uno de los acuerdos internacionales más exitosos. De hecho, algunas estimaciones indican que de no existir

este acuerdo, para el año 2050 la destrucción del ozono podría haber aumentado 50% en el hemisferio norte y 70% en el sur. Con la adopción de las medidas para proteger la capa de ozono, los riesgos a la salud se redujeron drásticamente: por ejemplo, a nivel mundial se evitaron 1.5 millones de casos de cáncer de piel de tipo melanoma, 19 millones de casos de cáncer de tipo no melanoma y 130 millones de casos de cataratas (UNEP, 2009). En la Figura 5.41 se muestra la magnitud de los efectos que

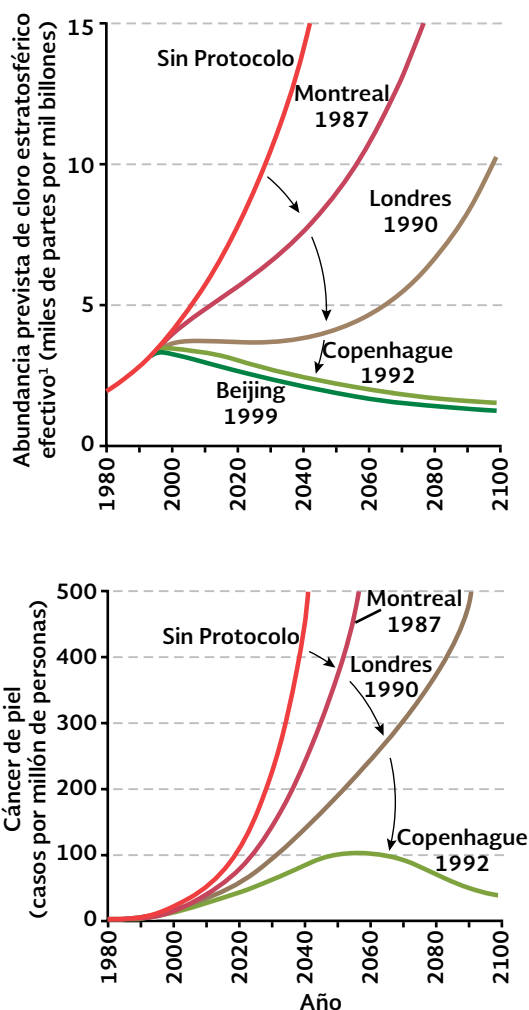
se calcula ha tenido el Protocolo de Montreal y sus enmiendas en las concentraciones estratosféricas de cloro, así como los efectos que hubieran podido registrarse en la salud (específicamente en cuestión de cáncer de piel) en caso de no haber sido adoptado.

México, al igual que otros países en desarrollo, se comprometió a cumplir las metas de reducción de SAO mostradas en la Tabla 5.4. La estrategia de reducción seguida por el país se ha basado en las medidas siguientes: 1) control del consumo y producción de SAO, 2) fomento y asesoría sobre el uso de sustancias y prácticas alternativas que minimicen los impactos en la capa de ozono, 3) introducción de tecnologías limpias que empleen sustancias y prácticas 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.

De las metas comprometidas por México, se cumplieron anticipadamente las planteadas para los CFC, el tetracloruro de carbono (TET), el metil cloroformo (MCF) y los halones. En septiembre del año 2005, nuestro país cerró su única planta de producción de CFC, con lo que se redujo 60% la producción en Latinoamérica y 12% a nivel mundial, adelantándose cuatro años al cumplimiento de su compromiso. Actualmente en el país, todos los productos en aerosol, refrigeradores y aires acondicionados, así como la producción de espumas de poliuretano, están libres de CFC (Semarnat, 2009). A partir del 2006 se reportó un consumo negativo de CFC, ya que se eliminó la producción de estas sustancias y parte de las reservas fue exportada (Figura 5.40). En el caso del bromuro de metilo, empleado como plaguicida para la fumigación de suelos agrícolas y sistemas de almacenamiento de granos y harinas, la disminución ha sido progresiva: en el 2005 se cumplió la meta de reducción del 20% a partir de la línea base establecida en 1998 (1 130 toneladas ponderadas) y entre 2008 y 2011

## Efectos del Protocolo de Montreal y sus enmiendas

Figura 5.41



**Nota:**

¹ El cloro efectivo es una manera de medir el potencial destructivo en la estratosfera de todas las SAO emitidas.

**Fuente:**

UNEP. Vital ozone graphics 2.0. Climate link. Kenya. 2009.

se eliminaron 370 toneladas ponderadas adicionales, con lo que la reducción total del consumo de esta sustancia en México alcanzó el 53%. Una parte considerable de la reducción en el consumo de esta sustancia se ha logrado con la aplicación de la técnica de injertos en la producción de hortalizas, lo que evita algunas de sus enfermedades y reduce su uso como plaguicida. Asimismo, México adelantó un año su compromiso de eliminación total de esta sustancia, por lo que deberá cumplirlo al año 2014. 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, D3\\_AIRE03\\_04](#) y [D3\\_AIRE03\\_05](#).

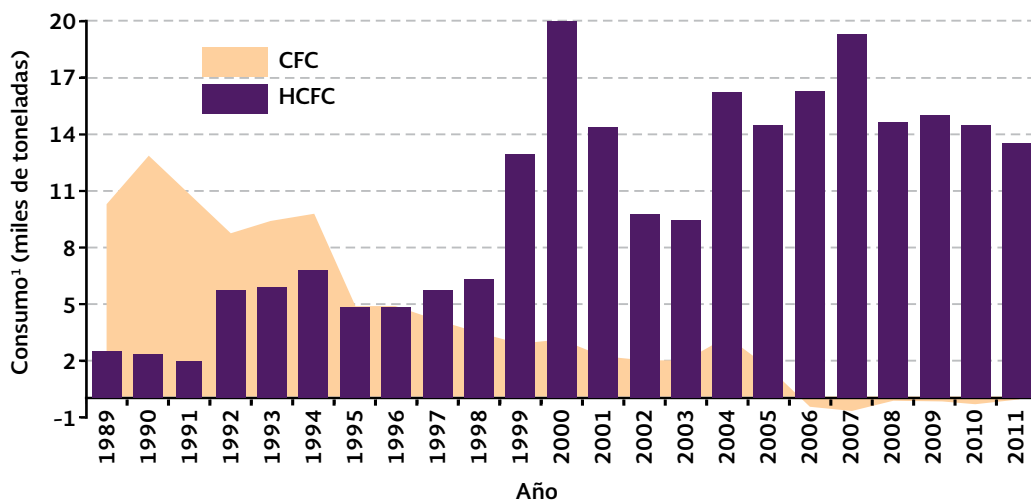
Como parte del fomento al uso de sustancias alternativas a las SAO, se han empleado algunas menos dañinas a la capa de ozono. Por ejemplo, los HCFC poseen un menor potencial de agotamiento: los que se emplean en México poseen potenciales de entre 0.04 y 0.07, en contraste con los reportados para los CFC, que van de 0.6 a 1.0. La Figura 5.42 muestra

los resultados del proceso de sustitución de los CFC: mientras que el consumo de CFC se eliminó totalmente, resultado del apoyo a proyectos de inversión en tecnologías limpias en sectores que emplean estas sustancias, el consumo de HCFC ha ido incrementándose (IB 1.3-5). Cabe señalar que, incluso para los HCFC existen metas progresivas de reducción en su consumo; en 2015 se debe disminuir 15% hasta alcanzar el 100% en 2040 (Tabla 5.4).



Para ayudar a los países en desarrollo a cumplir con las medidas de control adoptadas ante el Protocolo de Montreal, en 1991 se estableció a nivel internacional el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal (UNEP, 2011a). Los recursos de este Fondo se dirigen a impulsar la introducción de tecnologías limpias y la capacitación de los usuarios de las SAO. A noviembre de 2011, este Fondo había destinado alrededor de 2 800 millones de dólares a nivel mundial para apoyar a 145 países en desarrollo en la ejecución de 6 875 proyectos. La inversión ha permitido una reducción en el consumo y producción; por ejemplo, a diciembre de 2010,

**Consumo nacional de HCFC como sustancias alternativas a los CFC, 1989 - 2011** Figura 5.42



**Nota:**

<sup>1</sup> El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción.

**Fuente:**

Unidad Protectora de la Capa de Ozono, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.



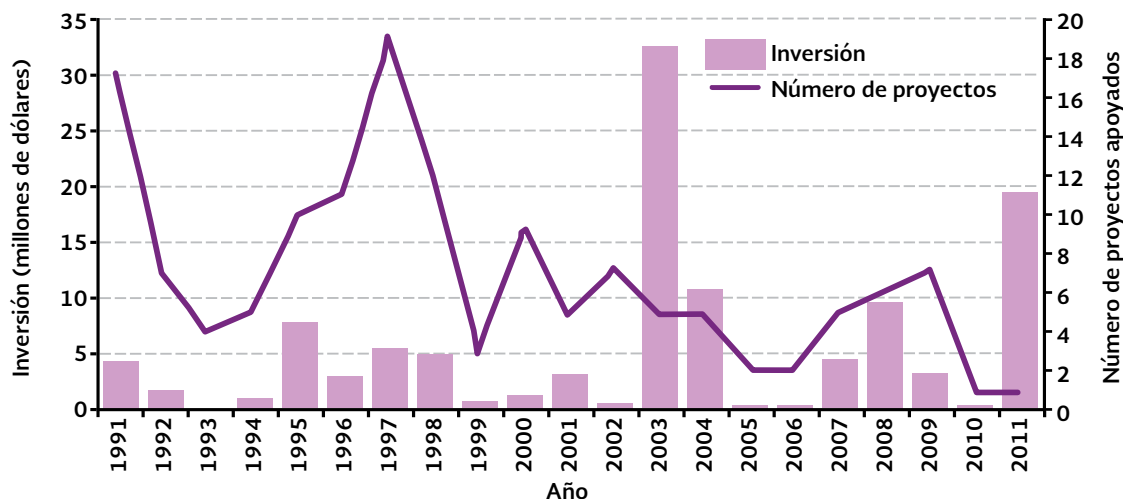
se evitó el consumo de 256 180 toneladas y la producción de 192 628 toneladas, es decir, 448 808 toneladas ponderadas de SAO (UNEP, 2011a). México recibió de este Fondo en el periodo 1991-2011 un total de 113.3 millones de dólares, con lo que apoyó 143 proyectos en sectores como refrigeración, aerosoles, espumas, solventes, agricultura y almacenaje de productos, entre otros (Figura 5.43).

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 veinte años se creó la Unidad de Protección a la Capa de Ozono, dependiente de la Semarnat (Semarnat, 2005). También se desarrolló el Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO) para vigilar la importación y exportación de estas sustancias y contar con un registro estadístico de su movimiento (Semarnat, 2011). Paralelamente, y con la finalidad de reducir el consumo del bromuro de metilo, que se utiliza como plaguicida, están en marcha proyectos para brindar asistencia técnica y capacitación.

### Fondos otorgados a México por el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal 1991 - 2011

Figura 5.43



Fuente:

Unidad Protectora de la Capa de Ozono, Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Semarnat México. 2012.

## REFERENCIAS

Bender, M. A., T. R. Knutson, R. E., Tuleya, J. J., Sirutis, G. A. Vecchi, S. T. Garner e I. M. Held. Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. *Science* 327: 454-458. 2010.

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.

CDIAC. *Atmospheric CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl4 and SF6 histories (1910-2011).* 2011. Disponible en: [http://cdiac.ornl.gov/oceans/new\\_atmCFC.html](http://cdiac.ornl.gov/oceans/new_atmCFC.html). Fecha de consulta: marzo de 2012.

CICC. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Comisión Intesecretarial de Cambio Climático, Semarnat. 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, Spring Meeting. Acapulco, México. 22-25 May, 2007.

Delgado, G. H., J. Miranda, C. Huggel, S. Ortega del Valle y M. A. Alatorre Ibargüengoitia. Chronicle of a death foretold: Extinction of the small-size tropical glaciers of Popocatepetl volcano (Mexico). *Global and Planetary Change* 56: 13–22. 2007.

Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Semarnat. México. 2005.

Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Semarnat. Programas de gestión de la calidad del aire. México. 2012. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx). Fecha de consulta: abril de 2012.

Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, INE, Semarnat. México. 2007.

DOF. *Modificación a la NOM-020-SSA1-1993, Salud ambiental*. Diario Oficial de la Federación. México. 2002 (30 de octubre).

DOF. *Modificación a la NOM-025-SSA1-1993, Salud Ambiental*. Diario Oficial de la Federación México. 2005 (26 de septiembre).

EEA. *Impacts of Europe's changing climate*. 2004. Disponible en: [www.eea.europa.eu/publications/climate\\_report\\_2\\_2004](http://www.eea.europa.eu/publications/climate_report_2_2004). Fecha de consulta: noviembre de 2008.

GDF. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010*. México. 2012.

GDF. NADF-009-AIRE-2006. Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. 2006.

IEA. *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Highlights*. 2012 Edition. France. 2012.

INE, Semarnat. *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. México. 2011.

INE, Semarnat. *Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999*. México. 2005.

INE, Semarnat. *Inventario nacional de emisiones de México, 1999*. México. 2006.

INE, Semarnat. *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. 2012.

INE, Semarnat y UNAM. *Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe Final INE/A1-051/2008*. México. 2008.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México serie 2005-2009*. INEGI. México. 2010.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2006-2010*. INEGI. México. 2012.

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*. France. 2007a.

IPCC. *Climate change and water*. IPCC Technical Paper VI. Switzerland. 2008.

IPCC. *Resumen Técnico. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Francia. 2007b.

IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. France. 2007c.

Keeling, C.D. y T.P. Whorf. Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network, 2005. En: *Trends: A compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. USA. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/>. Fecha de consulta: septiembre de 2012.

Knutson, T. R., J. L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J. Kossin, A. K. Srivastava y M. Sugi. Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience* 3: 157–163. 2010.

Manney, G., M. Santee, M. Rex, N. Livesey, M. Pitts, P. Veefkind, E. Nash, I. Wohltmann, R. Lehmann, L. Froidevaux, L. Poole, M. Schoeberl, D. Haffner, J. Davies, V. Dorokhov, H. Gernandt, B. Johnson, R. Kivi, E. Kyrö, N. Larsen, P. Levelt, A. Makshtas, T. McElroy, H. Nakajima, M. Parrondo, D. Tarasick, P. Gathen, K. Walker y N. Zinoviev. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature* 478: 469–475. 2011.

Nakicenovic, N. et al. *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. United Kingdom. 2000. Disponible en: [www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm). Fecha de consulta: octubre de 2012.

NAS. *Climate change science. An analysis of some key questions*. National Academy Press. United States of America. 2001.

NASA. *Arctic sea ice continues decline, hits 2nd-lowest level*. 2011. Disponible en: [www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-ice-min.html](http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-ice-min.html). Fecha de consulta: marzo de 2012.

NASA. *Ozone hole watch. Annual records*. 2011. Disponible en: [http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual\\_data.html](http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual_data.html). Fecha de consulta: marzo de 2012.

Nicholls, R. J. y A. Cazenave. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328: 1517–1520. 2010.

NOAA. *Arctic report card: Update for 2011. Greenland ice sheet*. 2011a. Disponible en: [www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland\\_ice\\_sheet.html](http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland_ice_sheet.html). Fecha de consulta: febrero de 2012.

NOAA. *Climate Watch Magazine. 2011 melt season on greenland up to 30 days longer than average*. 2011b. Disponible en: [www.climatewatch.noaa.gov/article/2011/2011-melt-season-on-greenland-up-to-30-days-longer-than-average-3](http://www.climatewatch.noaa.gov/article/2011/2011-melt-season-on-greenland-up-to-30-days-longer-than-average-3). Fecha de consulta: febrero de 2012.

OMM. 2011: *el décimo año más cálido en el mundo, el más cálido en un período la Niña, y el de menor volumen de hielo marino en el mar ártico*. 2011. Comunicado de prensa 935 de la Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: [www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html). Fecha de consulta: marzo de 2012.

PEF. *Programa Especial de Cambio Climático 2009–2012*. México. 2009.

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.

PNUMA. *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Logros en la protección del ozono estratosférico. Informe sobre los adelantos logrados 1987 a 2007*. Kenia. 2008.

PNUMA. *Un éxito en ciernes. El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Kenia. 2007. Disponible en: [http://ozone.unep.org/spanish/Publications/20th\\_anniversary\\_info\\_kit.shtml](http://ozone.unep.org/spanish/Publications/20th_anniversary_info_kit.shtml). Fecha de consulta noviembre de 2012.

Semarnat. COP 16. CMP6 México 2010. *Las conferencias de Cancún un espacio sobre cambio climático para todos*. México. 2011.

Semarnat. Programas de Gestión de la Calidad del Aire. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/programas.aspx) Fecha de consulta: enero de 2013.

Semarnat. *Protección a la capa de ozono*. México. 2011. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/pco.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/pco.aspx). Fecha de consulta: abril de 2012.

Semarnat y SHCP. *La economía del cambio climático en México*. Síntesis. México. 2009.

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. 2003.

Stern, N. *Stern Review. The Economics of Climate Change*. 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. *Multilateral Fund for the implementation of the Montreal Protocol*. 2011a. Disponible en: [www.multilateralfund.org/](http://www.multilateralfund.org/). Fecha de consulta: abril de 2012.

UNEP. *Status of ratification*. Ozone Secretariat. 2011b. Disponible en: [http://ozone.unep.org/new\\_site/en/treaty\\_ratification\\_status.php](http://ozone.unep.org/new_site/en/treaty_ratification_status.php). Fecha de consulta: agosto de 2012.

UNEP. *UNFCCC Convention on Climate Change*. Climate Change Secretariat. France. 2002.

UNEP. *Vital ozone graphics 2.0. Climate link*. Kenya. 2009.

UNEP y WGMS. *Global glacier changes: facts and figures*. Kenya. 2008.

UNFCCC. *Kyoto Protocol. Status of Ratification*. 2012. Disponible en: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php). Fecha de consulta: marzo de 2012.

Unidad de Protección a la Capa de Ozono, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. *Acciones de México para proteger la capa de ozono*. México. 2009. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/pco.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/pco.aspx). Fecha de consulta: abril de 2012.

Unidad de Protección de la Capa de Ozono, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. *Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO)*. 2005. Disponible en: <http://sissao.semarnat.gob.mx>. Fecha de consulta: abril de 2012.

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.

WMO, UNEP. *Scientific assessment of ozone depletion: 2002*. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 47. Geneva, Switzerland. 2003.

WRI. *A Guide to the global environment 1998-1999*. Oxford, USA. 1998.

The background is a solid teal color. It features several overlapping, semi-transparent organic shapes in a lighter shade of teal. These shapes resemble water droplets or abstract forms. There are also two distinct water droplets, one on the left and one on the right, rendered in a slightly lighter shade of teal with a small highlight on their upper surface. The overall composition is clean and modern.

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 las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente. Otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez. Las aguas de los cuerpos superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias.

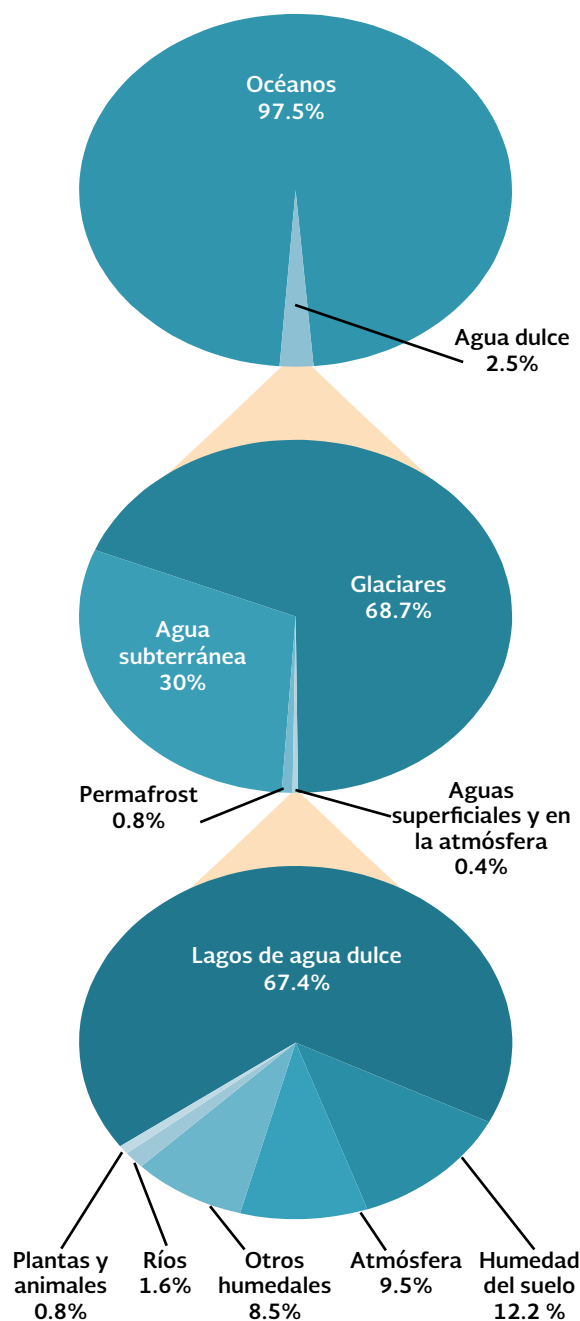
Aun cuando el tema del agua se ha centrado principalmente en las necesidades humanas, es indispensable destacar su importancia como elemento clave para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad. Sin el agua que garantice su función y mantenimiento, los ecosistemas 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.

## EL AGUA DULCE EN EL MUNDO

### RESERVAS DE AGUA DULCE

Se ha estimado que existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, de los cuales sólo 2.5% corresponden a agua dulce (PNUMA, 2007). Este pequeño porcentaje se localiza principalmente en los ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos del mundo (Figura 6.1). Casi tres cuartas partes del agua dulce están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales alrededor de 97% son prácticamente inaccesibles para su uso, ya que se encuentran en Antártica, el Ártico y Groenlandia. Sin embargo, muchos de los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente importante de recursos hídricos para muchos países.

## Distribución mundial del agua Figura 6.1



### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:  
 PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4 medio ambiente para el desarrollo*. Dinamarca. 2007.

Del agua dulce existente en el planeta 30% corresponde a agua subterránea, 0.8 a Permafrost<sup>1</sup> y sólo el 0.4% a aguas superficiales y en la atmósfera. Si consideramos al agua dulce no congelada (31.2% del volumen de agua dulce total), la subterránea representa el 96%, agua que además 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. Mientras que las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) sólo retienen el uno por ciento del agua dulce no congelada; dentro de ellos, los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91 000 versus 2 120 km<sup>3</sup>) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales. Aunque el agua presente en la atmósfera equivale a un volumen significativamente menor a la que se encuentra en los lagos, es muy importante por su papel en la regulación del clima.

## DISPONIBILIDAD DEL AGUA

### RESERVAS REGIONALES DE AGUA Y BALANCE DE AGUA NACIONAL

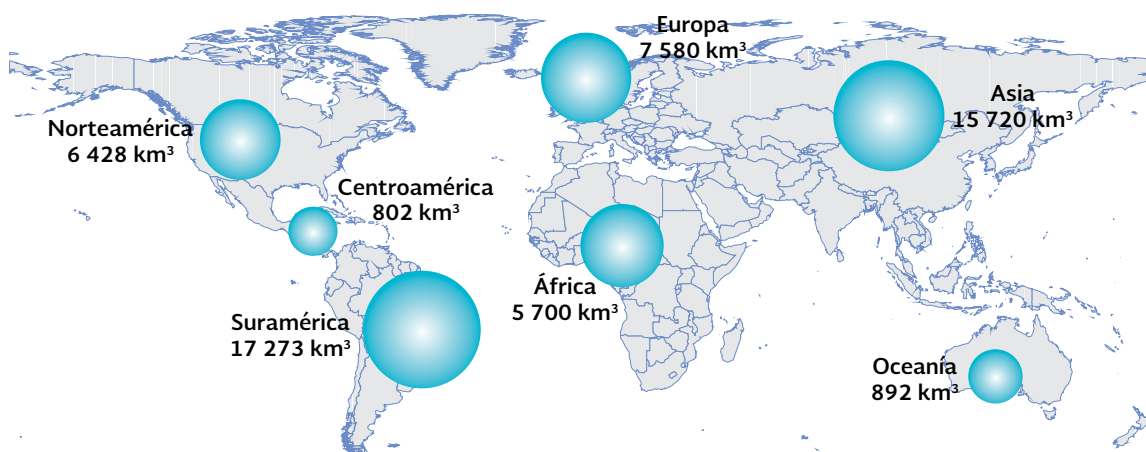
Las reservas de agua en el mundo consideran el volumen disponible<sup>2</sup> total acumulado de agua subterránea y superficial. En el Mapa 6.1 se presentan los volúmenes de las reservas de agua mundiales: Suramérica es la región con los mayores recursos hídricos renovables<sup>3</sup> del planeta (cerca del 31.8% del total), seguida por Asia (28.9%) y Europa (13.9%); en contraste, la región de Centroamérica posee tan sólo el 1.5% de la reserva total mundial.

La disponibilidad del agua de una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración

<sup>1</sup> La International Permafrost Association (IPA) lo define como suelo frío que permanece por debajo de los 0°C por 2 o más años consecutivos (van Everdingen, 1998). De acuerdo con la IPA, permafrost no es sinónimo de suelo congelado sino de "cryotic ground", es decir, de suelo que tiende a formar hielo, pero que no necesariamente lo tiene (Milana y Güel, 2008).

<sup>2</sup> Se refiere a la disponibilidad natural media que corresponde al volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región.

<sup>3</sup> El agua renovable es la cantidad máxima de agua factible de explotarse anualmente y se calcula como el escurrimiento superficial virgen anual, más la recarga media anual de los acuíferos, más las importaciones de agua de otras regiones o países, menos las exportaciones de agua a otras regiones o países (Conagua, 2011).

**Nota:**

<sup>1</sup> Para algunas regiones los valores no comprenden al 100% de los países que las conforman: África (98% de los países); Centroamérica (81% de los países); Europa (85% de los países) y Oceanía (31% de los países).

**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/data/](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/). Fecha de consulta: octubre de 2012.

de la vegetación. El volumen restante puede dirigirse hacia la recarga de los acuíferos o escurrir superficialmente. Debido a que la distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente, la disponibilidad de recursos hídricos muestra diferencias muy importantes en las diferentes regiones del planeta.

En México, el volumen promedio de agua que se obtiene por precipitación cada año es de 1 489 kilómetros cúbicos; no obstante, la mayor parte, alrededor de 1 089 kilómetros cúbicos (73.1%), regresa a la atmósfera por evapotranspiración, por lo que se conoce como “agua verde” (Falkenmark y Rockström, 2004; *Cuadro D3\_AGUA01\_04*). Además del agua que ingresa por precipitación, México recibe alrededor de 50 kilómetros cúbicos por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 kilómetros cúbicos del río Bravo a los Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la

disponibilidad natural media de México es de 460 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año (Figura 6.2), valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con el de Estados Unidos (3 051 km<sup>3</sup>), Canadá (2 902 km<sup>3</sup>) o Brasil (8 233 km<sup>3</sup>; FAO, 2007).

### VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL EN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA

En México, la precipitación normal<sup>4</sup> para el periodo 1981-2010 fue de 935.7 milímetros, volumen que se considera abundante (Conagua, 2011). Sin embargo, resulta poco representativo de la situación hídrica a lo largo del país. Por ejemplo, en 2011, Baja California Sur apenas registró poco más 70 milímetros de lluvia, mientras que en Chiapas y Tabasco la precipitación anual alcanzó los 2 373 y 2 478 milímetros, respectivamente (*Cuadro D3\_AGUA01\_01*). A nivel de las regiones hidrológico-administrativas<sup>5</sup> en que se divide el país, las diferencias también son

<sup>4</sup> Es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

<sup>5</sup> Desde 1997, y con el fin de administrar y preservar las aguas nacionales, la Conagua dividió al país en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) cuyos límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica (Conagua, 2011).



notables: durante el periodo 1981-2010, las regiones norteñas, Península de Baja California, Noroeste, Río Bravo y Cuencas Centrales del Norte, que ocupan el 47.6% del territorio nacional recibieron en conjunto 13.4% del total, mientras que las regiones Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán, ubicadas al sur del país y que ocupan 21.5% del territorio nacional, recibieron el 53.9% del total (Mapa 6.2; Cuadro D3\_AGUA01\_02; Tabla 6.1).

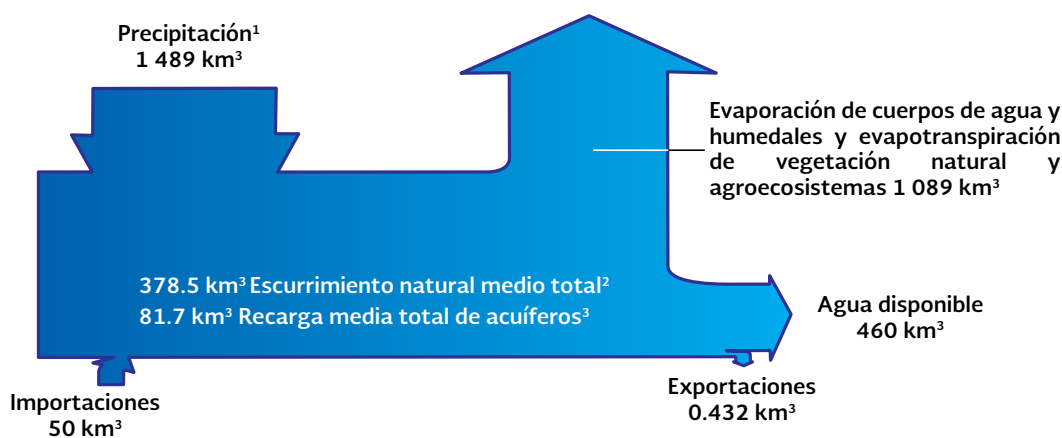
Con respecto al escurrimiento superficial nacional, en 2009 el 83% (378.5 km<sup>3</sup>) del volumen disponible en el país escurrió superficialmente y el restante 17% (81.7 km<sup>3</sup>) se incorporó a los acuíferos (Figura 6.2). Sin embargo, el escurrimiento superficial también muestra variaciones importantes en la geografía del país: en ese mismo año, en la región Frontera Sur escurrió cerca del 37% del total nacional (básicamente a través de los ríos Grijalva y Usumacinta), mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial fue cercano al

uno por ciento del valor nacional (Tabla 6.2; Cuadro D3\_AGUA01\_08). En el caso de Baja California, esto se explica por su escasa precipitación, y en el de Yucatán por su relieve plano y sustrato permeable que impiden la formación de escurrimientos superficiales de importancia. Si se considera la proporción de lo que escurre con respecto al agua disponible, en 2009 las regiones que mostraron el mayor escurrimiento superficial relativo fueron Pacífico Sur (93.8%), Golfo Norte (94.8%) y Golfo Centro (95.6%). En contraste, la proporción fue menor en las regiones Río Bravo (42.4%), Aguas del Valle de México (33.4%) y Península de Yucatán (14.6%).

También la disponibilidad natural media es heterogénea entre regiones hidrológico-administrativas: mientras que Frontera Sur contaba en 2010 con casi 160 kilómetros cúbicos anuales y el Golfo Centro con poco más de 94, la Península de Baja California tuvo apenas 5 y la región Aguas del Valle de México sólo 3.5 kilómetros cúbicos al año disponibles (Tabla 6.2).

## Balance de agua en México

Figura 6.2



### Notas:

<sup>1</sup> La precipitación media anual se refiere al periodo 1971-2000. Los valores restantes son los reportados al 2009.

<sup>2</sup> Comprende el escurrimiento natural medio superficial más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.

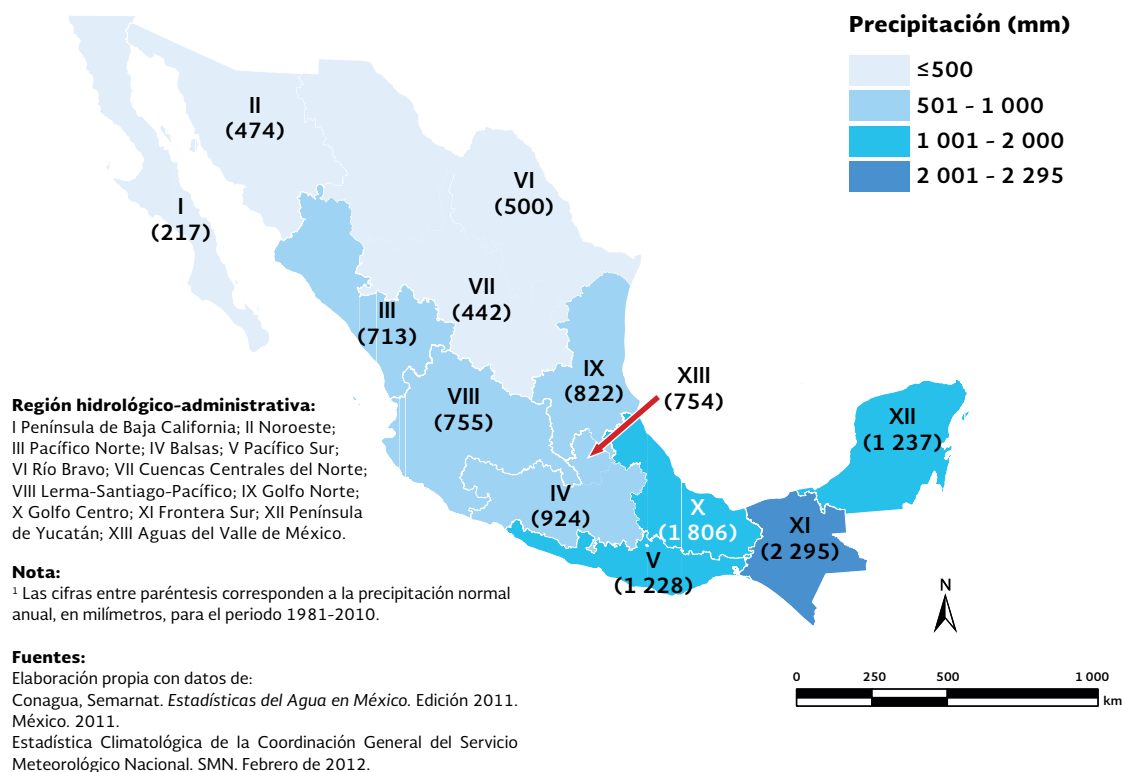
<sup>3</sup> La recarga natural de acuíferos reportada, más 9 km<sup>3</sup> de recarga incidental conforman la recarga media total. Se entiende por recarga incidental aquella que es consecuencia de alguna actividad humana como riego de jardines, fugas de agua en redes de distribución y alcantarillado, descargas de fosas sépticas e infiltraciones en canales de tierra y otros; que no cuenta con la infraestructura específica para la recarga artificial.

### Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México, 2011.

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial con agua residual tratada*. 2009 (18 de agosto).



Precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1981 - 2010

Tabla 6.1

Región hidrológico-administrativa		Superficie		Precipitación normal <sup>1</sup> (mm) 1981-2010
		(km <sup>2</sup> )	(%)	
I	Baja California	145 489	7.43	217.2
II	Noroeste	205 291	10.48	473.7
III	Pacífico Norte	151 934	7.75	713.3
IV	Balsas	119 219	6.08	924.2
V	Pacífico Sur	77 087	3.93	1 228.0
VI	Río Bravo	379 604	19.38	500.2
VII	Cuencas Centrales del Norte	202 385	10.33	441.6
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	190 438	9.72	754.6
IX	Golfo Norte	127 138	6.49	822.5
X	Golfo Centro	104 631	5.34	1 806.0
XI	Frontera Sur	101 813	5.20	2 295.4
XII	Península de Yucatán	137 795	7.04	1 237.5
XIII	Aguas del Valle de México	16 424	0.84	753.7
<b>Nacional</b>		<b>1 959 248</b>	<b>100</b>	<b>935.7</b>

**Nota:**  
<sup>1</sup> Precipitación normal es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

**Fuentes:**  
 Elaboración propia con datos de:  
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México. 2011.  
 Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

## Disponibilidad natural media, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2010

Tabla 6.2

Región hidrológico-administrativa		Escurrecimiento natural medio superficial total <sup>2</sup> (km <sup>3</sup> /año)	Recarga media total de acuíferos (km <sup>3</sup> /año)	Disponibilidad natural media total (km <sup>3</sup> /año)
I	Península de Baja California	3.43	1.59	5.02
II	Noroeste	5.07	3.16	8.23
III	Pacífico Norte	22.65	3.27	25.92
IV	Balsas	17.06	4.94	21.99
V	Pacífico Sur	30.80	1.88	32.68
VI	Río Bravo	6.86	6.17	13.02
VII	Cuencas Centrales del Norte	5.75	2.42	8.16
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	26.01	8.34	34.35
IX	Golfo Norte	24.74	1.86	26.60
X	Golfo Centro	89.83	4.26	94.09
XI	Frontera Sur	141.39	18.02	159.40
XII	Península de Yucatán	4.28	25.32	29.60
XIII	Aguas del Valle de México	1.17	2.34	3.52
<b>Nacional<sup>1</sup></b>		<b>379.04<sup>3</sup></b>	<b>83.55</b>	<b>462.58</b>

### Notas:

<sup>1</sup> Los totales nacionales pueden no coincidir con las sumas de las regiones por efectos del redondeo de las cifras.

<sup>2</sup> Se conforma por el escurrimiento natural medio superficial interno más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.

<sup>3</sup> Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

### Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México. 2012.

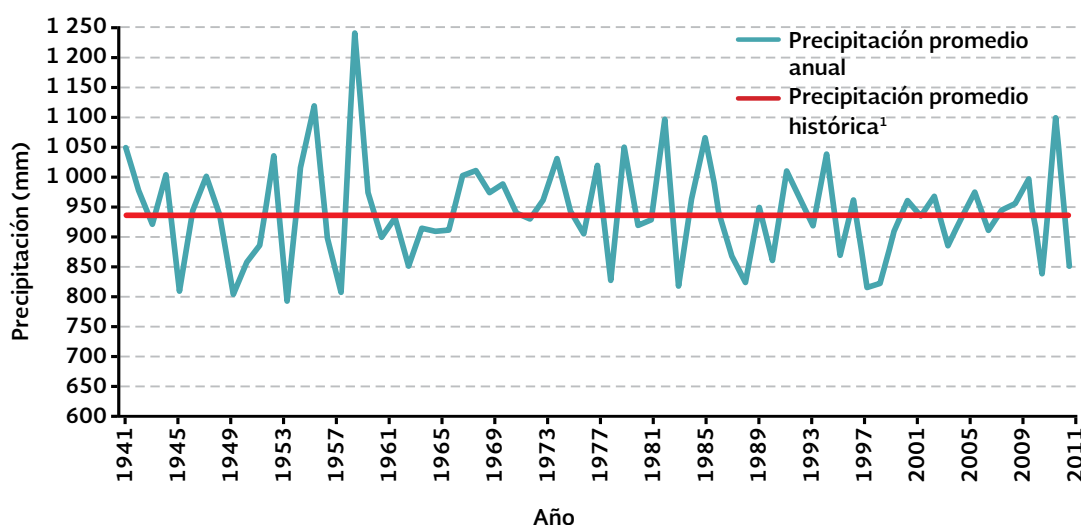
Con respecto a la variabilidad temporal, la precipitación también muestra diferencias importantes. En 2010, el valor de precipitación nacional fue 17.5% superior al promedio del periodo 1981-2010 (935.7 mm), mientras que en los años 1982, 1988, 1995, 1996, 2009 y 2011 estuvo por debajo de dicho promedio (Figura 6.3; ver el Recuadro *Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía*). En cuanto a la variación de la precipitación a lo largo del año, los mayores volúmenes ocurren generalmente durante el verano (Figura 6.4), mientras que la época de estiaje se prolonga, en la mayoría del país, entre los meses de noviembre y mayo.

## AGUA ALMACENADA

El volumen de agua almacenado en los lagos del país (alrededor de 10 km<sup>3</sup>) es relativamente pequeño si se contrasta con lo que se utiliza sólo para el abastecimiento público nacional

anual, que equivale a cerca de 11 kilómetros cúbicos (*Cuadro D3\_AGUA01\_06*). Esto se debe, básicamente, a que la orografía mexicana no permite la formación de lagos profundos. Por esa razón, para asegurar el suministro del líquido 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 que permitan la construcción de este tipo de infraestructura, el resto de las regiones hidrológico-administrativas cuentan con presas. La mayoría de los ríos más caudalosos se encuentran parcial o totalmente regulados mediante presas de propósitos múltiples.

En el país existen 4 462 presas y bordos, las cuales representan una capacidad total de almacenamiento de alrededor de 150

**Nota:**

<sup>1</sup> La precipitación promedio histórica (935.7 mm) corresponde al periodo 1981-2010.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:

Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

kilómetros cúbicos. De ese número, 667 presas se clasifican como grandes presas debido a que su capacidad de almacenamiento es mayor a un hectómetro cúbico. El volumen almacenado de agua en las presas no sólo depende de su capacidad de construcción, sino también de la precipitación ocurrida en sus cuencas de captación y de los escurrimientos en las distintas regiones del país: por ejemplo, en 2010 se pudo almacenar en las 51 presas principales<sup>6</sup> (y más grandes) del país un volumen de 102.1 kilómetros cúbicos, es decir, cerca del 91% de su capacidad total de almacenamiento; en un año seco, por ejemplo 1996, este volumen tan sólo alcanzó cerca de 80 kilómetros cúbicos, es decir, 71% de la capacidad de dichas presas. En el Mapa 6.3 se muestran las 51 presas principales (**Cuadro D3\_AGUA01\_07**; **IB 2.1-9**).



Con respecto al uso de las presas en el país, 41 de las 51 presas más grandes suministran agua para riego (beneficiando a 6.5 millones de hectáreas de agricultura de riego y 2.9 millones

de temporal tecnificado), mientras que nueve de ellas se destinan al abastecimiento público. Treinta y tres grandes presas tienen más de un uso, entre los que pueden estar la generación de electricidad, irrigación, control de avenidas y abastecimiento público. En la Tabla 6.3 se presentan para las 51 principales presas del país, sus usos y la capacidad al nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO<sup>7</sup>).

## DISPONIBILIDAD PER CÁPITA

Otra forma de evaluar la disponibilidad del agua es a través de la estimación del volumen de agua que le corresponde a cada habitante (**IB 2.1-5**). Este indicador ha sido empleado comúnmente como una medida del posible estrés que pueden enfrentar los habitantes de una región o país dado. Una disponibilidad inferior a los 1 700 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



<sup>6</sup> Presas con capacidad mayor a 250 hm<sup>3</sup>.

<sup>7</sup> El nivel de aguas máximas ordinarias es el volumen de almacenamiento de una presa en su máximo nivel para operar y satisfacer las demandas.

Todos los años en diferentes regiones del planeta se presentan fenómenos hidrometeorológicos extremos que pueden tener, en algunos casos, impactos sociales, económicos y ambientales muy importantes. Entre ellos destacan por sus efectos en la pérdida de la productividad de las tierras y de la provisión de servicios ambientales las sequías, que son fenómenos que se presentan de manera natural cuando la precipitación ha sido significativamente menor a los niveles normales, y que ocasiona serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996). A diferencia de la aridez, que es una condición natural permanente per se de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal. Es importante mencionar que este fenómeno, además de sus consecuencias inmediatas, puede traer consigo efectos futuros como resultado de la aceleración de los procesos de desertificación y de la degradación de las tierras de los sitios donde se presenta (Nkonya et al., 2011; ver en el capítulo *Suelos* la sección *El problema de la desertificación*).

En un estudio publicado por Below y colaboradores en 2007, con base en los datos de un periodo de 105 años (entre 1900 y 2004), detectaron la ocurrencia de 392 eventos de sequía en el mundo, es decir, cerca de 4 eventos en promedio por año. De todas las regiones, África fue el continente más

propenso a sufrirlas, con el 35% del total de los eventos del periodo, seguido por Asia y el Medio Oriente (29%) y por el continente americano (23%). Como resultado de todos los eventos de sequía en el periodo, un total de 12 millones de personas perdieron la vida, 1 873 millones resultaron afectadas y las pérdidas económicas se calcularon en 78.9 miles de millones de dólares.

En el caso de México, durante el siglo XX se presentaron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996 (Cenapred, SEGOB, 2001), así como una sequía severa en 1998, las cuales afectaron principalmente a los estados del norte del país. Recientemente se han registrado severos periodos de sequía entre 2000 y 2003, en 2009, y entre 2011 y 2012. Entre los años 2000 y 2003, 18 estados sufrieron por la sequía, de los cuales Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Veracruz y Sonora fueron los más afectados (Cenapred, SEGOB, 2001, 2002, 2003 y 2004). De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), se estima que las pérdidas económicas a nivel nacional ascendieron a más de 1 800 millones de pesos, además de que casi un millón de hectáreas de cultivo fueron afectadas y se perdieron más de 13 mil cabezas de ganado.

En 2009, la sequía fue el segundo fenómeno hidrometeorológico que causó mayores pérdidas en el país: 152 333 personas resultaron afectadas, los daños ascendieron a 3 081 millones de pesos

y la superficie afectada de cultivos y pastizales fue de 384 540 hectáreas. Las entidades con mayor superficie afectada fueron Baja California, Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán. Desde el 2011 el país enfrenta una fuerte sequía (clasificada según el NADM<sup>1</sup> de intensidad severa a excepcional), cuya afectación ha sido de 130 millones de hectáreas (más del 60% del territorio nacional), de las cuales 77 millones fueron clasificadas como de sequía extrema. Las entidades más afectadas han sido Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Guanajuato, Michoacán y Distrito Federal (Mapa a).

#### Referencias:

Below, R., E. Grover-Kopec and M. Dilley. Documenting Drought-Related Disasters: A Global Reassessment. *The Journal of Environment and Development* 16: 328–344. 2007.

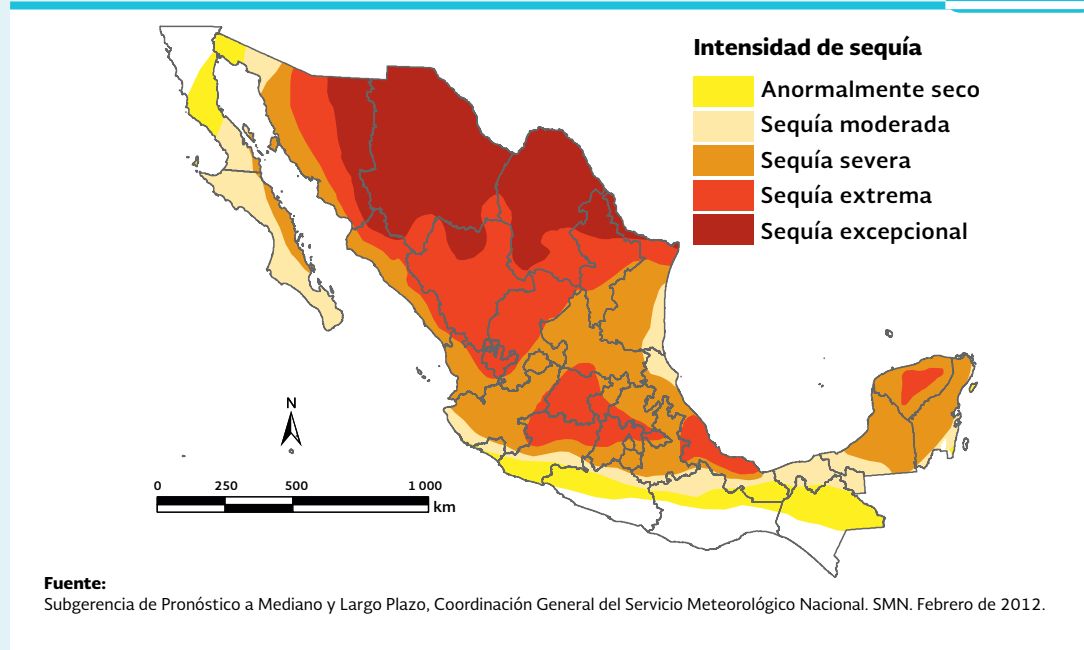
Cenapred. SEGOB. 2000. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2001.

Cenapred. SEGOB. *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. SEGOB. *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.

### Áreas afectadas por las diversas intensidades de sequía, junio de 2011

Mapa a



<sup>1</sup> Monitor de Sequía de América del Norte (por sus siglas en inglés).

## Recuadro

### Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía (conclusión)

Cenapred. SEGOB. *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.

García Jiménez F., M. Fuentes, O., M. Ramírez, L. Guadalupe. *Sequías. Reseña Histórica de Sequías en México*. Fascículo Sequías. CENAPRED. Secretaría de Gobernación. México. 2007.

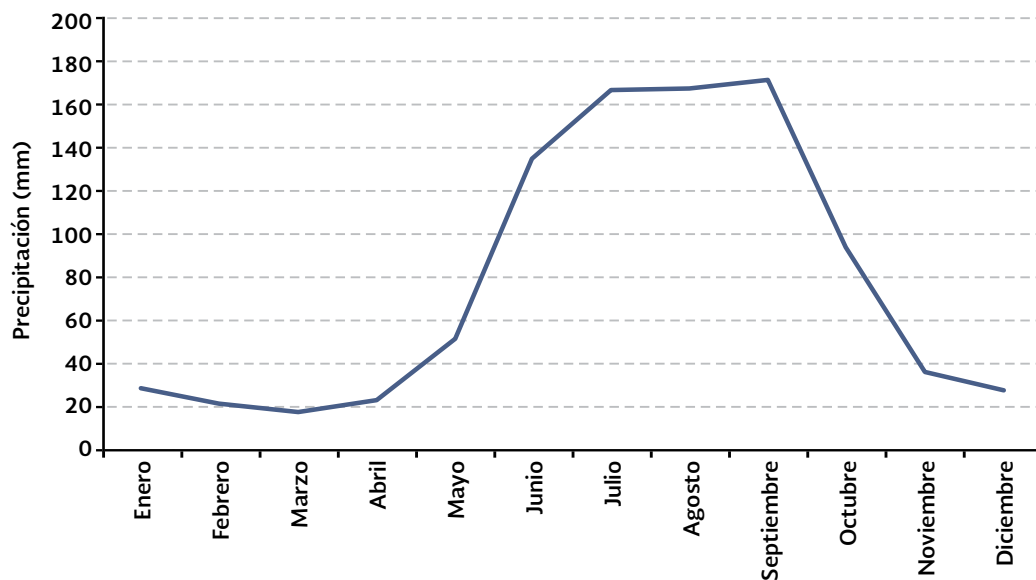
NADM. *Monitor de Sequía de América del Norte*. Disponible en: [www.ncdc.noaa.gov/nadm.html](http://www.ncdc.noaa.gov/nadm.html). Fecha de consulta: octubre de 2012.

Nkonya, E., N. Gerber, P. Baumgartner, J. von Braun, A. De Pinto, V. Graw, E. Kato, J. Kloos and T. Walter. *The Economics of Desertification, Land Degradation, and Drought Toward an Integrated Global Assessment*. ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 150. Center for Development Research. Bonn. 2011.

UNCCD. *United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. 1996. Disponible en [www.unccd.int/convention/text/convention.php](http://www.unccd.int/convention/text/convention.php). Fecha de consulta: octubre de 2012.

## Precipitación media mensual, 1981 - 2010

Figura 6.4

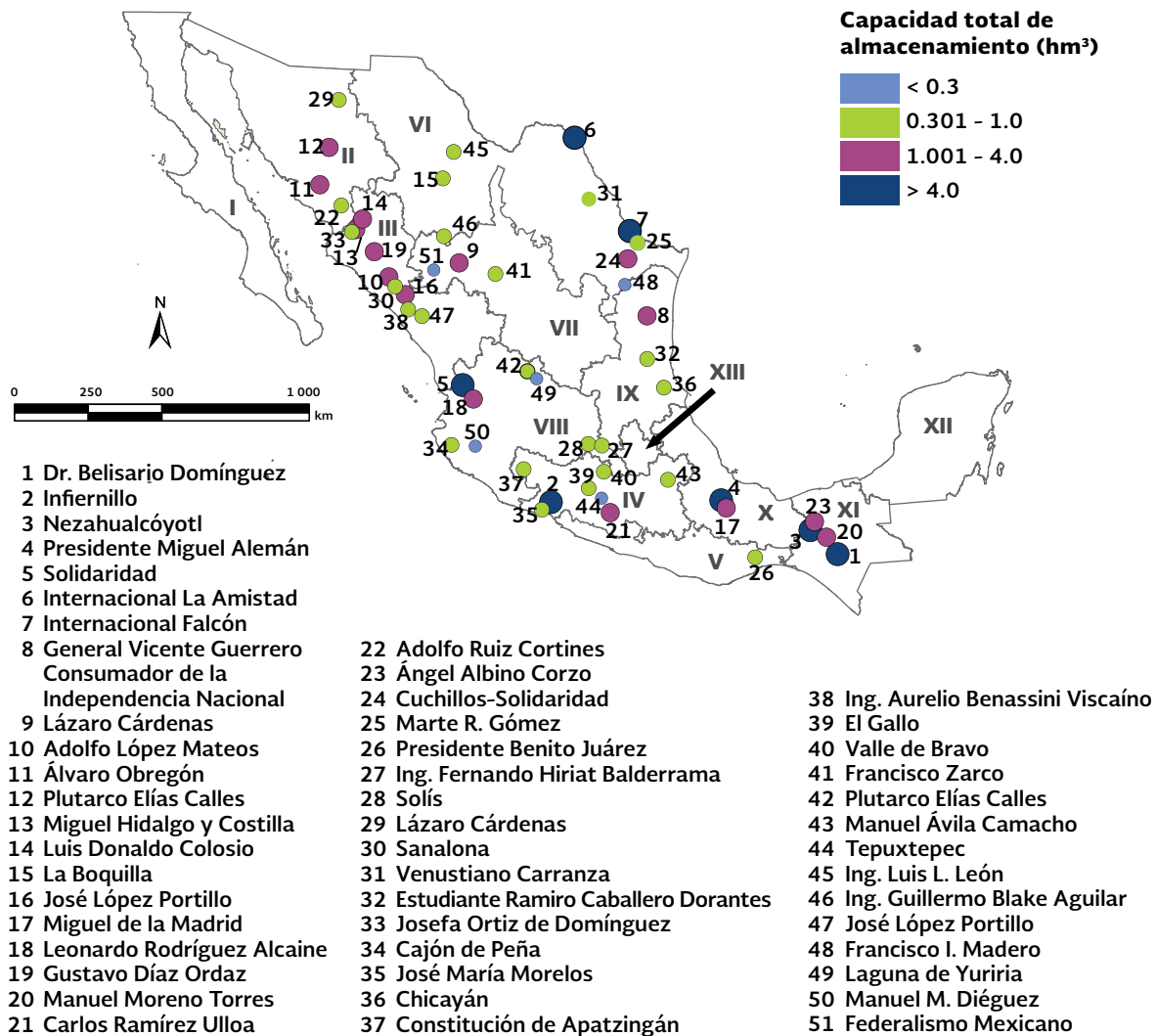


**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

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 comprometer seriamente la seguridad alimentaria y el desarrollo económico del país. Por lo común, en esas circunstancias se carece transitoriamente de agua en algunos



**Nota:**

<sup>1</sup> Sólo se incluyen las 51 presas principales con capacidad >250 hm<sup>3</sup>. En 2012 se puso en operación la Presa Picachos, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa (RHA III), con una capacidad de 322 hm<sup>3</sup>.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México 2012.

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). Es importante mencionar que las variaciones que se observan en la disponibilidad per cápita a través del tiempo dependen principalmente de los cambios en el tamaño de la población del país o región para el cual se calcula, y no de una disminución de la precipitación en el año considerado.

A nivel mundial, la disponibilidad per cápita ha disminuido significativamente en unas cuantas décadas. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11 300 metros cúbicos por año (MEA, 2005), los cuales se redujeron a sólo 5 mil metros cúbicos para el 2010, cuando la población mundial fue de aproximadamente 6 900 millones de personas (FAO, 2012).

En México la disponibilidad también se ha reducido de manera importante: en 1950, era



**Principales presas del país<sup>1</sup>: capacidad de almacenamiento y usos**
**Tabla 6.3**

No.	Nombre oficial	Región hidrológica administrativa (RHA) <sup>2</sup>	Capacidad NAMO <sup>3</sup> (km <sup>3</sup> )	Usos <sup>4</sup>
1	Dr. Belisario Domínguez	XI	12.76	G
2	Infiernillo	IV	12.50	G y C
3	Nezahualcóyotl	XI	10.60	G, I y C
4	Presidente Miguel Alemán	X	8.12	G, I y C
5	Aguamilpa Solidaridad	VIII	5.54	G e I
6	Internacional La Amistad	VI	4.46	G, I, A y C
7	Internacional Falcón	VI	4.38	G, I, A y C
8	General Vicente Guerrero Consumador de la Independencia Nacional	IX	3.91	I y A
9	Adolfo López Mateos	III	3.09	G e I
10	Álvaro Obregón	II	2.99	G, I y A
11	Plutarco Elías Calles	II	2.96	G e I
12	Miguel Hidalgo y Costilla	III	2.92	G e I
13	Luis Donaldo Colosio	III	2.91	G e I
14	Lázaro Cárdenas	VII	2.87	I, G
15	José López Portillo	III	2.80	G e I
16	Miguel de la Madrid	X	2.60	I
17	Leonardo Rodríguez Alcaide	VIII	2.28	G
18	José López Portillo	III	2.25	G e I
19	Gustavo Díaz Ordaz	III	1.86	G
20	Ing. Carlos Ramírez Ulloa	IV	1.74	G
21	Manuel Moreno Torres	XI	1.63	G
22	Cuchillo-Solidaridad	VI	1.12	A e I
23	Adolfo Ruíz Cortines	II	1.11	G, I y A
24	Angel Albino Corso	XI	1.09	G
25	Ing. Marte R. Gómez	VI	1.00	I
26	Presidente Benito Juárez	V	0.96	I
27	Ing. Fernando Hiriart Balderrama	IX	0.93	G
28	Solís	VIII	0.87	I y C
29	Lázaro Cárdenas	II	0.86	I y A
30	Sanalona	III	0.85	G, I y A
31	Venustiano Carranza	VI	0.61	I, A y C
32	Estudiante Ramiro Caballero Dorantes	IX	0.57	I
33	Josefa Ortiz de Domínguez	III	0.51	I
34	Cajón de Peña	VIII	0.51	I y A
35	José María Morelos	IV	0.51	G e I
36	Chicayán	IX	0.47	I
37	Constitución de Apatzingán	IV	0.45	I y C
38	Francisco I. Madero	VI	0.43	I y C
39	Ing. Aurelio Benassini Viscaíno	III	0.42	I y C
40	El Gallo	IV	0.41	I
41	Manuel Ávila Camacho	IV	0.40	I

No.	Nombre oficial	Región Hidrológico Administrativa <sup>2</sup> (RHA)	Capacidad NAMO <sup>3</sup> (km <sup>3</sup> )	Usos <sup>4</sup>
42	Valle de Bravo	IV	0.39	A
43	Plutarco Elías Calles	VIII	0.34	I
44	Tepuxtepec	VIII	0.32	G e I
45	Francisco Zarco	VII	0.31	C e I
46	Ing. Luis L. León	VI	0.31	I y C
47	Ing. Guillermo Blake Aguilar	III	0.30	C e I
48	José López Portillo	VI	0.30	A e I
49	Laguna de Yuriria	VIII	0.29	I
50	Manuel M. Diéguez	VIII	0.26	G
51	Federalismo Mexicano	VI	0.26	I, A y C

**Notas:**

<sup>1</sup> Sólo se incluyen las 51 presas con mayor capacidad (>250 hm<sup>3</sup>). En 2012 se puso en operación la presa Picachos, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa (RHA III), con una capacidad de 322 hm<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Región hidrológico-administrativa (RHA): 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 y XIII= Aguas del Valle de México.

<sup>3</sup> NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. Es el volumen de almacenamiento de una presa en su máximo nivel para operar y satisfacer las demandas.

<sup>4</sup> Abreviaturas de los usos: G= Generación de energía eléctrica, I= Irrigación, A= Uso para abastecimiento público, C= Control de avenidas.

**Fuente:**

Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México. 2012.

de 17 742 metros cúbicos por año, pasando a poco menos de 11 mil en 1960 y a menos de 8 mil en 1970. En 2010, la disponibilidad por habitante fue de 4 090 metros cúbicos anuales (Conagua, 2012; **IB 2.1-1**), un volumen que de acuerdo al World Resources Institute (WRI) se considera como de disponibilidad baja. La disponibilidad de agua por habitante de México es mucho menor que la de países como Canadá (84 633 m<sup>3</sup>/hab/año), Panamá (42 577 m<sup>3</sup>/hab/año) o Estados Unidos (9 159 m<sup>3</sup>/hab/año), y en general de toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de muchos de los países europeos (FAO, 2012). Para 2030 se proyecta que la disponibilidad de agua por habitante será de tan sólo 3 800 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2011).

Los valores nacionales per cápita pueden enmascarar situaciones de estrés hídrico a nivel regional. México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua en sus regiones hidrológico-administrativas, que van desde la muy alta, alta, media, baja, muy baja, hasta la extremadamente baja (menor

a 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año; Conagua, 2011). Para ilustrar dicha heterogeneidad, las regiones Aguas del Valle de México y Frontera Sur son buenos ejemplos: mientras que la primera de ellas en 2010 tenía un disponibilidad de apenas 160 metros cúbicos por habitante por año (lo que la clasificaba en la categoría de disponibilidad de extremadamente baja), la región de la Frontera Sur registraba en el mismo año 22 393 metros cúbicos, es decir, una disponibilidad cerca de 140 veces mayor, clasificada como de muy alta disponibilidad (Mapa 6.4; [Cuadro D3\\_AGUA03\\_01](#)).

Si se considera a las regiones hidrológico-administrativas con disponibilidades muy bajas, resulta que más de 75 millones de habitantes en el país (alrededor del 66% de la población nacional) se encontraban en situación de estrés hídrico en 2010. En el futuro, la disponibilidad per cápita en algunas zonas del país podría agravarse significativamente: según un estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés), la disponibilidad de agua per cápita para el año 2025 en las cuencas de los ríos Balsas, Grande

de Santiago y Colorado podría caer por debajo de los 1 700 metros cúbicos por habitante por año (UNDP, 2000).

## GRADO DE PRESIÓN



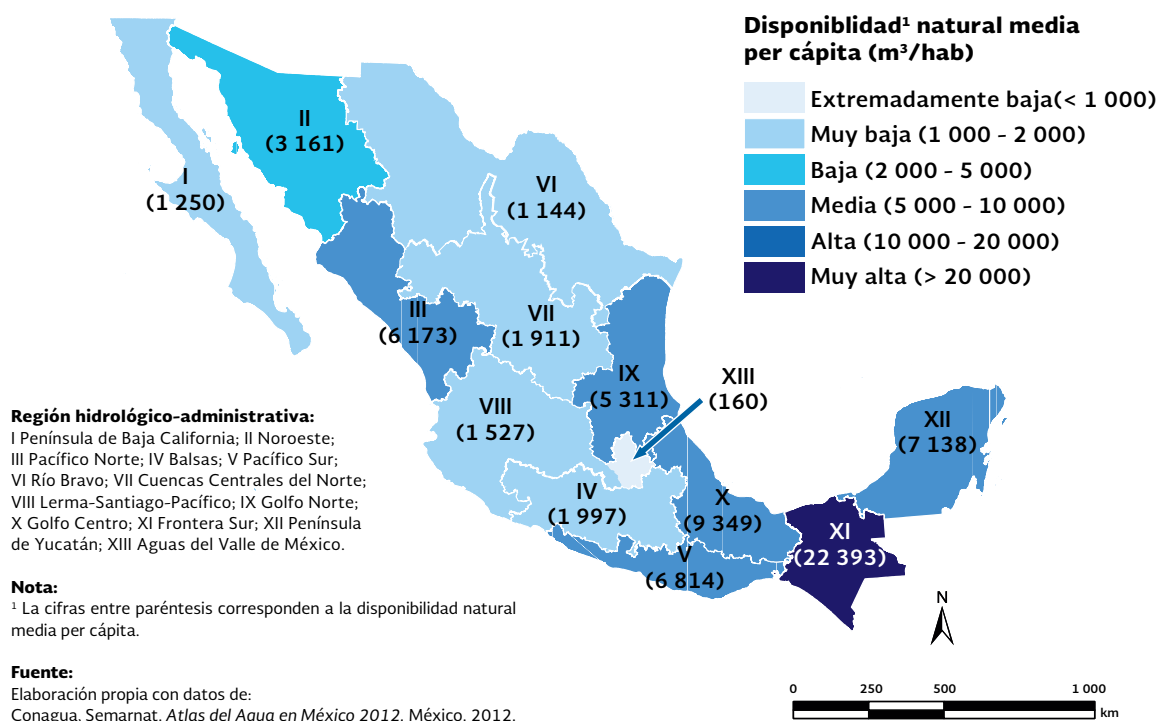
El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPRH; **IB 2.1-6** e **IC 9**) representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, respecto al agua renovable. La Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la ONU define cuatro categorías para clasificar el grado de presión, que van desde fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta escasa (el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). Algunos países de Medio Oriente (como los Emiratos Árabes y Kuwait), presentan un grado de presión que pudiera calificarse como extremo, ya que superan el 2 000%. México, con un valor estimado

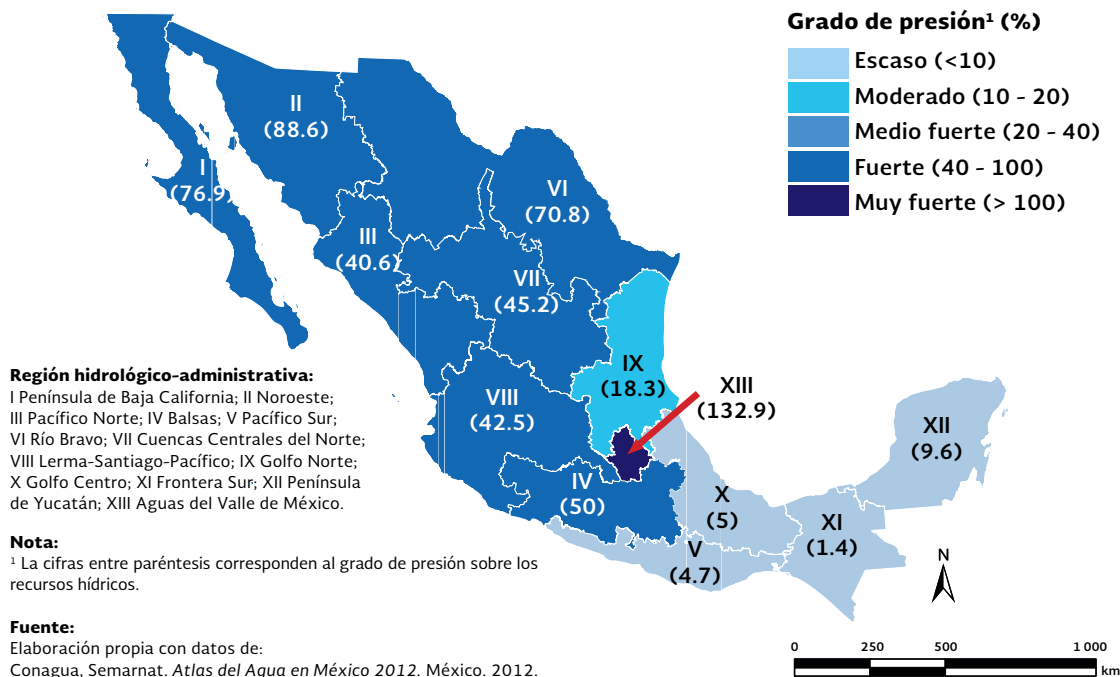
de GPRH de 17.4% en 2010, se encuentra en la categoría de presión moderada, valor superior al 11.5% estimado como promedio para los países de la OCDE (FAO, 2012). No obstante, este valor está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que en regiones como Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur se extrae menos del 8% del agua disponible. En contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, registran grados de presión superiores al 40% (Mapa 6.5). Caso particular es el de la región de Aguas del Valle de México, cuyo valor de presión sobre el recurso alcanzó 132.9% en ese mismo año.

Finalmente, otra medida de la disponibilidad del agua es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la extracción

### Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.4





per cápita en México para 2010 fue de 709.9 metros cúbicos por habitante por año, valor muy semejante al de España (711 m<sup>3</sup>/hab) e inferior a los de Bulgaria (811 m<sup>3</sup>/hab), Filipinas (889 m<sup>3</sup>/hab), Pakistán (1 076 m<sup>3</sup>/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).

## EXTRACCIÓN Y USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La extracción de agua dulce 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. A nivel mundial, el aumento en la extracción de agua fue de poco más de 50% en tan sólo 30 años, al pasar de 2 574 a 3 940 kilómetros cúbicos

entre 1970 y el año 2000 (UNEP, 2002). El caso de México no ha sido muy diferente: entre 2002 y 2010 el volumen concesionado para los usos agropecuario, abastecimiento público e industrial se incrementó en casi 8 kilómetros cúbicos, pasando de 72.6 a 80.3 kilómetros cúbicos, lo que representa 17.4% del agua disponible (IB 2.1-2; ver también recuadro [Huella hídrica y agua virtual](#)).

## Volumen concesionado por uso consuntivo

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 y agricultura, así como de su población y sus patrones de consumo. En general, la distribución del agua en México<sup>8</sup> para los diferentes usos consuntivos es similar a la que tienen países como Chipre

<sup>8</sup> El Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) registra los volúmenes concesionados (o asignados, en el caso de volúmenes destinados al uso público urbano o doméstico) a los usuarios de aguas nacionales. También clasifica los usos del agua que, con fines prácticos, se han agrupado en cinco grupos: cuatro corresponden a los usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y generación de energía eléctrica), y por último está el uso hidroeléctrico, que corresponde a un uso no consuntivo (Conagua, 2011).

La huella hídrica se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país (Chapagain y Hoekstra, 2004). Este concepto se introdujo con el fin de proporcionar información sobre cómo se usa el agua en la producción, y complementar así los indicadores tradicionales de uso del líquido 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. El concepto de huella hídrica está muy relacionado con el de agua virtual, que corresponde a la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción de un bien o servicio (Figura a).

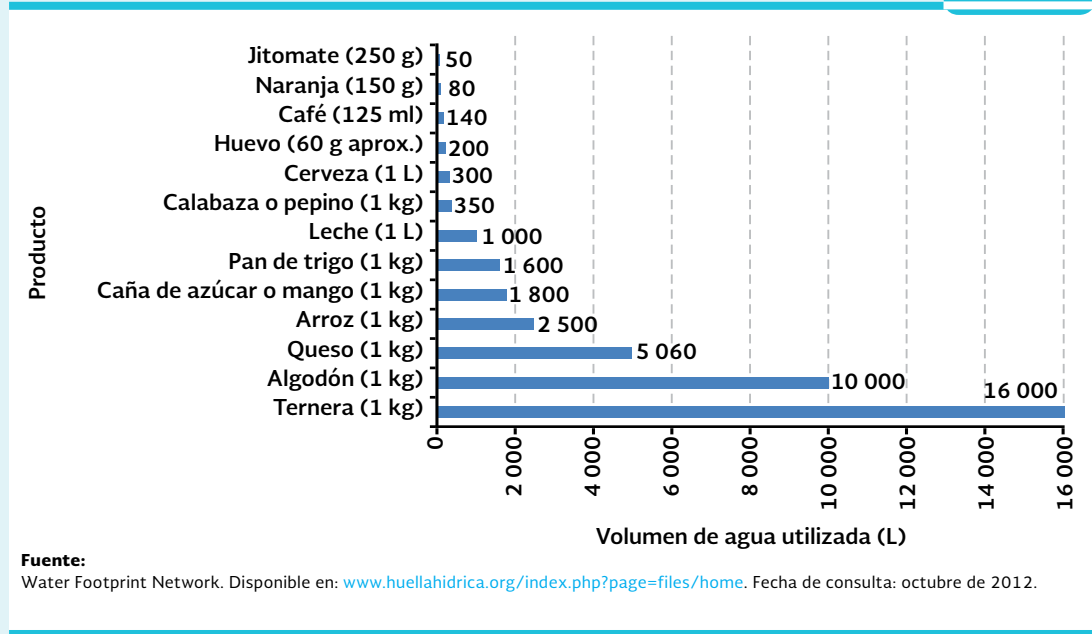
De acuerdo con Mekonnen y Hoekstra (2011), la huella hídrica tiene tres

componentes: azul, verde y gris. La huella azul se refiere al consumo de recursos hídricos superficiales y subterráneos que se evaporan o incorporan a un producto. La verde corresponde al volumen de agua de lluvia consumido, lo cual es particularmente relevante en la producción de cultivos de temporal. Finalmente, la huella gris es el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes que se desechan en las aguas domésticas y en las residuales producto de las actividades industriales y agropecuarias.

A nivel global, en el periodo 1997-2001, 86% de la huella hídrica estuvo relacionada con el consumo de productos agrícolas, 10% con el consumo de bienes industriales y aproximadamente 4% con los usos domésticos (Chapagain y Hoekstra, 2004). Entre 1996 y 2005,

**Cantidad de agua utilizada para producir algunos productos**

Figura a



los países con la mayor huella hídrica a nivel mundial fueron China (1 207 Gm<sup>3</sup>/año<sup>1</sup>), India (1 182) y el Reino Unido (1 053), que en conjunto sumaban aproximadamente el 38% de la huella hídrica mundial (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

La huella hídrica per cápita es el volumen total de agua utilizado para producir los bienes y servicios que un individuo consume. Se obtiene multiplicando todos los bienes y servicios consumidos por un habitante promedio por su respectivo contenido virtual de agua. Los principales factores que determinan la huella hídrica per cápita son: 1) el consumo de agua promedio por persona; 2) los hábitos de consumo de sus habitantes; 3) el clima, en particular la evaporación, que determina las condiciones de cultivo; y 4) la eficiencia de uso de agua en la producción agrícola e industrial.

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 de productos industrializados. Entre 1996 y el año 2005, los países industrializados alcanzaron una huella hídrica per cápita de entre 1 250 y 2 850 m<sup>3</sup>/año, con el Reino Unido en el extremo inferior del intervalo y Estados Unidos en el extremo superior. Por su parte, los países en vías de desarrollo, aun cuando pueden tener un consumo cárnico relativamente menor que los países industrializados, pueden registrar altas huellas hídricas per cápita como resultado de una baja

eficiencia en el uso del agua y de las condiciones de cultivo desfavorables. Prueba de ello es que los países que alcanzaron la mayor huella hídrica per cápita, en ese mismo periodo, fueron Mongolia (3 775 m<sup>3</sup>/año), Niger (3 519) y Bolivia (3 468; Figura b y Mapa 1). En el caso de México, su huella hídrica per cápita registrada en el mismo periodo fue de 1 978 m<sup>3</sup>/año por habitante, lo que la hace 42% superior al promedio mundial.

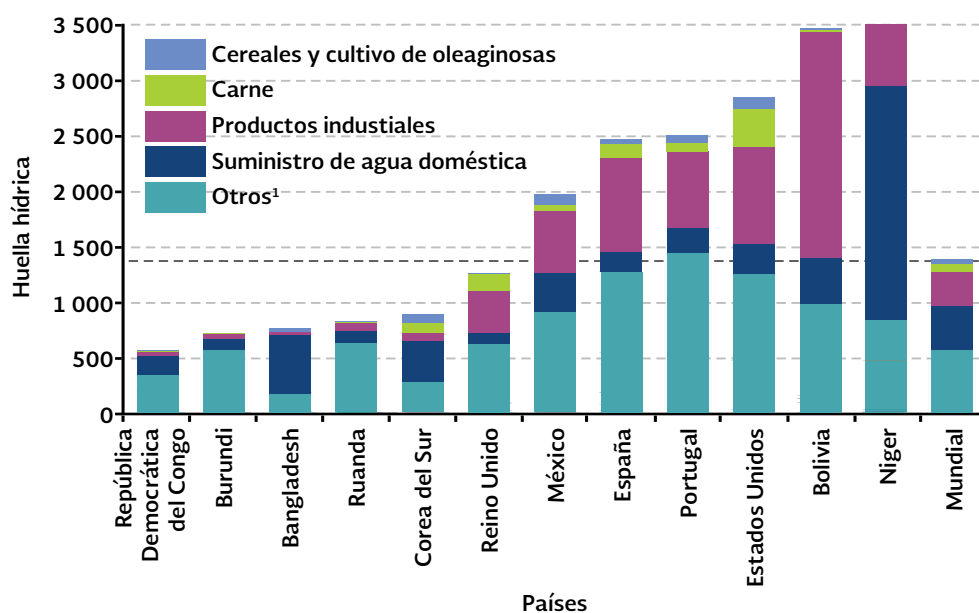
Si se analiza la huella hídrica por sector, entre 1996-2005 la huella promedio global anual relacionada con la agricultura, la producción industrial y el suministro de agua para uso doméstico fue de 9 087 Gm<sup>3</sup>/año (74% correspondiendo a la huella verde, 11% a la azul y 15% a la gris). De este valor global, el 92% correspondió a la producción agrícola, 4.4% a la producción industrial y 3.6% al uso doméstico.

El hecho de que muchos de los productos que se consumen en un país pueden producirse en otra nación significa que la demanda real de agua de un país con frecuencia es diferente de lo que sugieren las extracciones nacionales. Los países con gran desarrollo económico pueden hacer uso, mediante la importación de productos, de los recursos hídricos de muchos otros países, con lo cual además reducen la presión sobre sus propios recursos hídricos. La huella hídrica de un país tiene, por tanto, componentes internos y externos. La huella hídrica interna es el volumen utilizado de recursos hídricos del país, mientras que la externa corresponde

<sup>1</sup> 1Gm<sup>3</sup> = 1 Gigámetro cúbico = mil millones de metros cúbicos.

## Huella hídrica nacional por categoría de productos, 1996 - 2005

Figura b

**Nota:**

<sup>1</sup> Vino, cerveza, grasa animal, tubérculos, aceites vegetales, fibras, leche, azúcar, vegetales, tabaco, huevo, frutos, caucho, pieles, legumbres, café, té, cacao, nueces y especias.

**Fuente:**

Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

al volumen de agua utilizada en otros países para producir los bienes y servicios importados y consumidos.

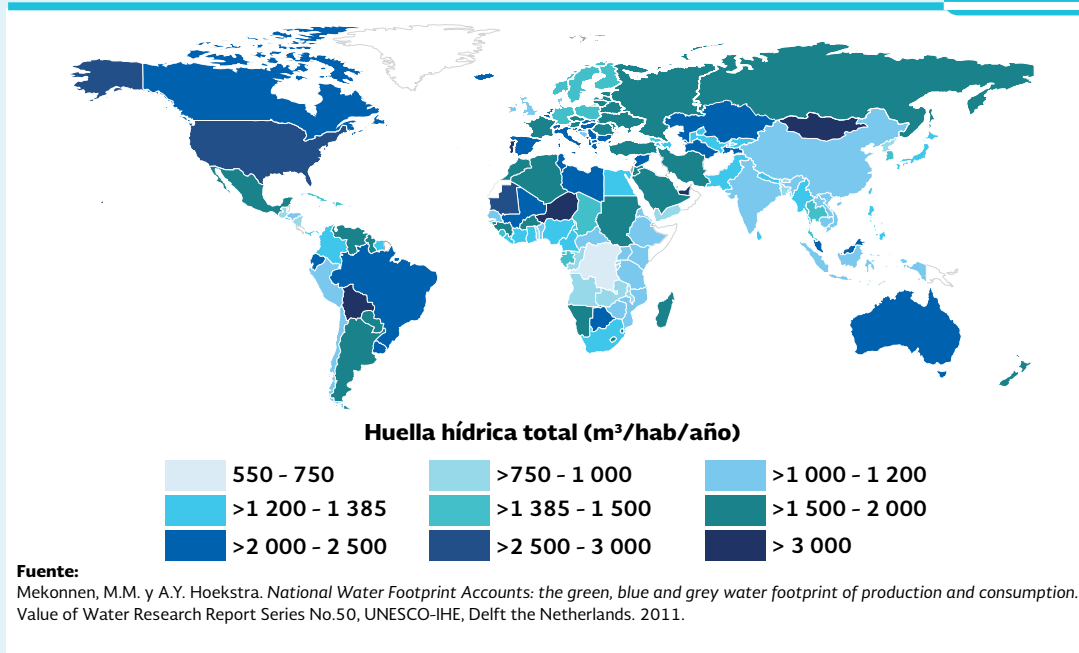
Los mayores países exportadores de agua virtual en el mundo son, en América del Norte y del Sur: Estados Unidos, Canadá, Brasil y Argentina; en el sur de Asia: India, Pakistán, Indonesia y Tailandia; y Australia. En el otro extremo, la mayor red virtual de importadores de agua la forman los países del norte de África y el Medio Oriente, México, Europa, Japón y Corea del Sur (Mapa 2). México se sitúa en el sexto lugar mundial de los países

importadores de agua virtual, con una importación neta de 92 Gm<sup>3</sup>/año, lo cual reduce su demanda de agua comparada con lo que se necesitaría si tuviera que producir la cantidad total de productos (principalmente agrícolas) para satisfacer la demanda de la población mexicana (Chapagain *et al.*, 2006).

Los productos con gran participación en los flujos de agua virtual global son los cereales (17% del flujo total de agua virtual internacional), productos industriales (12.2%), café, té y cacao (7.9%), así como los productos de carne

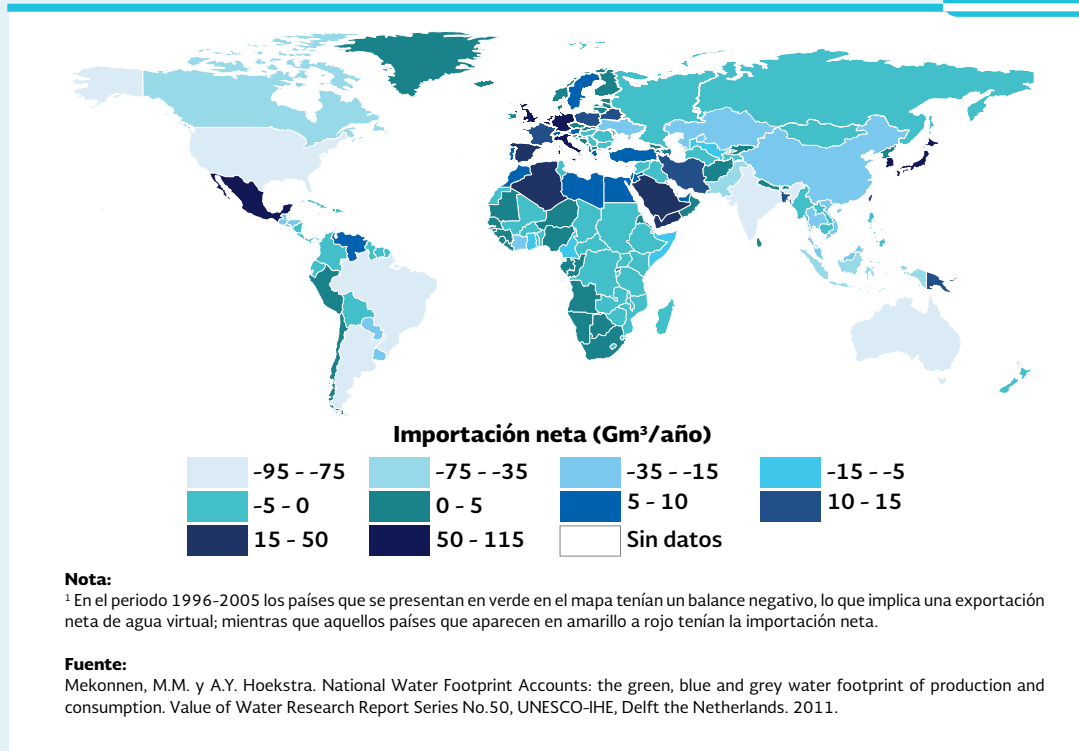
Huella hídrica total per cápita

Mapa 1



Importación neta de agua virtual<sup>1</sup>

Mapa 2





de res (6.7%). No obstante, el mayor flujo de agua virtual internacional es el que se destina a las oleaginosas (como el algodón, soya, aceite de palma, de girasol y de colza) y productos derivados, cuya participación representa casi el 44% de la suma total de flujos de agua virtual internacional.

#### Referencias:

Chapagain, A.K. y A. Y. Hoekstra. *Water footprints of nations, value of water*. Research Report Series 16, UNESCO-IHE. Delf. Netherlands. 2004. Disponible en: [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org). Fecha de consulta: octubre de 2012.


Chapagain, A.K., A. Y. Hoekstra y H.H.G. Savenije. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences* 10: 455-468. 2006.

Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50. UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

o la India, 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 Bulgaria y Eslovenia (Figura 6.5).

La mayor parte del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias: en 2010 cerca del 77% se utilizó para el riego de 6.5 millones de hectáreas (cerca de la cuarta parte de la superficie sembrada), así como para las actividades pecuarias y acuícolas (Figura 6.6). Le siguió el uso para abastecimiento público, con 14% del volumen total de agua extraída y el industrial y la generación de energía eléctrica con 9%. Dentro de los usos no consuntivos del agua, en 2009 las hidroeléctricas emplearon para su funcionamiento un volumen de 136.1 kilómetros cúbicos para generar 26.4 TWh<sup>9</sup> de electricidad (11.3% del total nacional).

Del volumen total de agua que se concesionó en el país en 2010, casi 56% (44.6 km<sup>3</sup>) correspondió a las regiones Lerma-Santiago-Pacífico (14.6 km<sup>3</sup>, 18%), Balsas (10.4 km<sup>3</sup>, 12.9%), Pacífico Norte (10.4 km<sup>3</sup>, 13%) y Río Bravo (9.3 km<sup>3</sup>, 11.6%); las regiones que menos agua extrajeron fueron Pacífico Sur (1.4 km<sup>3</sup>), Frontera Sur (2.2 km<sup>3</sup>) y Península de Yucatán (2.8 km<sup>3</sup>), que en conjunto representan apenas el 8% del total nacional (Mapa 6.6).

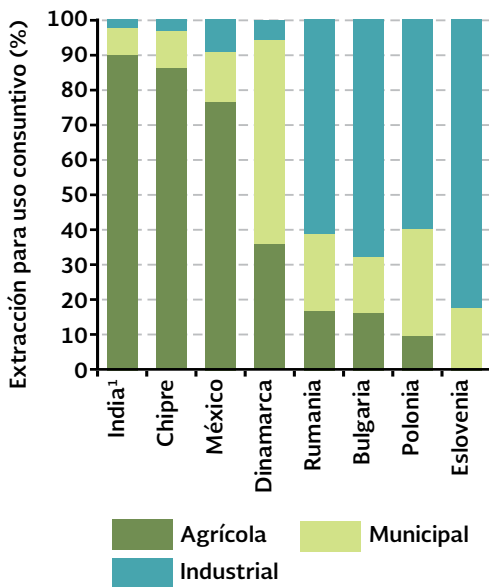
Si se analiza el origen del agua concesionada para extracción en el país<sup>10</sup> en 2009, 63% del volumen provino de las fuentes superficiales, mientras que el restante 37%, de las subterráneas. La extracción de fuentes superficiales se ha incrementado poco más de 15% entre el año 2000 y 2009, mientras que la extracción de agua subterránea se mantuvo prácticamente sin cambios (**IB 2.1-3**). Ahora 

<sup>9</sup> 1 TWh = 1 000 GWh = 1 000 millones de kWh.

<sup>10</sup> Únicamente se considera el volumen de agua concesionada, como una aproximación al volumen verdadero de agua consumida que se extrae.

## Extracción de agua por uso consuntivo en México y otros países, 2009

Figura 6.5



**Nota:**

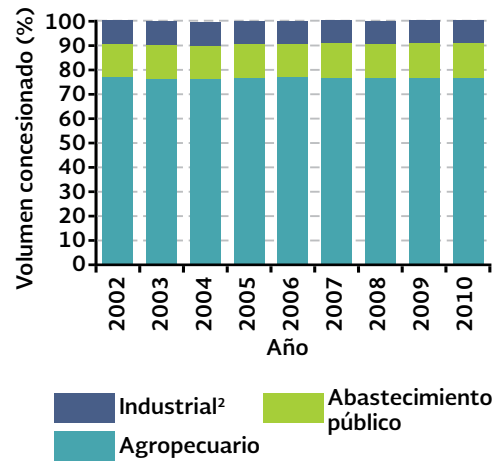
<sup>1</sup> Datos 2010.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: 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/data/](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/). Fecha de consulta: agosto de 2012.

## Volumen concesionado<sup>1</sup> por uso consuntivo en México, 2002 - 2010

Figura 6.6



**Nota:**

<sup>1</sup> El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

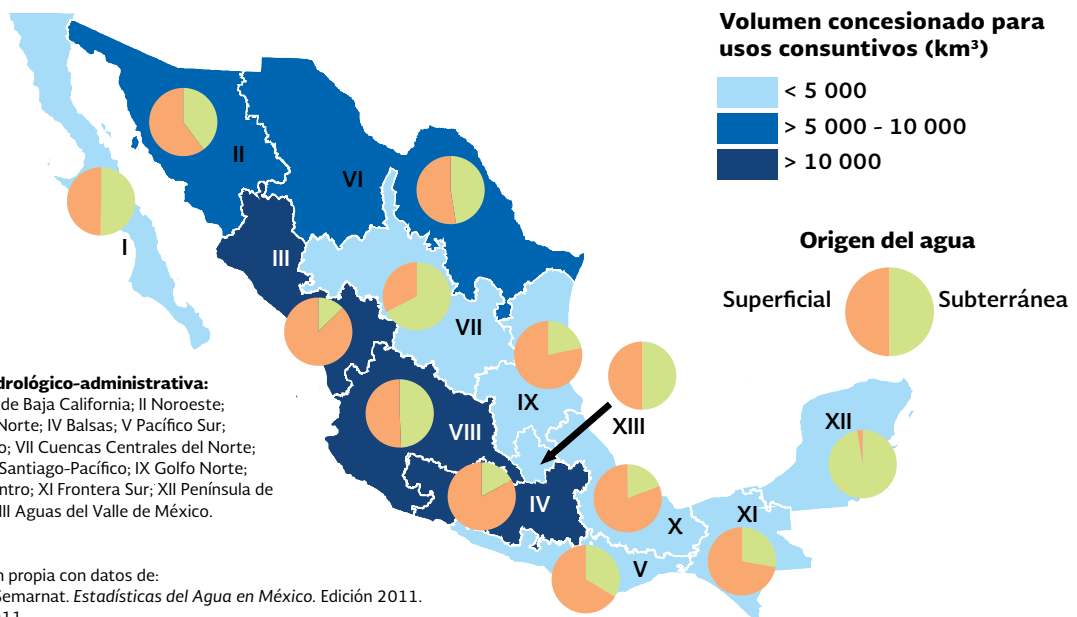
<sup>2</sup> Incluye: industria, agroindustria, servicios, comercio y generación de energía eléctrica.

**Fuentes:**

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2004. México, 2004.  
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México 2005*, Síntesis. México, 2005.  
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006-2008, 2010 y 2011. México, 2006-2008, 2010 y 2011.  
 Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México, 2012.

## Volúmenes concesionados por región hidrológico-administrativa, según origen, 2009

Mapa 6.6



bien, existen diferencias marcadas al interior del país con respecto a la proporción de agua superficial y subterránea que se utiliza: por ejemplo, en 2009 las regiones en las que el agua procedió en mayor medida de las fuentes superficiales fueron Pacífico Norte (87%), Balsas (83%), Golfo Centro (81%) y Golfo Norte (78%), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte y Península de Yucatán se utilizó una fracción considerable del agua de origen subterráneo (67 y 97%, respectivamente; Mapa 6.6; [Cuadro D3\\_AGUA03\\_03](#)).

El uso de agua superficial se mantuvo con pocos cambios en la mayoría de las regiones del país entre los años 2002 y 2009; no obstante, son notables los casos de la región Noroeste y la Península de Yucatán, donde el volumen concesionado se incrementó en más de 120 y 200% , respectivamente. En cuanto al uso del agua subterránea, el volumen concesionado se incrementó considerablemente en la Península de Yucatán (más de 160%), seguida de las regiones Golfo Centro y Pacífico Sur (ambas con más de 120%) en ese mismo periodo.

En 2009 el abastecimiento de agua para uso agrícola, así como para la industria y la generación de energía eléctrica a nivel nacional provenían en su mayor parte de fuentes superficiales (66 y 70%, respectivamente), en contraste con el agua que se destina al uso público, que en su mayoría procedía de fuentes subterráneas (62%). Entre 2000 y 2009 el volumen de agua concesionado para uso agropecuario de origen superficial aumentó 6% en el periodo (pasando de 38.58 a 40.92 km<sup>3</sup>); por otro lado, el uso de agua superficial para el abastecimiento público se incrementó en 66.7% (pasó de 2.58 a 4.31 km<sup>3</sup>), mientras que en el mismo periodo el uso industrial de agua superficial se duplicó (pasó de 2.54 a 5.20 km<sup>3</sup>; [Figura 6.7; Cuadro D3\\_AGUA03\\_03](#)).

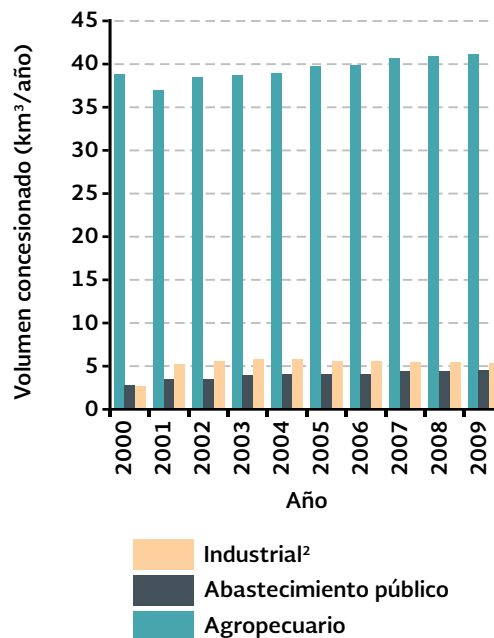
Respecto al volumen concesionado del agua de origen subterráneo, entre 2000 y 2009 se incrementó 8.5% para el uso agropecuario (cambió de 19.22 a 20.87 km<sup>3</sup>), aunque con algunas fluctuaciones; en el mismo periodo, el volumen de agua concesionado para

abastecimiento público con el mismo origen se incrementó en 24.1% (pasó de 5.71 a 7.09 km<sup>3</sup>), en contraste con el volumen subterráneo para uso industrial que disminuyó en 41.4%, ya que pasó de 3.58 a 2.1 km<sup>3</sup> ([Figura 6.8](#)).

Si se analizan regionalmente los usos consuntivos del agua, las diferencias resultan importantes. En 2010, en la región Pacífico Norte, el 93% del agua se destinaba a actividades agropecuarias, mientras que en la región del Valle de México este uso consuntivo alcanzaba apenas 49.5% ([Mapa 6.7, Cuadro D3\\_AGUA03\\_03](#)). En lo que se refiere al agua para el abasto público, las regiones que proporcionalmente asignaron más agua fueron Aguas del Valle de México (44.9%), Península de Yucatán (20.7%), Pacífico Sur (24.4%) y Frontera Sur (21.1%). El agua destinada para el uso industrial en general es

**Volumen de agua concesionado<sup>1</sup> de origen superficial, 2000 - 2009**

**Figura 6.7**



**Notas:**

<sup>1</sup> El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

<sup>2</sup> Incluye: industria, agroindustria, servicios, comercio y generación de energía eléctrica.

**Fuentes:**

Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002-2008, 2010 y 2011. México, 2002-2008, 2010 y 2011.

inferior al uso para abastecimiento público, excepto en las regiones Balsas, Golfo Centro y Península de Yucatán (con 32.7, 22.8 y 18.5%, respectivamente).

### Agua subterránea: intensidad de uso y acuíferos sobreexplotados

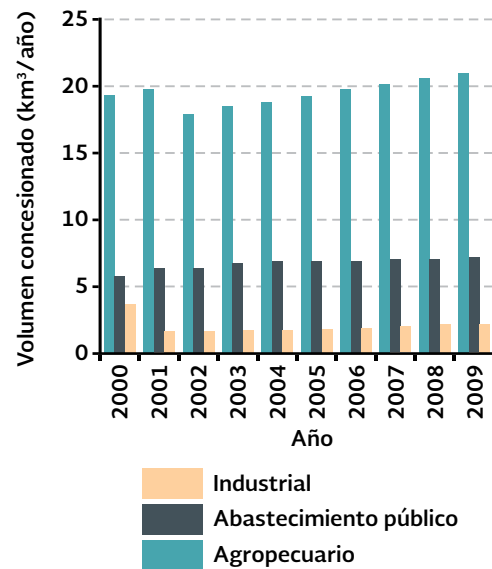
Para conocer cómo afectan los usos consuntivos la sostenibilidad de los recursos subterráneos, un buen indicador es la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. Si se analiza por región hidrológico-administrativa, el panorama es preocupante: en 2009, los valores de intensidad de uso del agua subterránea en las regiones Cuencas Centrales del Norte y Península de Baja California fueron muy altos, es decir, el agua utilizada excedió la recarga, con valores al 110%, respectivamente (Mapa 6.8; Cuadro D3\_AGUA02\_01; IC 10). Por otro lado, entre 2004 y 2009, para las regiones Golfo Norte y Noroeste, la intensidad de uso disminuyó en 37 y 17%, respectivamente.



D3\_AGUA02\_01; IC 10). Por otro lado, entre 2004 y 2009, para las regiones Golfo Norte y Noroeste, la intensidad de uso disminuyó en 37 y 17%, respectivamente.

### Volumen de agua concesionado<sup>1</sup> de origen subterráneo, 2000 - 2009

Figura 6.8

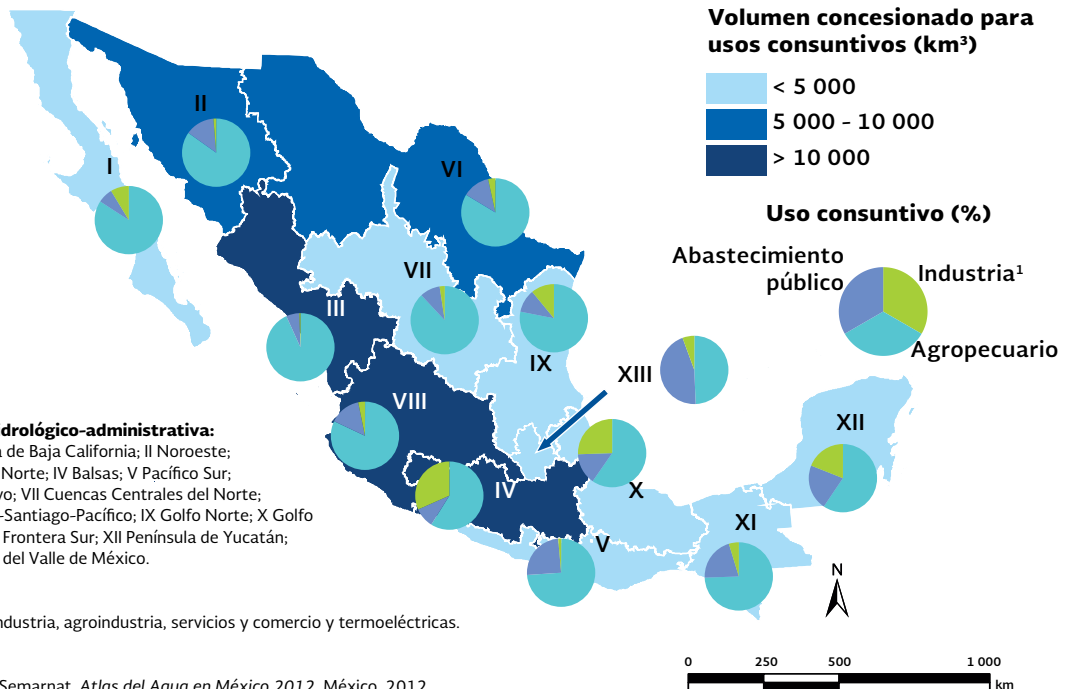


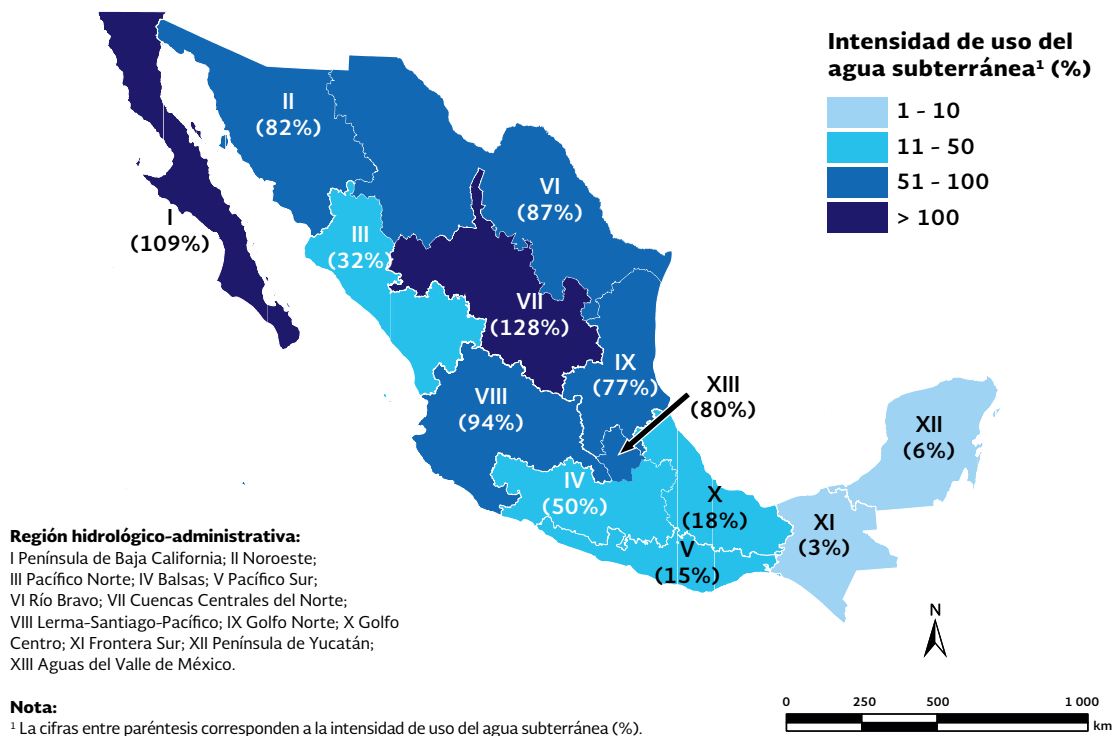
**Nota:**  
<sup>1</sup> El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

**Fuentes:**  
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002-2008, 2010 y 2011. México, 2002-2008, 2010 y 2011.

### Uso consuntivo por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.7





Uno de los aspectos más relevantes del manejo adecuado del agua subterránea radica en el control del volumen aprovechado por los diferentes usuarios consuntivos. En ocasiones la demanda puede ser muy intensa, y puesto que algunos acuíferos tienen periodos de renovación muy largos, la demanda puede superar la recarga del acuífero y producir su sobreexplotación.

A partir de la década de los años setenta, el número de acuíferos sobreexplotados se ha incrementado notablemente. En 1975 existían 32 acuíferos en esta categoría, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985, 100 en 2009 y 102 en 2011. Los 102 acuíferos con sobreexplotación representan el 15% de los 653 que hay en el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas Lerma-Santiago-Pacífico, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo, Noroeste y Península de Baja California (Mapa 6.9). De

estos acuíferos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos.

Además de la sobreexplotación, algunos acuíferos se encuentran bajo condiciones de salinización. En amplias zonas de riego, sobre todo las que se encuentran en las zonas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado que los niveles de agua subterránea hayan descendido varios metros y que se favorezca la intrusión del agua del mar y la disminución de la calidad de su agua. En 2011, catorce acuíferos tenían problemas de intrusión salina (ocho de los cuales también tenían condiciones de sobreexplotación, principalmente los de las regiones Península de Baja California y Noroeste) y 31 presentaban problemas de salinización y aguas subterráneas salobres (13 de ellos en condición de sobreexplotación; **IB 2.1-7**).

El tema de la escasez del agua es uno de los más importantes de la agenda ambiental global. El problema fundamental de su disponibilidad se debe a que, mientras la cantidad del líquido es prácticamente invariable, la población humana aumenta y con ella su demanda de alimentos, productos manufacturados y energía. En 2011, la población mundial alcanzó 7 mil millones de habitantes y se espera que llegue a 9 300 millones para el 2050, lo que reducirá significativamente la disponibilidad per cápita. Se estima que en el 2025 cerca de 1 800 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 México, la disponibilidad per cápita en 2009 fue de 4 263 metros cúbicos, y se calcula podría reducirse en 2030 a tan sólo 3 800 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2011). A nivel regional, en 2009 los habitantes de cinco regiones hidrológico-administrativas presentaron 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 (Tabla a).

Otra causa de la escasez de agua se encuentra en la creciente urbanización de los países. La urbanización pone bajo severa presión los recursos hídricos locales (tanto los superficiales como los subterráneos), y en algunos casos, ejerce presión sobre los recursos de regiones vecinas. En 1950, de los 2 500 millones de habitantes del planeta, 29% vivía en zonas urbanas, mientras que el restante 71% (alrededor de 1 800 millones de personas) habitaba zonas rurales. Para el año 2050, según estimaciones, la situación se invertirá: cerca del 70% de la población global (6 500 millones) vivirá en ciudades y el resto (30%, es decir, 2 790 millones de personas) ocupará las zonas rurales (UN, 2008). México ha seguido un patrón de urbanización similar al mundial. En 1970, 51.7% de la población vivía en zonas urbanas, y se calcula que podría incrementarse hasta el 68% en el año 2030 (Reyna y Hernández, 2006; Conapo, 2007), lo cual podría exacerbar la condición crítica de abasto de agua en las regiones más urbanizadas, como el centro y poniente del país.

Finalmente, el desarrollo económico y el cambio climático también podrían tener un impacto importante sobre la disponibilidad de agua en el futuro. En el primer caso, debido a que en la medida en que se eleva el bienestar

## Proyección de la disponibilidad de agua per cápita nacional a 2030

Tabla a

Región hidrológico-administrativa		Disponibilidad natural por habitante en 2030 (m <sup>3</sup> /hab/año) <sup>1</sup>	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
<b>Nacional</b>		<b>3 783</b>	<b>Baja</b>

**Nota:**<sup>1</sup> Cálculo basado en la proyección de la población a 2030 del Conapo.**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2008. México. 2008.Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. 2006.

de los países, el consumo de agua por habitante tiende a crecer (UN, 2007). Con respecto al cambio climático éste podría tener un efecto importante alterando tanto la disponibilidad a nivel mundial como la distribución de estos recursos a través del tiempo: de acuerdo

con 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 afectaciones en el suministro a la población.

**Referencias:**

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México. 2011.

Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México, 2006.

Reyna B. A. y J.C. Hernández. *Poblamiento, desarrollo rural y medio ambiente. Retos y prioridades de la política de población*. Conapo. México. 2006.

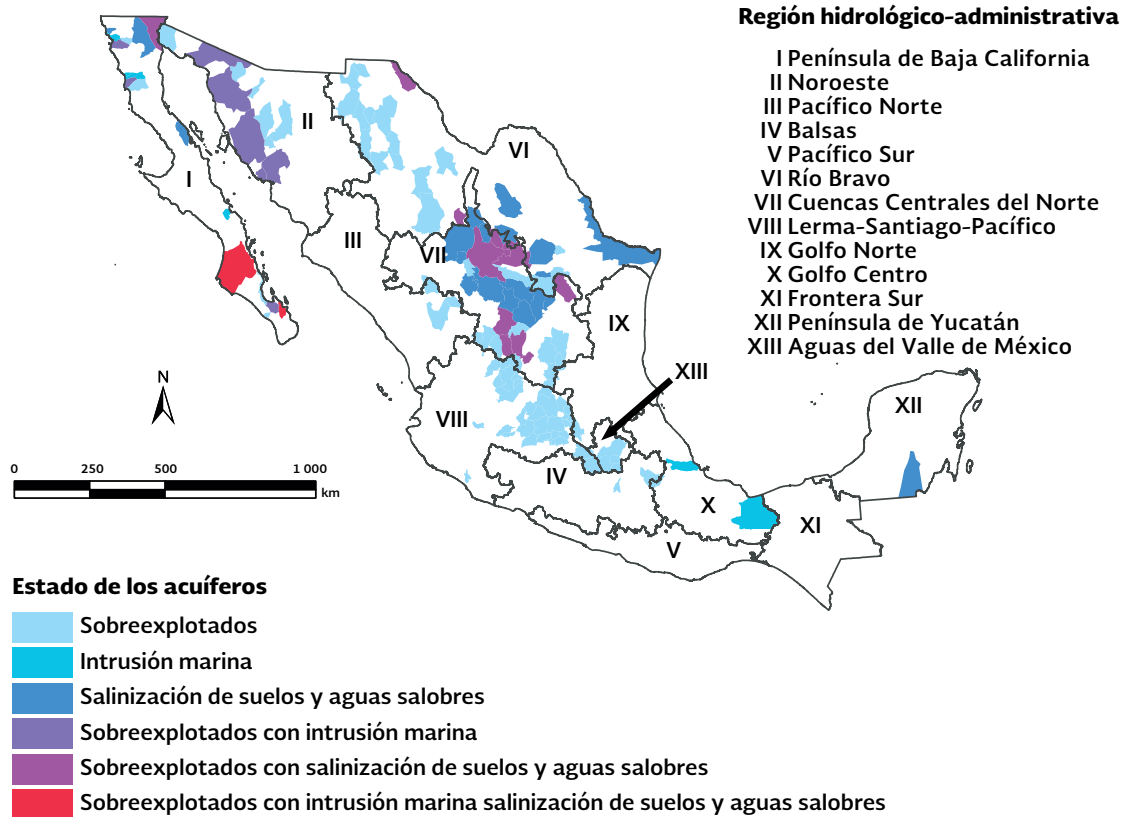
UN. *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. Third edition. United Nations. NY. 2007.

UN. *World Urbanization Prospects. The 2007 Revision*. Executive Summary. USA. 2008.

UNEP. *GEO 4. Global Environmental Outlook. Environment for development*. United Nations Environment Programme. Malta. 2007.

**Acuíferos sobreexplotados, con intrusión marina y salinización de suelos, 2011**

Mapa 6.9



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Gerencia de Aguas, Subdirección General Técnica, Conagua, Semarnat. México. 2013.



## CALIDAD DEL AGUA

La situación de la disponibilidad del agua no refleja cabalmente la magnitud del problema que enfrentan las sociedades y los ecosistemas naturales. Debido a la descarga continua de aguas residuales domésticas e industriales sin un tratamiento que elimine los contaminantes que contienen, como de los escurrimientos con fertilizantes y plaguicidas provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias asentadas en las diferentes cuencas, la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se afecta negativamente, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas.

La calidad del agua es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (por ejemplo, como agua potable, para recreación, para uso agrícola o industrial), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (UNDP *et al.*, 2000). La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente, mientras que otros 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; la disposición inadecuada en el suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar, indirectamente, que escurrimientos superficiales y lixiviados contaminen los cuerpos de agua y 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.

## 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

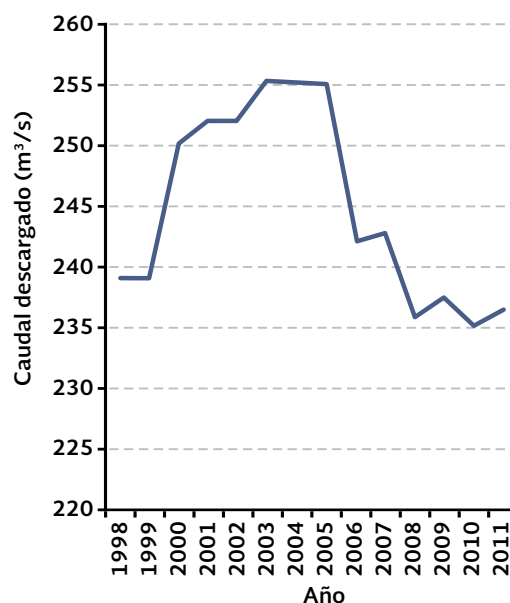
contaminantes son nutrientes (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica, detergentes, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (Silk y Ciruna, 2004).

En México en 2011, el volumen de aguas residuales provenientes de los centros urbanos fue de aproximadamente 7.5 kilómetros cúbicos (equivalente a cerca de 236.3 m<sup>3</sup>/s). Este volumen creció a la par del aumento de la población y la urbanización: entre 2000 y 2005 la generación de aguas residuales de los centros urbanos aumentó alrededor de 7% (equivalente a 16 m<sup>3</sup>/s), aunque a partir de esa fecha y hasta el 2010 se observó un decremento del volumen del caudal descargado incrementándose nuevamente en 2011 (Figura 6.9; **IB 2.2-1**).



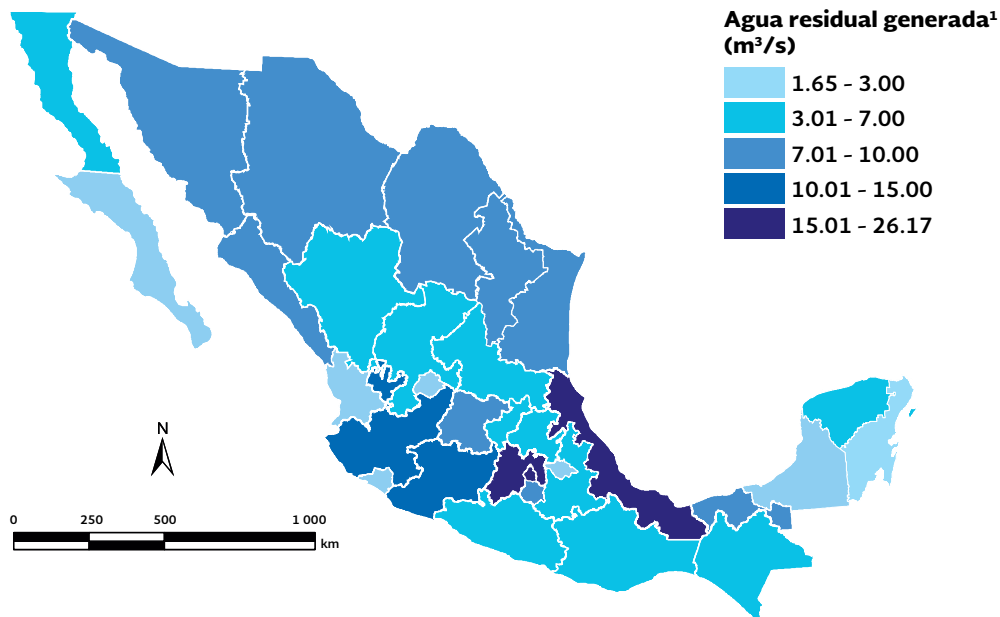
**Descarga de aguas residuales municipales a nivel nacional, 1998 - 2011**

Figura 6.9



**Fuentes:**

CNA, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* a diciembre de 2002. México, 2003. Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*, Ediciones 2007, 2008, 2010 y 2011. México 2007, 2008, 2010 y 2011. Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2011 y 2012. México. 2011 y 2012.



**Nota:**

<sup>1</sup> El caudal generado fue estimado en función de los siguientes parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

**Fuente:**

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Las entidades del país que en 2011 generaron las mayores descargas de aguas residuales municipales fueron México (26.17 m<sup>3</sup>/s), Distrito Federal (22.46 m<sup>3</sup>/s) y Veracruz (16.41 m<sup>3</sup>/s; Conagua, 2012), algunas de las más pobladas del país, y que en conjunto contabilizaron 27.5% del volumen nacional generado (Mapa 6.10).

Las descargas de aguas residuales no municipales en 2009 fueron alrededor de 6.01 kilómetros cúbicos (equivalentes a 190.4 m<sup>3</sup>/s; **IB 2.2-2**), cuya materia orgánica fue igual a 6.95 millones de toneladas de DBO<sub>5</sub><sup>11</sup> al año. Estas descargas hacia los cuerpos de agua crecieron 21 metros cúbicos por segundo entre 2000 y 2009, es decir, un incremento de 12% del volumen descargado (Conagua, 2011).

### 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 2010, la RNM contaba con 1 627 sitios, de los cuales 495 correspondían a la red primaria: 226 ubicados en cuerpos de agua superficiales, 113 en zonas costeras y 156 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 346 estaciones de monitoreo, de las cuales 282 estaban localizadas en aguas superficiales, 23 en zonas costeras y 41 en aguas subterráneas. De los restantes sitios, 701 pertenecen a la red de estudios especiales y 85 a la red de referencia de agua subterránea. 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\_AGUA\_RNM**).

La Conagua publica entre sus principales indicadores de calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Otros parámetros que se

<sup>11</sup> DBO<sub>5</sub> corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días.





registran en la mayoría de los sitios de la RNM de la calidad del agua son las concentraciones de nitratos (**IB 2.2-10**) y fosfatos (**IB 2.2-9**), así como su dureza, oxígeno disuelto y pH.

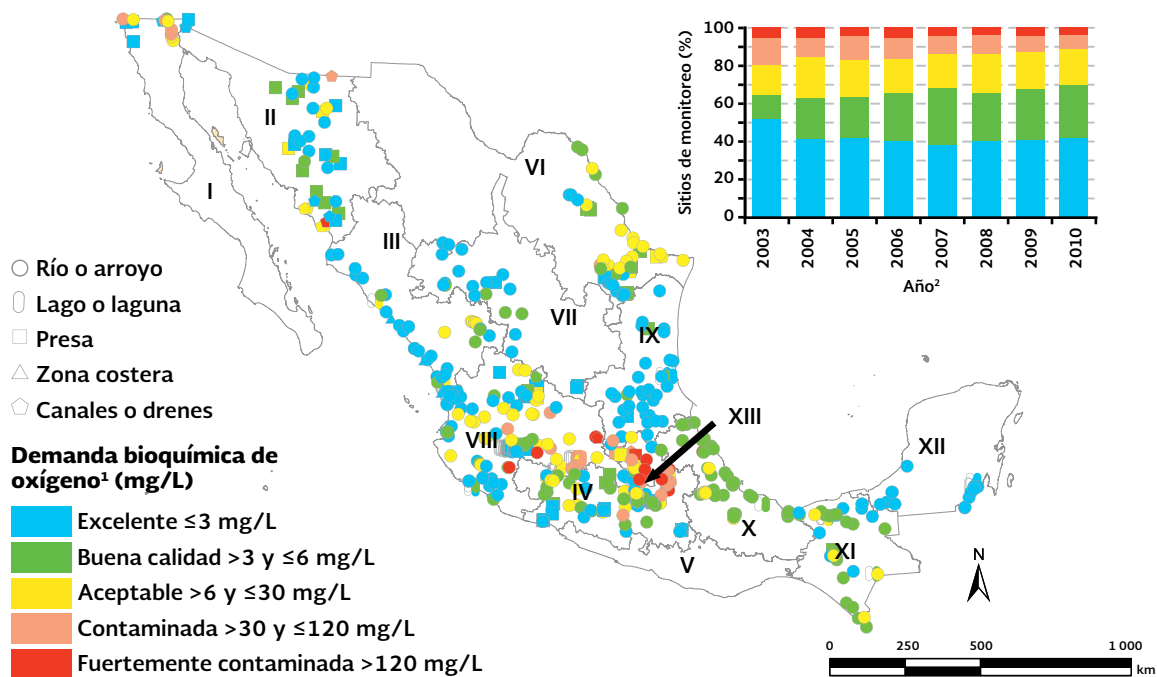


La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza como indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua (**IB 2.2-8** e **IC 12**). Su incremento provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, lo cual crea condiciones de “anoxia” y produce efectos negativos en las

comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos. En 2010, en 42.3% de los 652 sitios de monitoreo examinados, la DBO<sub>5</sub> fue inferior a los 3 miligramos por litro, lo que se considera como valor límite máximo para una excelente calidad del agua (Mapa 6.11). En contraste, cerca de 11.3% de los sitios monitoreados en los cuerpos de agua registró valores de DBO<sub>5</sub> mayores a 30 miligramos por litro, valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos. La mayor cantidad de los sitios con altos valores de DBO<sub>5</sub> (mayores a 30 mg/L y que se consideran

### Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.11



**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.

**Notas:**

<sup>1</sup> Excelente (no contaminada) ≤3 mg/L; Buena (bajo contenido de materia orgánica) >3 y ≤6 mg/L; Aceptable (con indicio de contaminación pero con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) >6 y ≤30 mg/L; Contaminada (con descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal) >30 y ≤120 mg/L y Fuertemente contaminada (con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) >120 mg/L.

<sup>2</sup> La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de: Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011. México. 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011. Conagua, Semarnat. Subdirección General Técnica. 2012.

contaminados y fuertemente contaminados) se concentraron en el centro del país: en las regiones Aguas del Valle de México, Lerma-Santiago-Pacífico y Balsas (en 66.7, 18.1 y 14.7% de sus sitios, respectivamente), aunque también se presentaron algunos en la Península de Baja California (22.7% de sus sitios; Mapa 6.11).

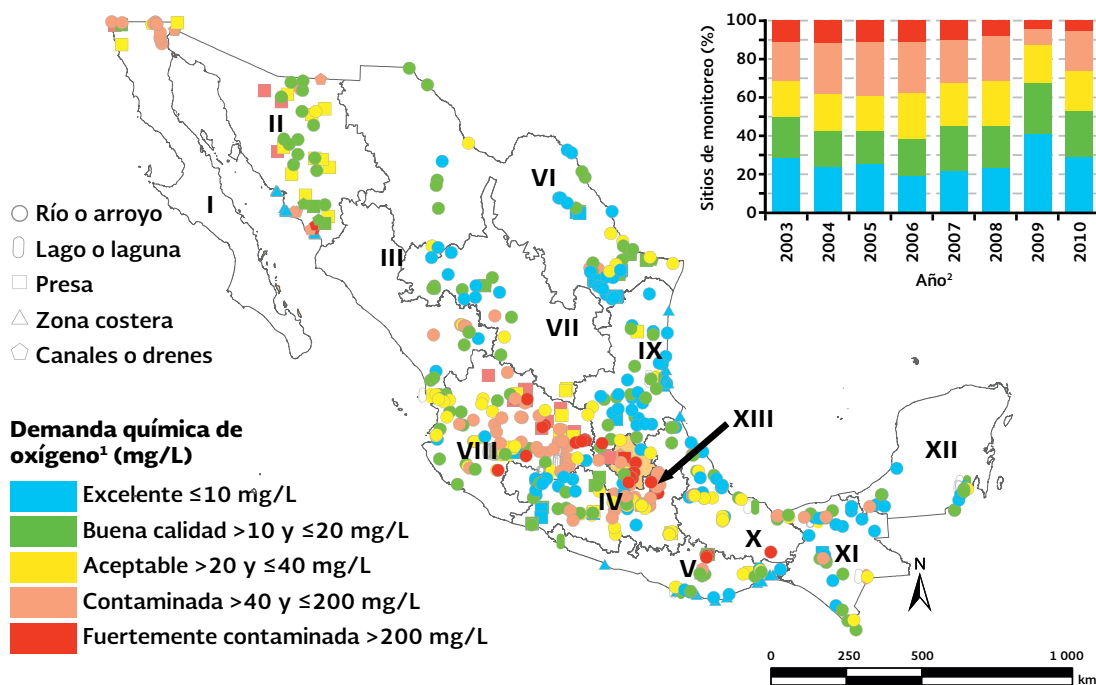
La demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza frecuentemente como un indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales crudas. En 2010, de los 714 sitios

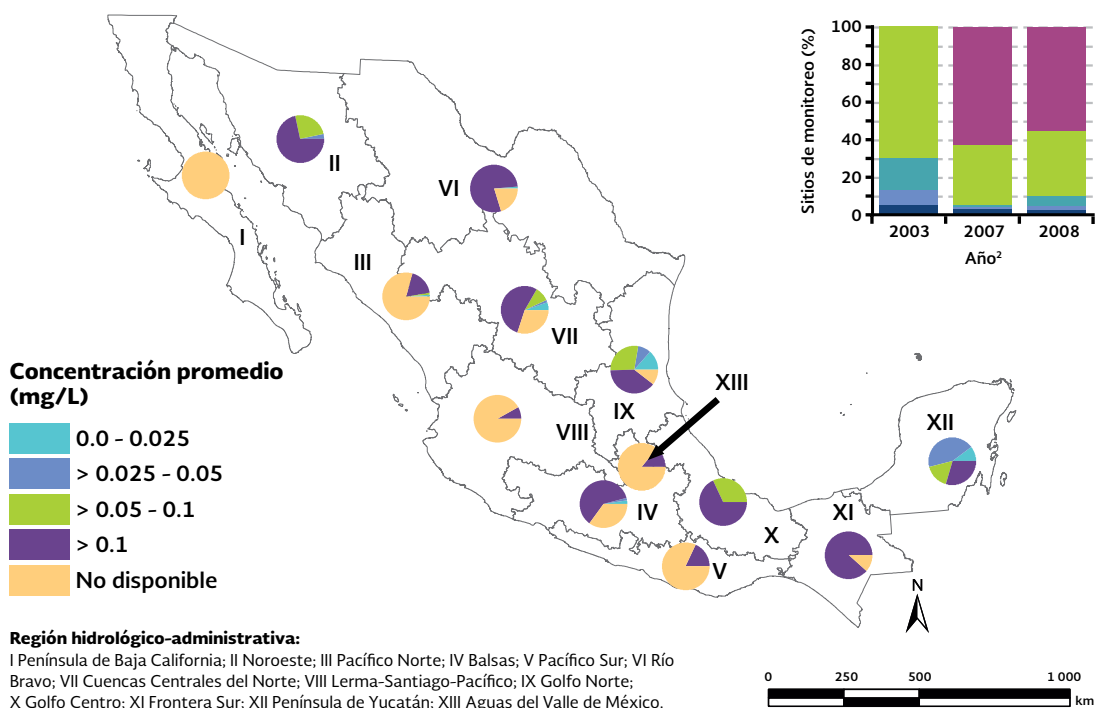
de monitoreo, el 26.5% superó este límite, de los cuales poco menos del seis por ciento registró valores promedio superiores a los 200 miligramos por litro (Mapa 6.12). En las regiones Península de Baja California, Lerma-Santiago-Pacífico y Aguas del Valle de México entre 46.7 y 77.3% de los sitios de monitoreo tuvieron concentraciones promedio anuales superiores a los 40 miligramos por litro (Mapa 6.12).

Otro contaminante frecuente 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

### Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.12





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. 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 2008, en poco más del 35% de los 524 sitios de monitoreo del país la concentración de fosfato total fue superior a 0.1 miligramos por litro, la cual se considera como el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos. Las regiones hidrológico-

administrativas que superaron este límite en más del 50% de los sitios monitoreados fueron: Noroeste (71%), Balsas (60%), Río Bravo (78%), Cuencas Centrales del Norte (53%), Golfo Centro (68%) y Frontera Sur (88%; Mapa 6.13).

Los nitratos son componentes importantes de los fertilizantes que se originan por la oxidación del amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y de otras fuentes nitrogenadas presentes en los restos orgánicos. Tienen efectos adversos en la salud humana, causando cianosis e, incluso asfixia (Camargo y Alonso, 2007), mientras que en los ecosistemas acuáticos pueden favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno. En 2008 se detectaron concentraciones superiores a 0.2 mg/L<sup>12</sup> y

<sup>12</sup> Se 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).

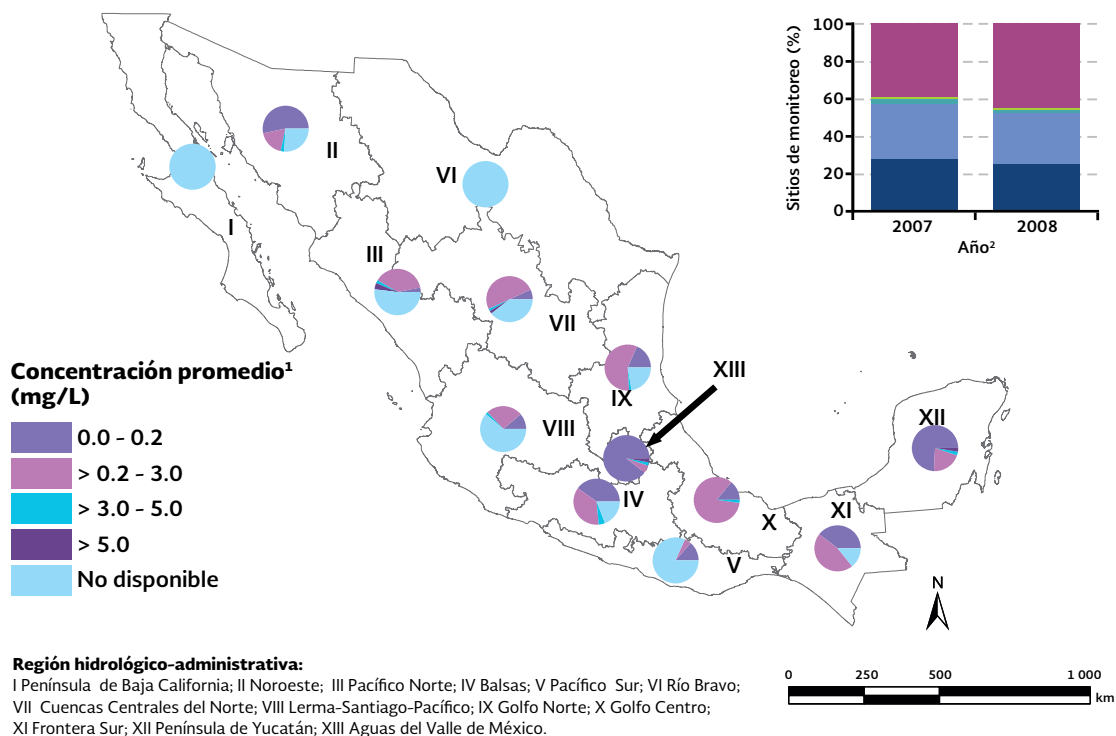
de hasta 0.3 mg/L en 27% de los sitios de monitoreo (de 524 sitios en total) de la RNM (Mapa 6.14). En las regiones Golfo Norte y Golfo Centro, el 59 y 86%, respectivamente, de los sitios de monitoreo sobrepasaron esos niveles.

Otro indicador de la calidad del agua es la cantidad de sólidos suspendidos totales<sup>13</sup> (SST) que provienen de las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST en los cuerpos de agua afecta la diversidad de la vida acuática ya que causan la turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural. La evaluación de

la calidad del agua en 2010, demostró que de las 799 estaciones de monitoreo que registran sólidos suspendidos totales, 20 se consideraron contaminadas (2.5% del total) y 5 (0.6%) fuertemente contaminadas. Las regiones con mayor porcentaje de sitios monitoreados con contaminación de las aguas superficiales fueron Aguas del Valle de México (14.8% de sus sitios) y Pacífico Sur (5.6%). Por otro lado, las regiones con el mayor porcentaje de sus sitios de monitoreo en aguas superficiales con excelente calidad fueron la Península de Yucatán (100%), Golfo Centro (86.8%), Río Bravo (73.1%) y Península de Baja California (70.4%; Mapa 6.15).

### Nitrato total en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2009

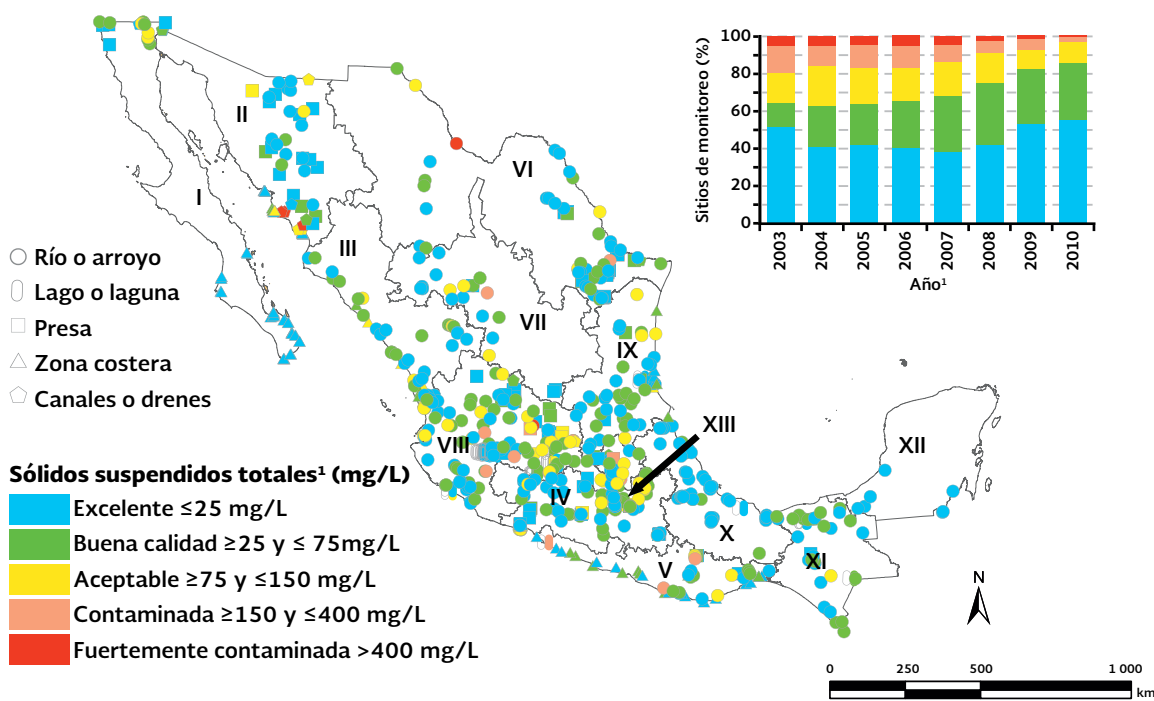
Mapa 6.14



<sup>13</sup> Se considera que el límite máximo 25 mg/L (DOF, 1989).

## Sólidos suspendidos totales en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.15



El agua contaminada que corre por ríos y arroyos no sólo tiene efectos sobre la población que la usa o los ecosistemas en los que se descarga, sino también en las zonas costeras en donde desembocan. 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 para conservar la salud de 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 (OMS) para fines recreativos. Actualmente cuenta con laboratorios estatales de salud que 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 utiliza

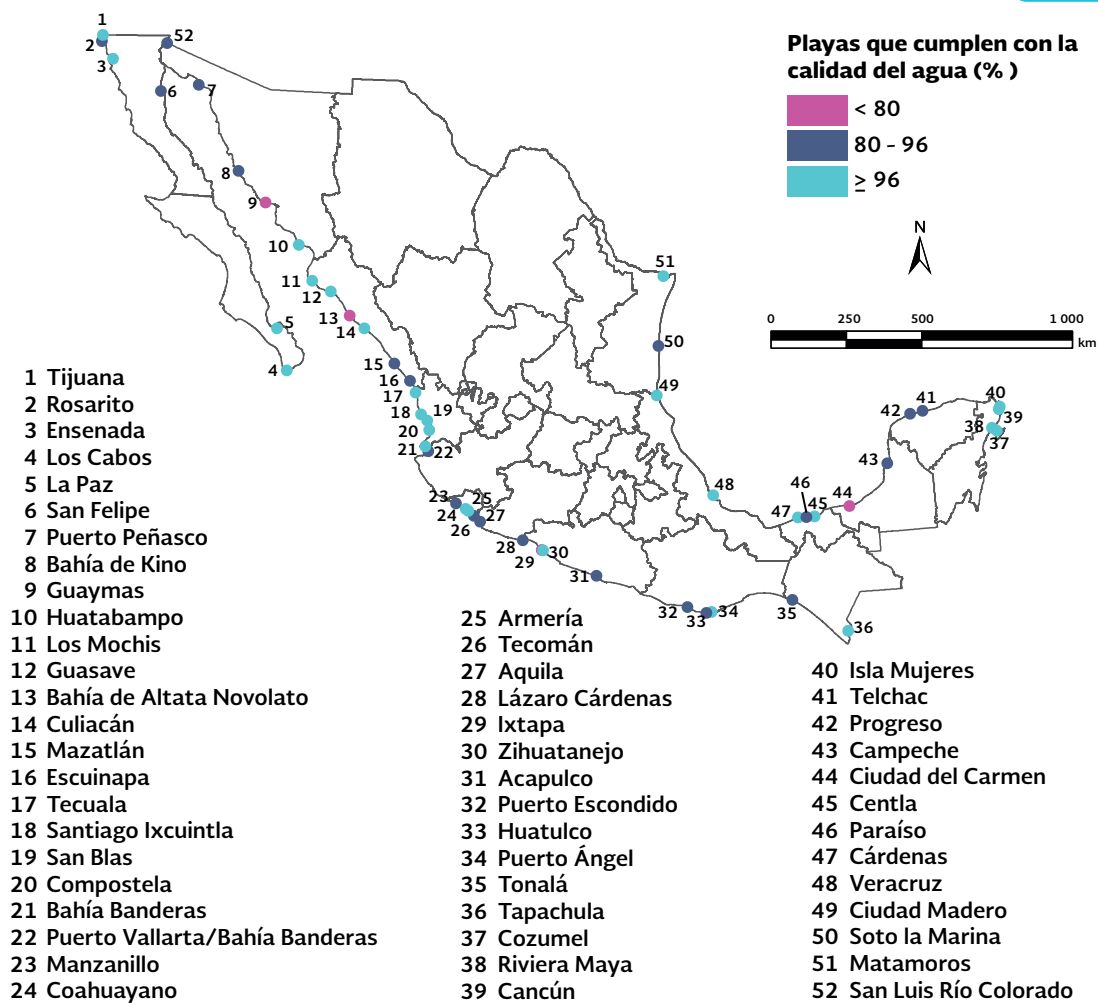
a los enterococos fecales como indicador del grado de contaminación del agua de mar y de los riesgos sanitarios para usarla con fines recreativos. De acuerdo con el criterio de calificación de la calidad del agua en las playas de la Secretaría de Salud (basado en estudios de la OMS) las muestras con un contenido superior a los 200 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo.

En sus inicios en 2003, este programa monitoreaba un total de 226 sitios en 35 destinos turísticos de las costas del país, incrementándose a 338 playas en 52 destinos turísticos para 2009 y en 2010 se monitorearon 245 playas. Desde que inició

el programa de monitoreo, la mayoría de los estados han registrado una mejoría en la calidad del agua de sus playas. Mientras que en 2003 el 93.7% de las muestras cumplían con los criterios de calidad del agua, para el 2010 este valor era de 96.9%. No obstante, los estados con más sitios muestreados donde no se cumplieron los estándares de calidad en ese periodo fueron Jalisco (con 9% del total de muestreos para el periodo), Chiapas (5%), Campeche, Veracruz y Sonora (con el 3% en cada uno). Para 2010, las entidades con al menos una playa que no cumplía con los criterios de calidad del agua fueron Sonora, Sinaloa, Guerrero y Campeche, (menos del 2% de los sitios monitoreados en todos los casos; Mapa 6.16).

### Calidad del agua del mar en algunos destinos turísticos, 2010

Mapa 6.16



**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México. 2012.



# EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN

## SERVICIOS

El bienestar y la salud de la población dependen, en gran medida, de su acceso a los servicios básicos, siendo el agua potable y el alcantarillado dos de los más importantes. Para muchos países ha sido imperativo el impulso hacia la construcción de la infraestructura hidráulica que lleve estos servicios a sus crecientes poblaciones. Sin embargo, en muchos casos ha sido insuficiente. El último informe mundial de los Objetivos de Desarrollo del Milenio destaca que, en 2008, alrededor de 884 millones de habitantes (es decir, 13% de la población mundial) aún no tenían acceso a fuentes mejoradas<sup>14</sup> de agua potable (ONU, 2011).

Esto último 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. A nivel regional, Asia meridional, el África Subsahariana y Oceanía tienen un porcentaje inferior al mundial respecto al uso de fuentes mejoradas de agua para consumo (Figura 6.10).

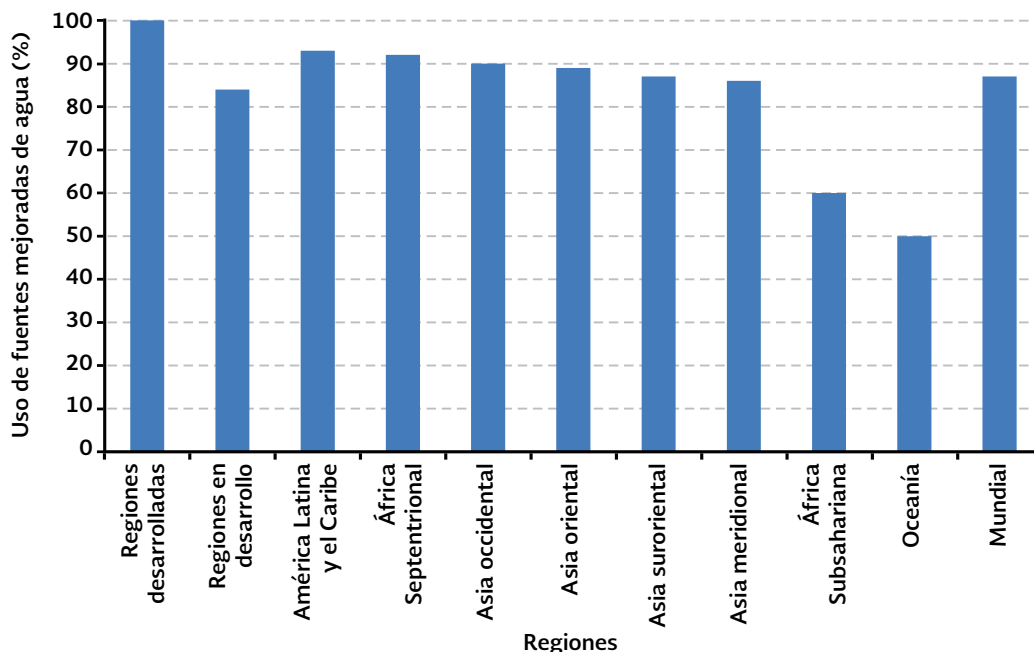
## AGUA POTABLE

En México, el servicio de agua potable, junto con los de drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales se encuentra a cargo de los municipios, generalmente a través de organismos operadores. En el año 2011, la cobertura nacional de agua potable<sup>15</sup> alcanzó 91.6% (Conagua, 2012; **IB 2.1-11**), valor mayor al promedio mundial registrado en 2008 (87%), pero menor al estimado para América



**Población mundial que utiliza fuentes mejoradas<sup>1</sup> de agua por regiones, 2008**

**Figura 6.10**



**Nota:**

<sup>1</sup> Incluye conexión a una red doméstica, pública, pozo protegido o recolección de agua de lluvia.

**Fuente:**

OMS-UNICEF. *Progresos en materia de saneamiento y agua: Informe de actualización 2010*. Francia. 2010.

<sup>14</sup> Incluye conexión a una red doméstica, pública, pozo protegido o recolección de agua de lluvia.

<sup>15</sup> La NOM-127-SSA1-1994 define como agua potable a aquella para uso y consumo humano que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud (DOF, 2000).

Latina y El Caribe (de alrededor de 93%) y para países como Estados Unidos, Francia y Canadá, con coberturas que prácticamente alcanzan el 100% de la población (OMS y UNICEF, 2010).

El crecimiento de la cobertura a nivel nacional se incrementó 16% entre el año 1990 y el 2010 (Figura 6.11). A nivel de localidad, en el mismo periodo, la cobertura en zonas urbanas pasó de 89.4 a 95.6% (un aumento de 6.9%), mientras que en las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, aunque con un progreso importante, creciendo de 51.1 a 75.7%, lo que representa un aumento de 47.8% (Figura 6.11; Cuadro D3\_AGUA06\_02).

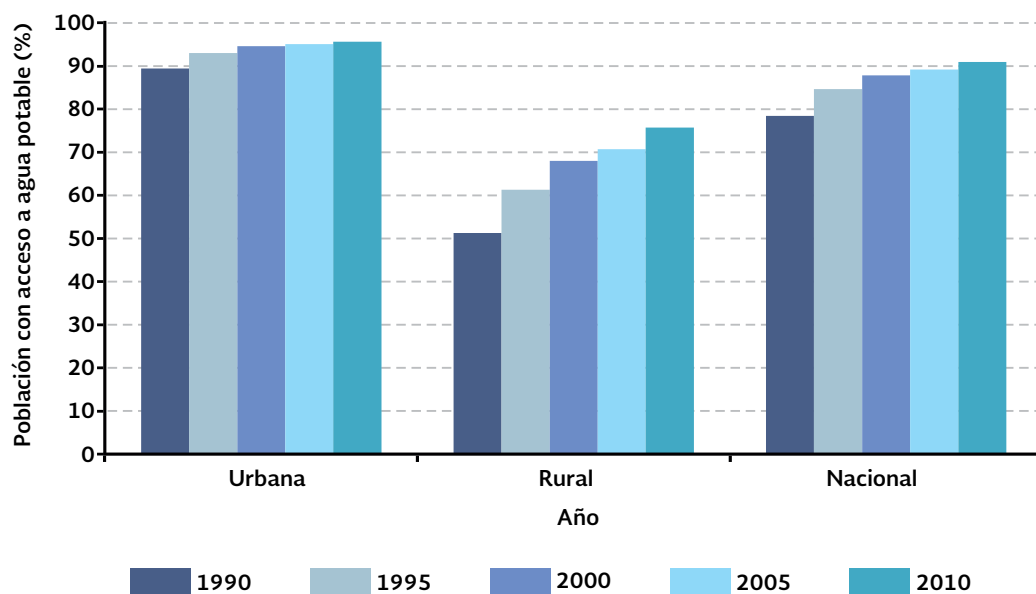
Al interior del país, durante el periodo 2000-2010, la mayoría de las entidades federativas incrementaron en términos reales la cobertura de este servicio, aunque

con diferencias importantes (Cuadro D3\_AGUA06\_01). Entidades como Aguascalientes, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Nuevo León, Tamaulipas y Yucatán, tenían en 2011 coberturas de agua potable superiores al 97% de su población; en contraste, Guerrero, Oaxaca y Chiapas contaban con coberturas inferiores al 80% (74.3, 77.4 y 79%; Mapa 6.17).

También son notorias las diferencias en los esfuerzos por incrementar la cobertura de este servicio. Durante la primera década del siglo XXI, Veracruz, Tabasco, San Luis Potosí, Hidalgo, Zacatecas y Campeche, que tenían coberturas de entre 70 y 88%, lograron incrementos de entre 6 y 14% en dicho periodo (Figura 6.12). Entidades como Quintana Roo, Distrito Federal, Morelos y Baja California Sur, que para el año 2000 tenían coberturas superiores al 90%, aún enfrentan el reto de alcanzar la cobertura total en una

**Cobertura de agua potable, 1990 - 2010**

**Figura 6.11**

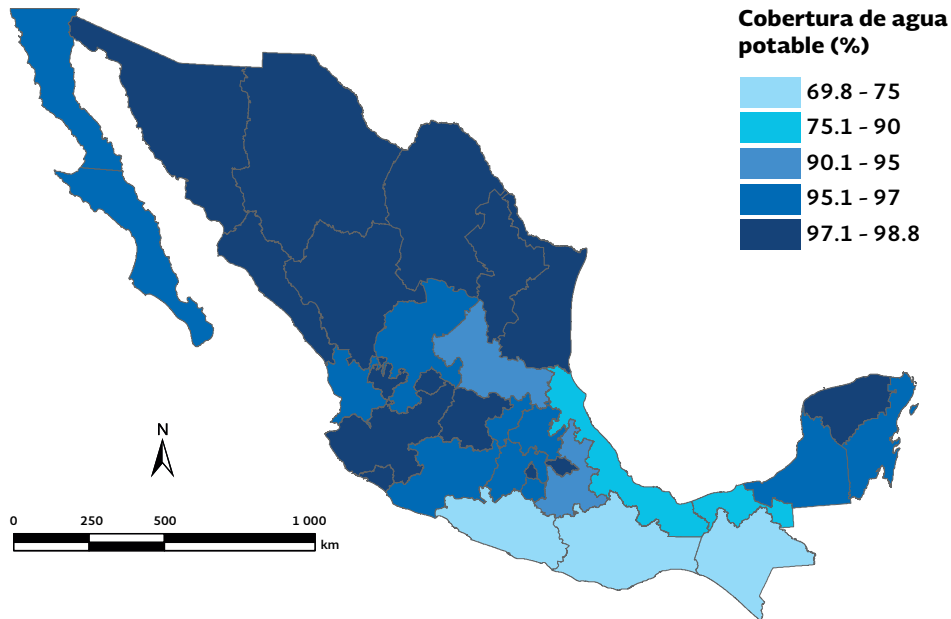


**Fuentes:**

CNA, Semarnat. *Compendio Básico del Agua en México 2001*. México, 2001.  
 CNA, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 1995 y 1999*. México, 1996 y 2000.  
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2000, 2005 y 2011. México, 2001, 2006 y 2011.

## Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2011

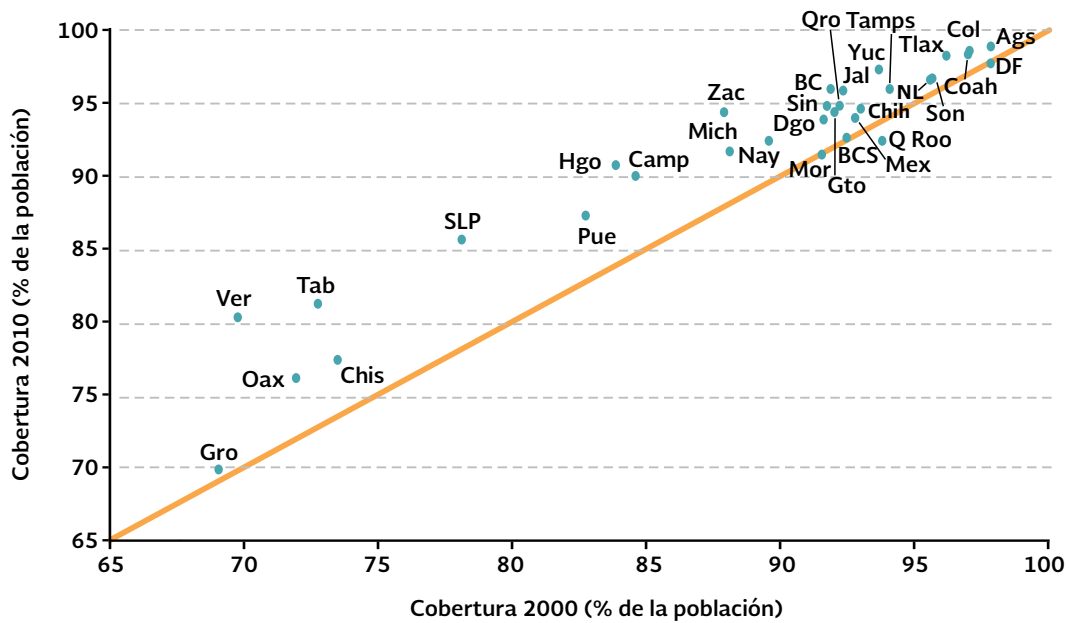
Mapa 6.17



**Fuente:**  
Elaboración propia con bases en:  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

## Incremento en la cobertura de agua potable por entidad federativa, 2000 - 2010

Figura 6.12



**Fuentes:**  
CNA, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 1999*. CNA, México, 2000.  
CNA, Semarnat. *Compendio Básico del Agua en México 2001*. CNA, México, 2000.  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2001, 2006 y 2011. México. 2002, 2006 y 2011.

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 potabilizarla o desinfectarla. La importancia de estos procesos radica principalmente en evitar la aparición de enfermedades de origen hídrico a causa del agua contaminada. En 2011 se suministraron, a nivel nacional, 329 496 litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales 321 511 litros (97.6%) fueron desinfectados. Del volumen total suministrado en ese mismo año, 28.7% (94 647 L) pasó además por el proceso de clarificación completa (*Cuadros D3\_AGUA07\_02* y *D3\_AGUA07\_05*).

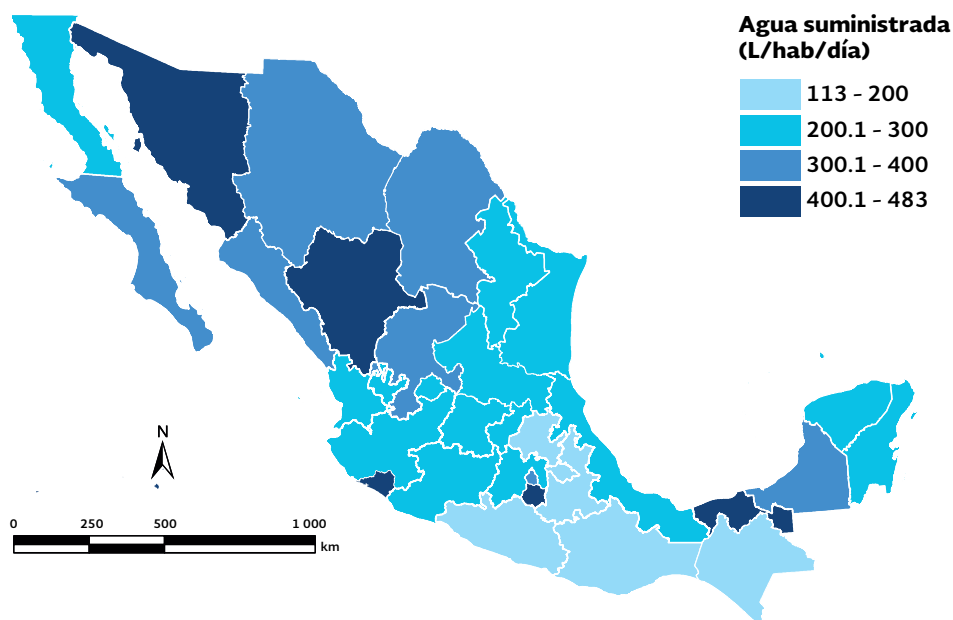
Estas cifras pueden traducirse en que, a nivel nacional, se suministraron alrededor de 252 litros por día por habitante, lo que está por arriba del nivel mínimo recomendable según

la ONU de 50 litros diarios de agua potable por habitante indispensables para cubrir las necesidades mínimas básicas (alimento y aseo) y de los 100 litros para satisfacer las necesidades generales (FNUAP, 2001). No obstante, el valor nacional no es reflejo fiel de la situación a nivel estatal, en 2011, Morelos, Colima, Tabasco, Sonora, Durango y registraron suministros superiores a los 400 litros diarios por habitante, mientras que Oaxaca, Chiapas, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Guerrero no alcanzaron los 200 litros (Mapa 6.18).

En 2011, a nivel nacional, el agua potable suministrada que pasó por el proceso de potabilización completo y no sólo por desinfección fue de 71.3 litros diarios en promedio por persona. Tabasco tuvo el mayor volumen por habitante, con 328 litros diarios de agua potabilizada por persona, seguido por Tamaulipas con 298 litros al día; mientras que estados como Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen actualmente de plantas potabilizadoras en operación.

### Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2011

Mapa 6.18



**Fuente:**

Elaboración propia con bases en: Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

## ALCANTARILLADO

En el mundo, la población que cuenta con servicios de alcantarillado creció de 49 a 61% entre 1990 y 2008 (OMS-UNICEF, 2010). 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, 2011). La situación es grave a nivel mundial: las Naciones Unidas estimaron en 2011 que alrededor de 2 600 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de saneamiento mejorados<sup>16</sup>.



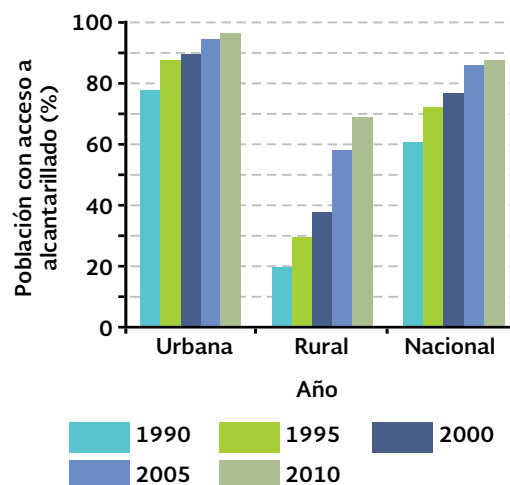
En México, la cobertura de alcantarillado<sup>17</sup> en 2011 fue de 90.2% (**IB 2.2-11**). Al igual que en la cobertura de agua potable, también en alcantarillado existen diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales: en 2011, las primeras alcanzaron una cobertura de 96.4%, mientras que en las zonas rurales apenas cubrieron al 69.4% de su población (Figura 6.13).

A nivel nacional la cobertura se incrementó 43.8% entre el año 1990 y el 2010. A nivel de localidad, en el mismo periodo, la cobertura en zonas urbanas pasó de 77.8 a 96.3%, mientras que en las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, aunque con un progreso importante, creciendo a más del triple, pues pasó de 19.8 a 68.9% (Figura 6.13; [Cuadro D3\\_AGUA06\\_02](#))

Si se analiza por el tipo de servicio de alcantarillado, la población que cuenta con un sistema conectado a la red de alcantarillado se incrementó 43.8% entre 1990 y 2010, mientras que la que contaba con fosa séptica casi se duplicó (99%) en el mismo periodo (Figura 6.14). Por otro lado, el porcentaje de la población que no contaba con alguna

## Cobertura de alcantarillado<sup>1</sup>, 1990 - 2010

Figura 6.13



### Nota:

<sup>1</sup> Incluyen las descargas conectadas a una alcantarilla, tanque séptico o letrinas de pozo mejoradas ventiladas.

### Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1995, 2000, 2006 y 2011. México. 1995, 2000, 2006 y 2011.

INEGI-Semarnat. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1997-1998*. Estadísticas del Medio Ambiente. México. 1999. INEGI. México. 2000.

fuelle de saneamiento mejorado disminuyó en 27% en ese mismo periodo.

En 2011<sup>18</sup>, las entidades federativas del país con coberturas de alcantarillado entre 95.3 y 99.2% fueron Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Jalisco, Morelos, Nuevo León y Tabasco; en contraste, los estados de Oaxaca, Guerrero y Yucatán no alcanzaron el 80% de su población con este servicio (Mapa 6.19).

Aunque entre 2000 y 2010, todas las entidades federativas (con excepción del Distrito Federal) tuvieron un incremento en su cobertura de alcantarillado, sobresalieron por sus esfuerzos Oaxaca, Yucatán, Campeche,

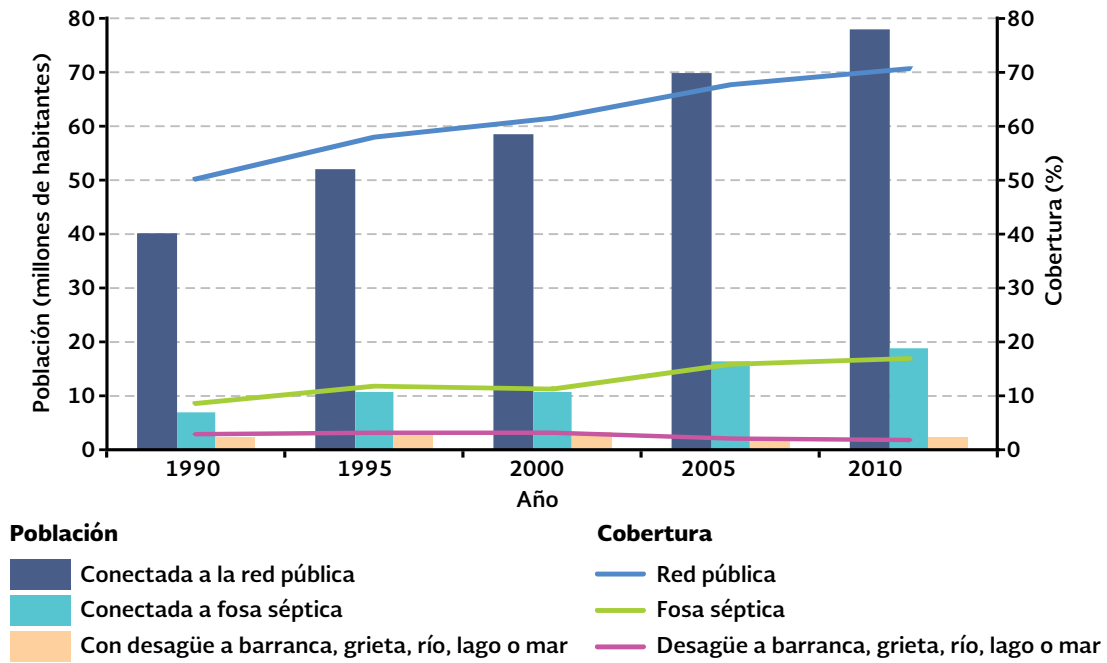
<sup>16</sup> Las instalaciones de saneamiento mejorado incluyen las descargas conectadas a una alcantarilla, tanque séptico o letrinas de pozo mejoradas ventiladas.

<sup>17</sup> Se refiere exclusivamente al porcentaje de la población que habita en viviendas particulares que cuentan con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado o a una fosa séptica. Esta información se determina por medio de los censos y conteos que realiza el INEGI.

<sup>18</sup> Los datos de cobertura de alcantarillado incluyen, además del saneamiento mejorado (población que cuenta con desagüe conectado a la red pública de alcantarillado a una fosa séptica), las descargas a barranca, grieta, lago, río o mar.

## Población con acceso a alcantarillado por tipo de drenaje, 1990 - 2010

Figura 6.14

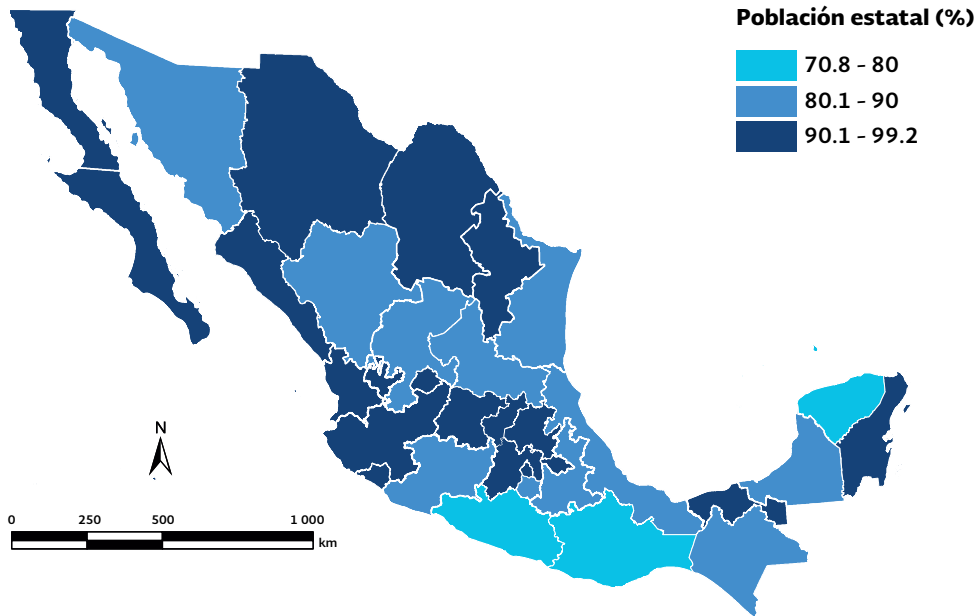


### Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2007 y 2008. México. 2007 y 2008.  
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.  
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.

## Cobertura de alcantarillado<sup>1</sup> por entidad federativa, 2011

Mapa 6.19

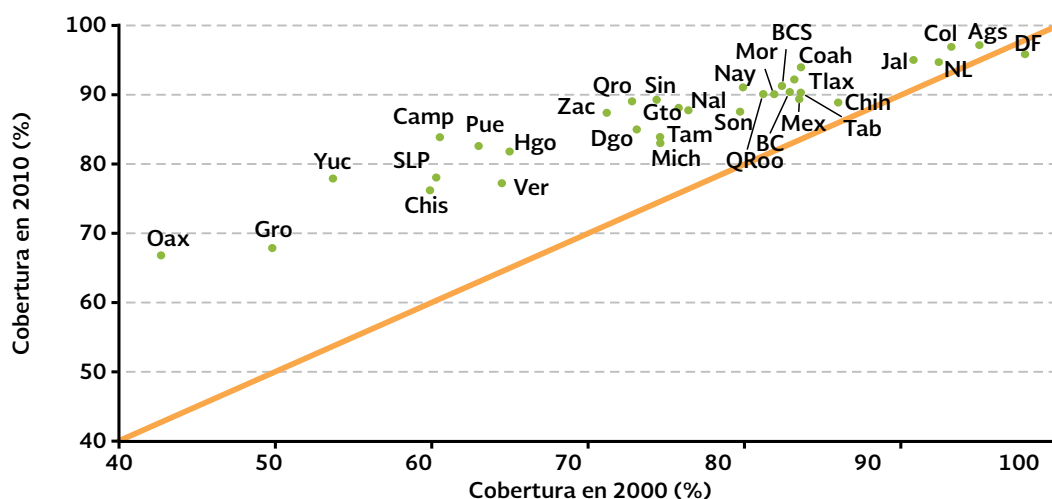


### Nota:

<sup>1</sup> Los datos de cobertura del alcantarillado corresponden a la población que cuenta con desagüe a la red pública de alcantarillado o a una fosa séptica, además de las descargas a barranca, grieta, lago, río o mar.

### Fuente:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.



**Fuentes:**

CNA. *Compendio Básico del Agua en México 2001*. CNA. México. 2001.  
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2001 y 2011. México, 2001 y 2011.

Guerrero, Puebla, Chiapas, San Luis Potosí e Hidalgo, con incrementos superiores al 25% de su cobertura al inicio del periodo (Figura 6.15; [Cuadro D3\\_AGUA06\\_04](#)).

### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En muchos países del mundo es todavía común que una proporción importante del agua residual generada no reciba tratamiento antes de verterse en los cuerpos de agua superficiales. Se estima que a nivel mundial entre 85 y 95% del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo (FNUAP, 2001; Vörösmarty *et al.*, 2005).

Para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales provenientes de las ciudades existen diversos procesos biofísicos de tratamiento. Actualmente, los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales en el país incluyen lodos activados, lagunas de estabilización, primario avanzado, lagunas aireadas, filtros biológicos, dual y otros<sup>19</sup>. A través de estos procesos, anualmente se logra remover

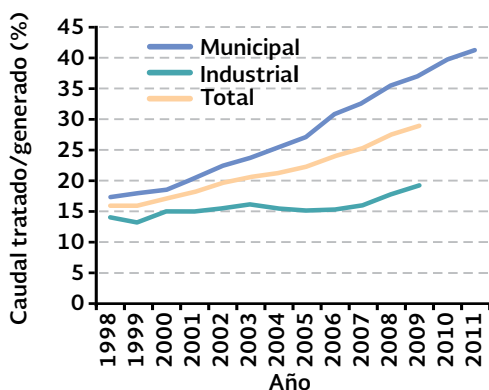
cerca de 0.6 millones de toneladas de DBO<sub>5</sub> que se colectan en el alcantarillado municipal de las 2 millones de toneladas que se generan; estos procesos también son capaces de remover alrededor del 19% de la carga orgánica de las aguas industriales (Conagua, 2011).

En 2011 había en operación 2 289 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y 3 033 plantas para tratamiento de aguas residuales industriales (de las cuales están en operación 2 995, lo que representa el 98.7% del total). Si se considera sólo el caudal municipal generado, en ese año se trató el 41.3%, lo que representa un incremento de 141% respecto a 1998 (es decir, 56.8 m<sup>3</sup>/s; Figura 6.16). Aunque la cantidad total de agua residual que se trata aún resulta baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega al 13%. De estos resultados queda claro que aún muchos de los cuerpos de agua superficiales del país reciben de manera continua, 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.

<sup>19</sup> En 2003 dejó de utilizarse el proceso de tanque séptico y se favoreció el uso de lagunas aireadas (CNA, 2004).

## Tratamiento del agua residual, 1998 - 2011<sup>1</sup>

Figura 6.16



**Nota:**

<sup>1</sup> La fuente no reporta el dato correspondiente al caudal industrial generado para 2010 y 2011, por lo que tampoco se presenta el caudal tratado total.

**Fuentes:**

Elaboración propia con base en:  
 Semarnap-INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. México. 2000.  
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2012. México. 1998-2012.  
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. México. 2010.

A nivel de entidad federativa es muy variable el porcentaje de aguas residuales que reciben tratamiento respecto al caudal generado: en 2011, Nuevo León, Baja California y Aguascalientes dieron tratamiento a más del 90% del agua residual que generaron, mientras que entidades como Campeche y Yucatán trataron menos del 5% (Mapa 6.20; IC 11).

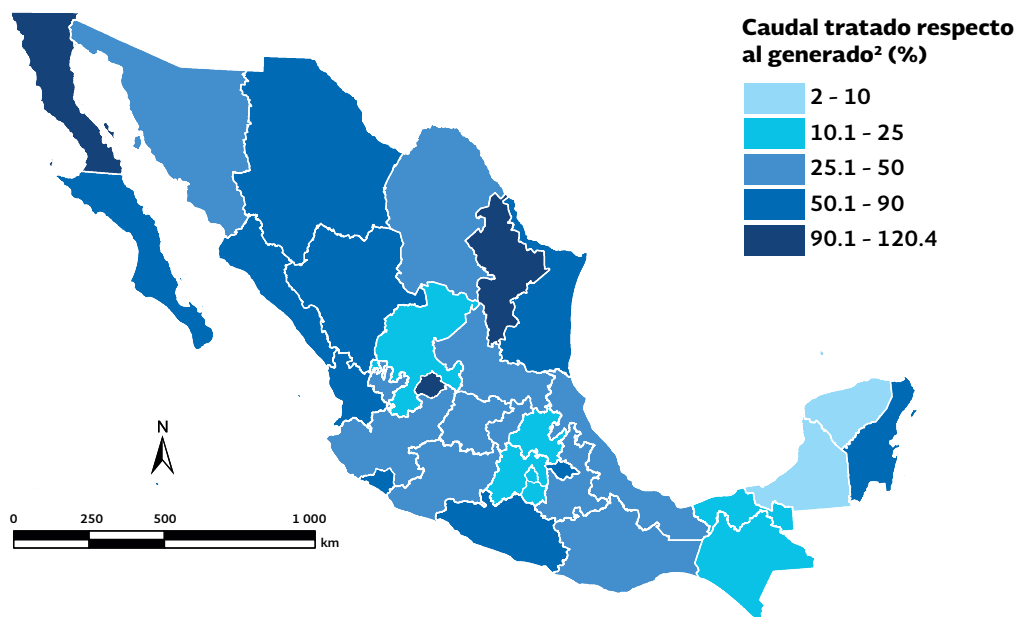


En 2011, del agua municipal tratada en el país que recibió tratamiento secundario, el 54.7% (53.4 m<sup>3</sup>/s) lo hizo mediante lodos activados y 14.3% (13.9 m<sup>3</sup>/s) por medio de lagunas de estabilización. Dichos tratamientos tienen una eficiencia de entre 80 y 90% para la remoción de DBO<sub>5</sub> (Figura 6.17; Cuadro D3\_AGUA07\_093).

Si se analiza por habitante, en 2011 a nivel nacional se trataron en promedio 73.5 litros diarios de agua residual, con marcadas diferencias entre entidades: Aguascalientes fue

## Tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa, 2011<sup>1</sup>

Mapa 6.20



**Notas:**

<sup>1</sup> Para las entidades de Nuevo León y Aguascalientes el caudal de agua residual tratada excede el 100% debido a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

<sup>2</sup> Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los siguientes parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

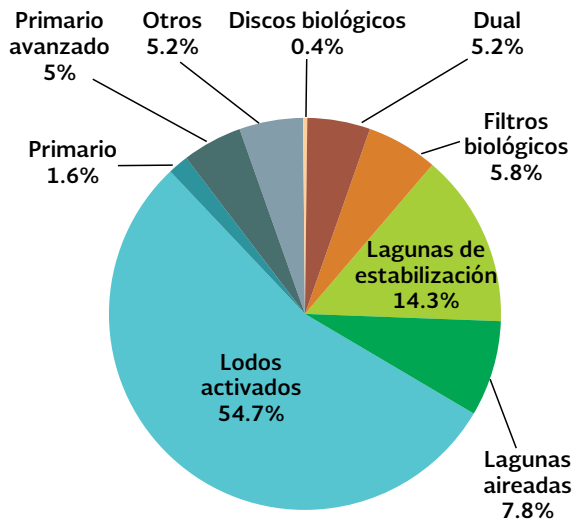
**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.



## Agua municipal residual tratada según proceso, 2011

Figura 6.17



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

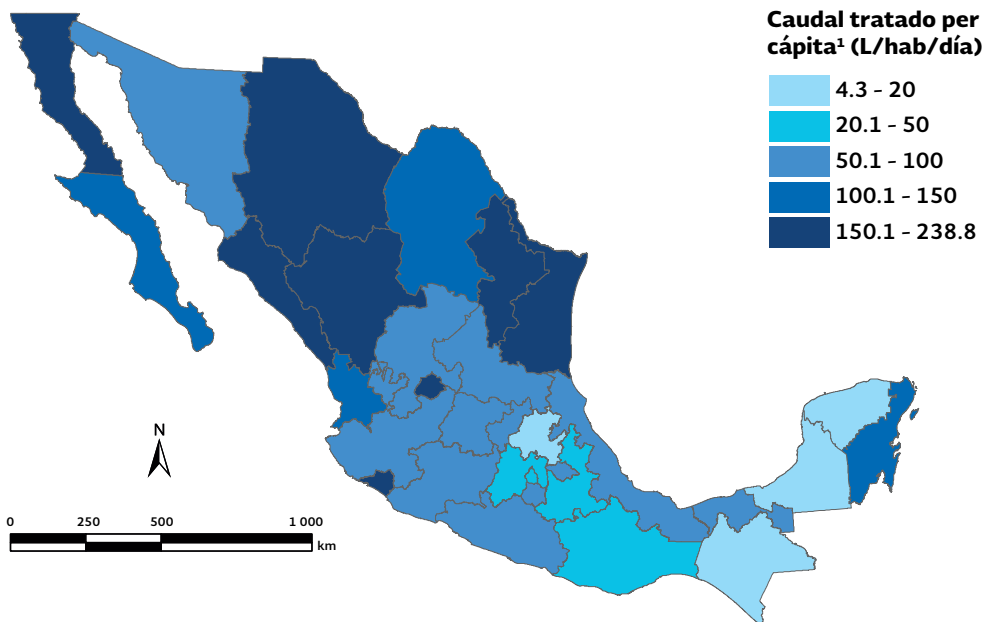
la que trató el mayor caudal por habitante al día (238 L), seguido por Nuevo León (186 L), Durango (175 L), Colima (175 L) y Chihuahua (160 L); por otro lado, los estados que trataron el menor caudal per cápita al día fueron Hidalgo (12 L) y Yucatán (4 L; Mapa 6.21).

Otro indicador 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 Aguascalientes, Nuevo León, Baja California, Nayarit y Tamaulipas, con una relación mayor a 50%; en contraste, Yucatán y Campeche no alcanzan el 5 % (Mapa 6. 22).

Respecto al tratamiento de aguas residuales de origen industrial, en 2010 las plantas de tratamiento industrial del país procesaron 63 600 L/s y se removieron 1.3 millones de toneladas de DBO<sub>5</sub>. Las entidades que

## Tratamiento de agua residual municipal per cápita por entidad federativa, 2011

Mapa 6.21

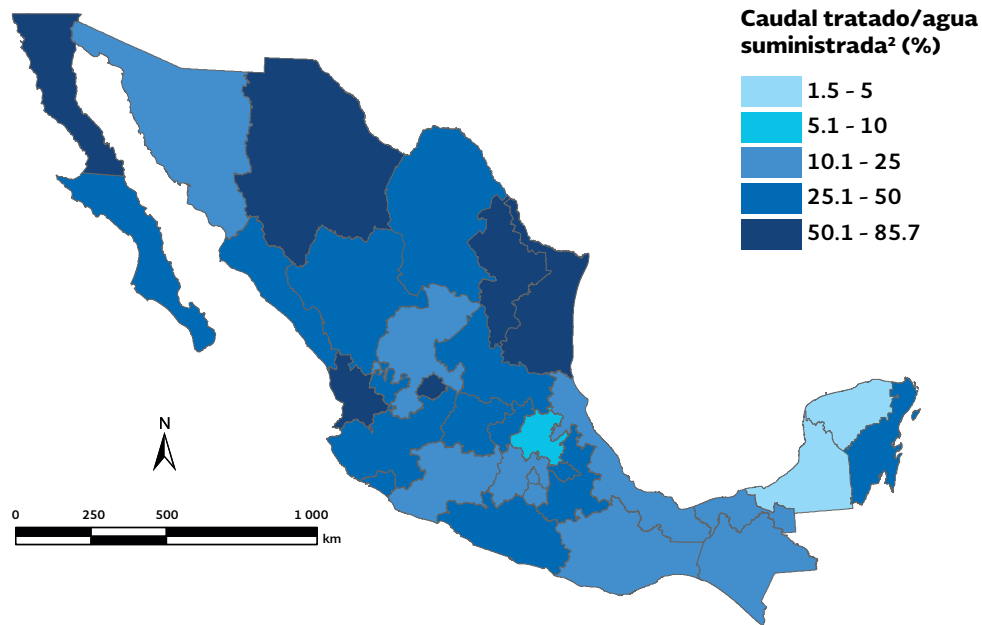


**Notas:**

<sup>1</sup> Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de:  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.



**Notas:**

<sup>1</sup> Para las entidades de Nuevo León y Quintana Roo el caudal excedente de agua residual tratada se debe a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

<sup>2</sup> Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

**Fuente:**

Elaboración propia con datos de: Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

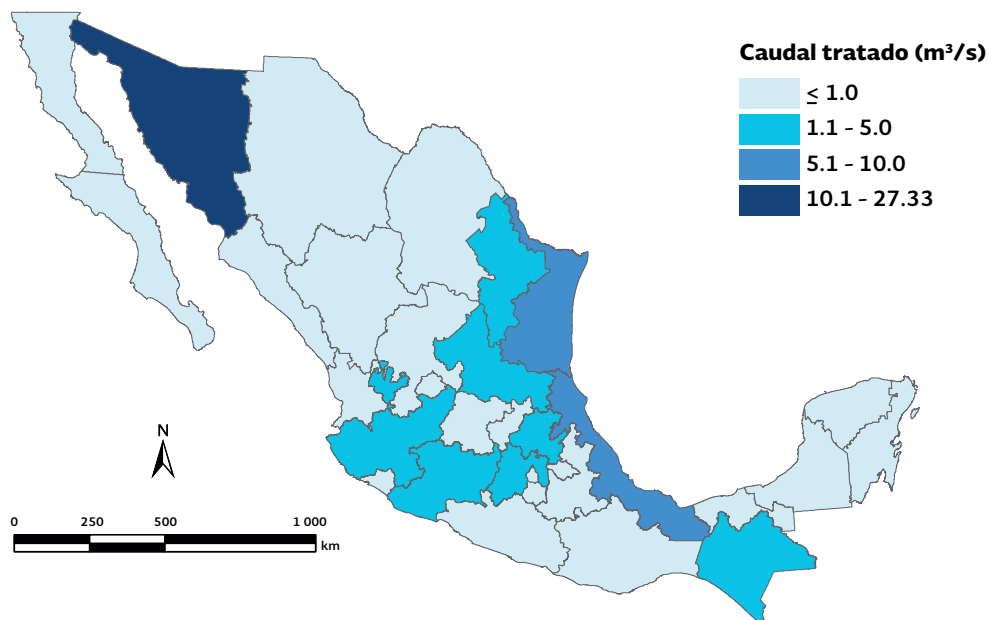
trataron en 2010 el mayor volumen de aguas residuales generadas de origen industrial fueron Sonora (27.34 m<sup>3</sup>/s cerca del 43% del total de aguas residuales de tipo industrial que se trataron a nivel nacional), Veracruz (8.70 m<sup>3</sup>/s), Tamaulipas (6.11 m<sup>3</sup>/s), Chiapas (3.34 m<sup>3</sup>/s) y Nuevo León (2.99 m<sup>3</sup>/s; Mapa 6.23; [Cuadro D3\\_AGUA07\\_09](#)).

En cuanto a los sistemas de tratamiento existen tres tipos o niveles, de los cuales el más utilizado es el secundario, que se aplica en 1 869 plantas (Figura 6.18). Los sistemas de nivel primario son los más sencillos en la limpieza del agua (los tratamientos incluyen procesos físicos como el cribado, la flotación o eliminación de grasas y sedimentación); su función es limpiar el agua de partículas cuyas dimensiones puedan obstruir los procesos siguientes. El nivel de tratamiento secundario limpia el agua de las impurezas

cuyo tamaño es mucho menor a las que se captan por decantación y rejillas, para lo que se emplean métodos mecánicos y biológicos combinados (estos sistemas son muy diversos y dependen de factores como el clima para hacer la selección adecuada; como los sistemas de precolación y los anaeróbicos). Finalmente el tratamiento terciario incluye procesos biológicos, físicos y químicos.

## SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

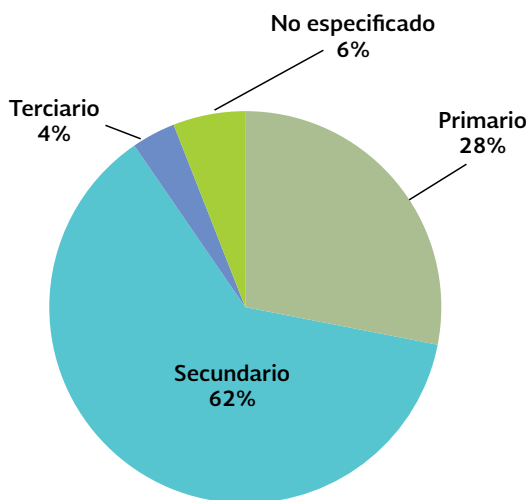
Aunque tradicionalmente los temas relativos a la disponibilidad y calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (tanto continentales como oceánicos) se tratan separadamente, están íntimamente



**Fuente:**  
Elaboración propia con datos de:  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.

**Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por nivel de tratamiento, 2011**

**Figura 6.18**



**Fuente:**  
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

relacionados. Los ecosistemas acuáticos, tanto los dulceacuícolas como los costeros y oceánicos, participan de manera importante en el ciclo hidrológico, actuando como los reservorios más importantes del agua y como las fuentes primarias del vapor 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.

En el territorio mexicano se encuentran representados una amplia variedad de ecosistemas dulceacuícolas: desde los que se desarrollan en ríos, lagos, presas y estanques, hasta aquellos que se hallan en las zonas terrestres y tienen una gran influencia hídrica, como los tulares, popales y petenes. A todos

ellos se suman los ecosistemas acuáticos de aguas salobres, como los manglares, además de los netamente marinos, como los arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos y los ecosistemas pelágicos, por mencionar sólo algunos de ellos. Una descripción completa de estos ecosistemas, de su importancia biológica y de su situación actual puede encontrarse en el Capital Natural de México<sup>20</sup>, publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2009).

Los ecosistemas naturales, tanto acuáticos como terrestres, proveen multitud de bienes y servicios ambientales 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. Aunque el agua dulce para el consumo humano es uno de los servicios ambientales más importantes que los ecosistemas acuáticos continentales proveen, existen otros no menos importantes (Daily *et al.*, 1997; Wilson y Carpenter, 1999; MEA, 2005; Tablas 6.4 y 6.5). Por ejemplo, los ríos y lagos sirven como medio de transporte humano y de mercancías, para la generación de energía eléctrica, el abasto de alimentos (peces, moluscos y crustáceos, entre otros) y la irrigación de las tierras agrícolas. En el caso de los servicios no cotizados en el mercado, debemos destacar el papel que tienen, por ejemplo, los humedales 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 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.

Aun cuando las estimaciones del valor económico de los servicios ambientales son escasas, debido principalmente a la dificultad que implica su cálculo, se han hecho algunas estimaciones (Tabla 6.6). 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 (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

## 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. El pescado aporta alrededor del 20% de la ingesta anual de proteínas animales a cerca de 3 000 millones de personas en el mundo (FAO, 2012). Las estimaciones preliminares de la pesca mundial para 2011, basadas en los informes de algunos de los principales países pesqueros, indican que la producción (que incluyó tanto a la captura continental y marina como a la acuicultura) alcanzó poco más de 154 millones de toneladas.

En el caso particular de México, en el periodo 1990-2011 la producción pesquera anual (considerando tanto la captura como la acuicultura) fue de 1.47 millones de toneladas en promedio (Figura 6.19), lo que lo colocaba como uno de los veinte mayores productores en el mundo, con cerca del 1.1% de la captura total para 2009 (FAO, 2010). Considerando la acuicultura, México se ubica en el lugar 26 en la lista de los mayores productores a nivel mundial (Conapesca, Sagarpa, 2010).

<sup>20</sup> Disponible en versión PDF en la dirección electrónica: [www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html).

## Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas acuáticos<sup>1</sup>

Tabla 6.4

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
<b>Servicios de regulación</b>									
<b>Regulación atmosférica y del clima:</b> regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	•	●	•	•	•	•		•	•
<b>Balance hidrológico:</b> recarga de acuíferos, almacenamiento de agua para la agricultura e industria	●	●	•		•				
<b>Control de la contaminación:</b> retención, recuperación y remoción de nutrientes y contaminantes	●	•	●	●	•		¿?	•	•
<b>Protección contra la erosión:</b> retención de suelos	•	•	•	●	•			•	•
<b>Eventos naturales:</b> control de inundaciones y protección contra tormentas	•	●	●	●	•	•	•	•	●
<b>Servicios culturales</b>									
<b>Espiritual e inspiracional:</b> bienestar y significado religioso	●	●	●	•	•	●	•	•	●
<b>Recreación:</b> turismo y actividades recreativas	●	●	●	•	•	●	•		●
<b>Valor estético</b>	•	•	•	•	•	•			●
<b>Educación e investigación científica</b>	●	●	•	•	•	•		•	•

## Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas acuáticos<sup>1</sup> (conclusión)

Tabla 6.4

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
<b>Servicios de provisión</b>									
<b>Alimento:</b> pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<b>Agua dulce:</b> agua para consumo humano y agrícola	●	●	●		●				
<b>Fibra, madera, combustible:</b> leña, turba, etc.	●	●	●	●	●				
<b>Productos bioquímicos</b>	●	●	●	●			●		●
<b>Recursos genéticos:</b> medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●	●	●	●	●		●		●
<b>Servicios de soporte</b>									
<b>Biodiversidad</b>	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<b>Formación de suelo:</b> retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	●	●	●	●	●				
<b>Reciclaje de nutrientes y fertilidad</b>	●	●	●	●	●	●			●
<b>Polinización:</b> sustento para polinizadores	●	●							

**Nota:**

<sup>1</sup> 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:**

MEA. *Ecosystems and human Well-being: Current state and trends*. Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D. C. 2005.

## Importancia de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas marinos oceánicos<sup>1</sup>

Tabla 6.5

Servicios ambientales	Ecosistemas marinos			
	Plataforma continental interna	Plataforma externa y talud	Montañas y cordilleras marinas	Profundidades oceánicas
<b>Servicios de provisión</b>				
Alimento: pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●
Fibra, madera, combustible: leña, turba, etc.	●	●		
Recursos genéticos: medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●			
<b>Servicios de regulación</b>				
Regulación atmosférica y del clima: regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	●	●		●
<b>Servicios culturales</b>				
Cultura y esparcimiento	●			
<b>Servicios de soporte</b>				
Biodiversidad	●	●	●	●
Reciclaje de nutrientes y fertilidad	●	●	●	●
<p><b>Nota:</b></p> <p><sup>1</sup> La escala de importancia es: ● 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>				
<p><b>Fuente:</b></p> <p>Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.). <i>Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends</i>. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.</p>				

**Humedales: valor promedio estimado de sus bienes o servicios ambientales**

**Tabla 6.6**

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. y L. Brander. *Living waters: Conserving the source of life. The economic value of the world's wetlands.* WWF, Switzerland, 2004.

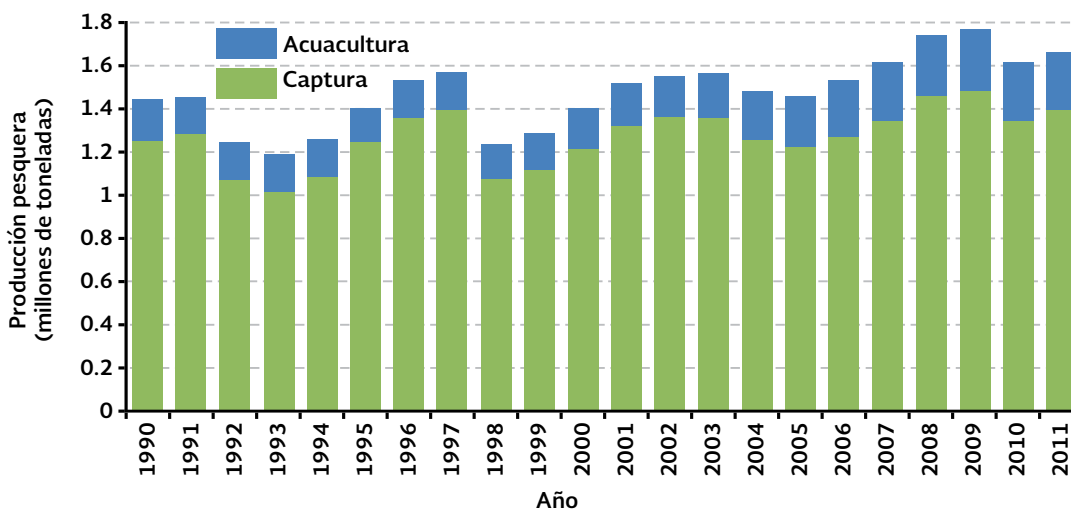
La producción pesquera nacional se basa actualmente en la captura marina, aun a pesar del rápido crecimiento que la acuicultura ha registrado en los últimos años. En 2011, el 84.2% de la producción correspondió a captura (marina y continental) y el restante 15.8% a la acuicultura (IB 8-1). Si se revisa la producción por litoral, entre 1990 y 2011 los estados del Pacífico aportaron cerca del 76.5% de la producción nacional, con alrededor de 1.1 millones de toneladas anuales en promedio; los estados del litoral del Golfo y el Caribe produjeron 21.5% del total (equivalente a 316.4 mil toneladas anuales; Figura 6.20). Los estados sin litoral apenas alcanzaron el 2.6% del total de la producción pesquera nacional, con poco más de 41 mil toneladas anuales en promedio. En 2011 la mayor producción pesquera fue en el Litoral Pacífico con 1.38 millones de toneladas (83.1%), seguida por el Golfo y Mar Caribe con 239 mil toneladas (14.4%; Figura 6.20; Sagarpa, 2005-2011; Cuadro D2\_PESCA01\_01).



A nivel estatal las entidades que en 2011 aportaron los mayores volúmenes de la

**Producción pesquera y acuícola nacional, 1990 - 2011**

**Figura 6.19**



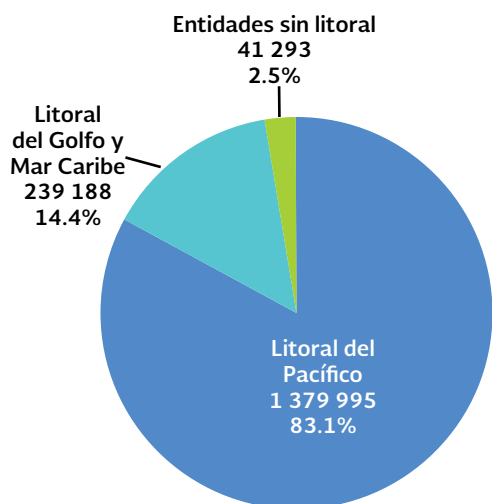
**Fuentes:**

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2000-2002.* Sagarpa, México, 2001-2002.  
 Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2003-2011.* México, 2004-2012.  
 Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca 1997-1999.* Semarnap, México, 1998-2000.



## Producción pesquera según origen, 2011

Figura 6.20



**Fuente:**  
Conapesca, Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2011. Sagarpa, México, 2012.

producción pesquera nacional fueron: Sonora con 610 706 toneladas (36.8%), Sinaloa con 337 863 toneladas (20.4%), Baja California Sur con 151 186 toneladas (9.1%), Baja California con 135 619 toneladas (8.2%)

y Veracruz con 79 268 toneladas (4.8%); lo que representa poco más del 79% de la producción nacional (Mapa 6.24; Cuadro D2\_PESCA01\_01).

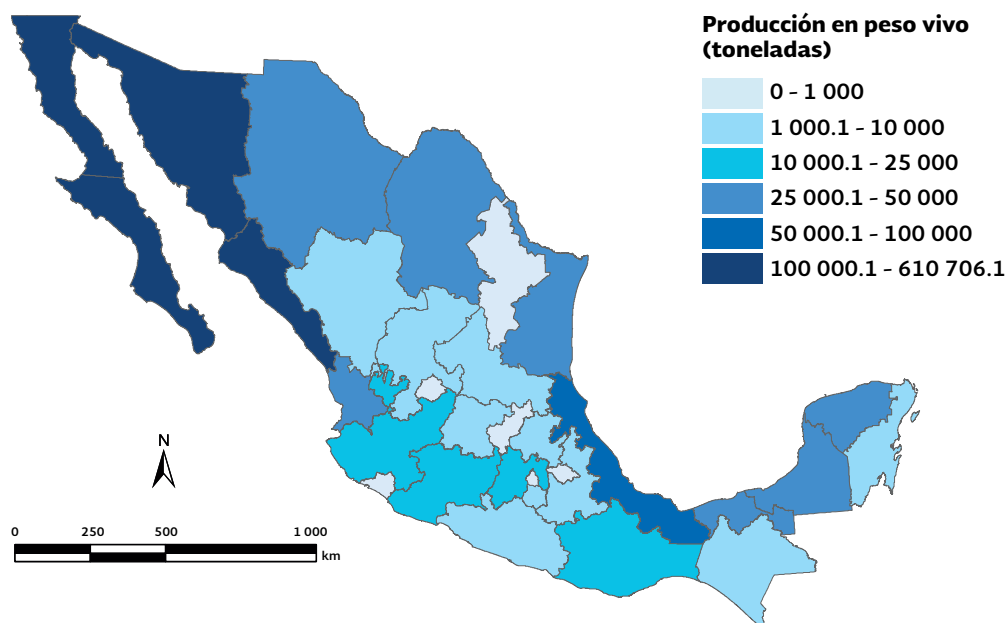
Si se examina la contribución de las pesquerías a la producción nacional (incluyendo la captura y la acuicultura), en 2011 cerca de la mitad (48%) de la producción (794 566 toneladas) fue aportada por tres pesquerías: sardina, túnidos y camarón. Entre éstas, la producción de sardina fue la más importante, contabilizando más de 684.1 mil toneladas, lo que equivale al 86% del total aportado por estas tres pesquerías.

La flota pesquera nacional se incrementó 10.1% entre 1990 y 2011, pasando de 74 572 a 82 069 embarcaciones. En este último año, la mayor parte de la flota la integraban las embarcaciones de pesca ribereña (96.1%), mientras que las de altura representaban apenas el 3.9% (IB 8-2). De la flota pesquera nacional, la camaronera es muy superior a las demás: representa 59.6% del total de la flota



## Producción pesquera por entidad federativa, 2011

Mapa 6.24



**Nota:**  
<sup>1</sup> Incluye volúmenes de captura y de producción acuacuícola.

**Fuente:**  
Conapesca, Sagarpa. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011. México, 2012.

de altura, mientras que las embarcaciones de pesca atunera y la de captura de anchoveta y sardina apenas alcanzan poco más del 7.7%. En 2011 había 1896 embarcaciones camaroneras, 70% en el Pacífico y el resto en el litoral del Golfo y El Caribe (1 326 y 570 barcos, respectivamente). Como parte de la flota, en el litoral Pacífico había también 234 embarcaciones para la pesca de escama<sup>21</sup>, 107 para la del atún y 108 para la sardina. En el Golfo y Mar Caribe se tenían 805 para escama y 31 para atún en ese mismo año.

Por entidad federativa, en 2011 la mayor flota de pesca de altura correspondía a los estados con mayor producción pesquera: Sinaloa (759 embarcaciones), Sonora (516) y Baja California (256) en el Pacífico; en el litoral del Golfo y Mar Caribe, Yucatán (664), Tamaulipas (267) y Campeche

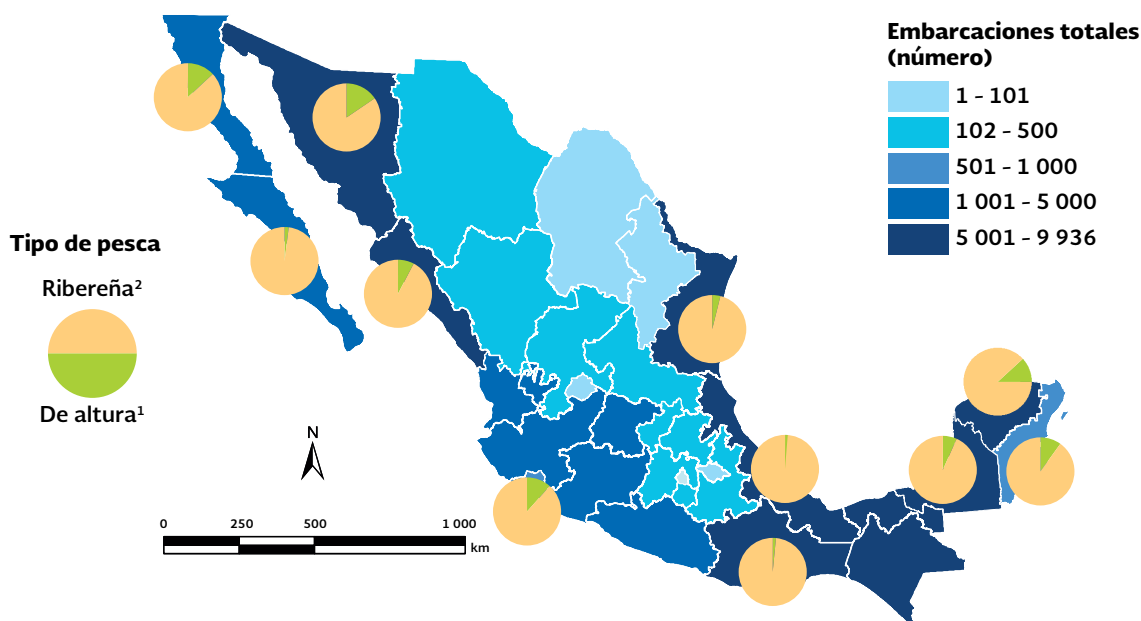
(257) fueron las entidades con las flotas de altura más importantes (Mapa 6.25). Con respecto a la edad de las embarcaciones, la mayoría de ellas (poco más del 86%) tienen una antigüedad mayor a 20 años (60% de las cuales incluso tienen más de 30 años) y menos del 2% tienen 10 años o menos.

## ESTADO DE LAS PESQUERÍAS

La captura pesquera puede convertirse en una actividad altamente perjudicial para los recursos pesqueros cuando se realiza de manera inadecuada (FAO, 2009). Algunas de las consecuencias más importantes de la sobreexplotación pesquera son la pérdida de la productividad y su extinción comercial (Jackson *et al.*, 2001). Ello resulta del efecto que la captura tiene en las poblaciones de las especies objetivo: disminución de su tamaño

**Embarcaciones registradas por entidad federativa y por tipo de pesca, 2011**

**Mapa 6.25**



**Notas:**

<sup>1</sup> Las entidades sin litoral no tienen gráfica porque toda su flota es ribereña. En los casos de Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Chiapas y Tabasco su flota de altura es menor al uno por ciento de la flota estatal.

<sup>2</sup> Pesca ribereña: embarcaciones que se dedican a esta actividad, cuyo propósito principal es comercial, tienen eslora ≤ 10 m.

**Fuente:**

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011*. México, 2012.

<sup>21</sup> Se refiere a una pesquería muy diversa, la cual abarca recursos asociados tanto a la línea de costa y ambientes estuarinos, como a las aguas continentales (ríos, lagos y presas).

poblacional y alteraciones de su estructura de tamaños y condición reproductiva (García *et al.*, 2003; Godø *et al.*, 2003). Los efectos anteriores afectan el potencial de recuperación y la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de las especies pesqueras.

En México, a partir de la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2004), la cual está basada en las generalidades de las pesquerías (zonas de captura, equipos y artes de pesca utilizados), así como diversos indicadores (p. e., de captura y esfuerzo de captura), se determinó el estatus que guardaban las diversas pesquerías del país. Así, en el Golfo de México y en el Pacífico, 19 y 27% de las pesquerías, respectivamente, se encontraban en condiciones de deterioro, 67 y 51% en condiciones de aprovechamiento máximo sostenible, y sólo alrededor del

15 y 16% tenían potencial de desarrollo (Figura 6.21). Respecto a los cuerpos de agua continentales, en 84% no estaba determinado su estado, 8% tenían potencial de desarrollo, 3% aprovechamiento máximo sostenible y 5% estaban en deterioro (DOF, 2004; **IB 8-5**).

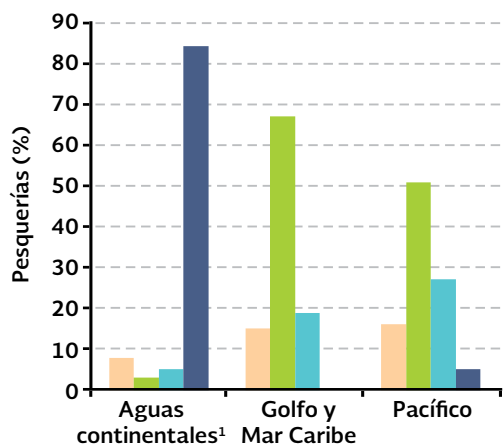


Otro método indirecto para evaluar el estado de las pesquerías es por medio del cálculo de sus rendimientos. El rendimiento pesquero relativo se define como la captura que se obtiene en un periodo particular por unidad de esfuerzo de captura, estandarizado con respecto a un año base (FAO, 2000). Si se expresa como porcentaje, un valor del indicador superior al 100% sugiere que el recurso puede continuar desarrollándose, mientras que un valor inferior puede significar el deterioro de la pesquería. En general, en México las pesquerías de escama y de atún muestran para el periodo comprendido entre 1990 y 2008 valores decrecientes de rendimiento, lo que sugiere un deterioro de dichas pesquerías; pese a que en los dos años posteriores su rendimiento se incrementó 45% (pasó de 42 a 67); por el contrario la de camarón muestra, a pesar de las oscilaciones, valores de rendimientos crecientes que apuntan a que aún tiene potencial de explotación; mientras que la de sardina-anchoveta que también con fluctuaciones tuvo un importante incremento hasta 2009 y en 2010 disminuyó 28% y se recuperó 5% en el último año (Figura 6.22; **IB 8-4**).



### Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros, 2004

Figura 6.21



#### Estado de sustentabilidad

- Con potencial de desarrollo
- Aprovechamiento máximo sostenible
- Deterioro
- No determinado

**Nota:**

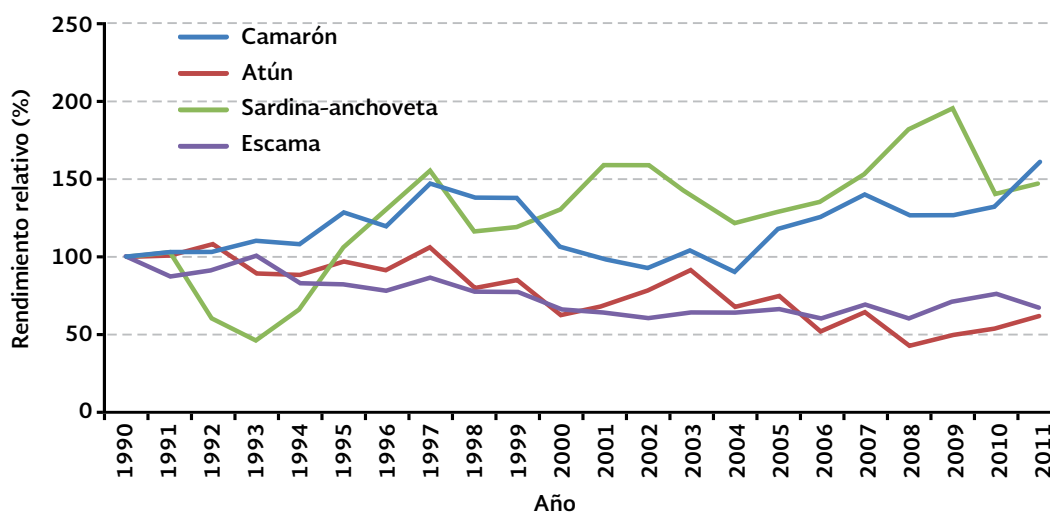
<sup>1</sup> Los datos para las aguas continentales no se refieren a pesquerías, sino a cuerpos de agua.

**Fuente:**

DOF. Carta Nacional Pesquera 2004. INP, Sagarpa. Diario Oficial de la Federación. 2004 (15 de marzo).

### OTROS IMPACTOS DE LA PESCA

Además del deterioro de las propias pesquerías, la pesca puede ejercer un impacto muy severo sobre la biodiversidad costera y oceánica. Uno de los problemas más graves que ocasiona es la captura incidental de organismos sin interés comercial, la llamada fauna de acompañamiento (integrada principalmente por mamíferos, peces, reptiles e invertebrados), debido básicamente a la falta de selectividad de las artes tradicionales.

**Fuentes:**

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca* 2003-2011. México. 2004-2012.

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación-Conapesca, Sagarpa. Octubre 2007.

Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca* 1995, 1996, 1997, 1998, 1999. México. 1996-2000.

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca* 2000-2011. México. 2001-2012.

En el caso de la pesca del camarón en México, por ejemplo, la fauna de acompañamiento la integran alrededor de 600 especies de peces, moluscos, equinodermos y crustáceos (DOF, 2010). Aunque resulta difícil estimar con precisión el daño que la pesca incidental ha ocasionado en los ecosistemas marinos, tan sólo en el año 2000 el descarte de fauna de acompañamiento alcanzó 6 400 toneladas en el Pacífico, mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe fue de 1 846 toneladas. Para el 2010, el volumen total de fauna de acompañamiento reportado fue de 5 601 toneladas; 4 344 en el Pacífico y 1 257 en el Golfo y El Caribe (DOF, 2010).

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 del fondo, lo que causa que pastos marinos, esponjas, corales y erizos, entre otros organismos, sean capturados, lastimados o desprendidos del lecho oceánico. Con la pérdida de los microhábitats creados por esponjas y corales

se pierden, además, sitios de reclutamiento y alimentación para otras especies, lo que afecta tanto a sus poblaciones como al flujo y la 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 el año 2000 se estimó que tan sólo en el Pacífico mexicano la superficie arrastrada fue de casi 550 000 kilómetros cuadrados (cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe pudo sumar los 187 000 kilómetros cuadrados (Sagarpa, 2007).

Otras pesquerías, como la del atún, pueden capturar especies de vertebrados amenazadas, entre las que se encuentran cetáceos, tiburones y tortugas marinas (*Cuadro D2\_PESCA04\_02*). De ahí que esta pesquería esté bajo una supervisión metódica por parte de técnicos observadores que garantizan el cumplimiento normativo nacional e internacional y permitan reducir la captura incidental, principalmente de los delfines asociados.

Los esfuerzos realizados para la protección de estos mamíferos 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 de estos animales. Ambos se basan en el monitoreo de la mortalidad incidental de delfines por medio de observadores 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.

En México, durante las últimas dos décadas, la muerte incidental de delfines por la actividad de la flota atunera ha disminuido 92.7%,

pasando de poco más de 9 560 delfines en 1992 a 701 en 2011 (Figura 6.23; **IB 6.4.1-6**). Dado el avance que se ha realizado en el país en la reducción de la mortalidad de los delfines, en mayo de 2012 la Organización Mundial de Comercio (OMC) publicó el fallo final sobre el etiquetado “dolphin safe” que Estados Unidos mantiene sobre el atún mexicano, con el fin de levantar el embargo atunero a nuestro país.



## 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.

Camargo, J. A. y A. Alonso. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16: 98-110. 2007.

CAN, (Comunidad Andina), SG, PNUMA e IRD. *El fin de las cumbres nevadas. Glaciares y cambio climático en la Comunidad Andina*. 2007.

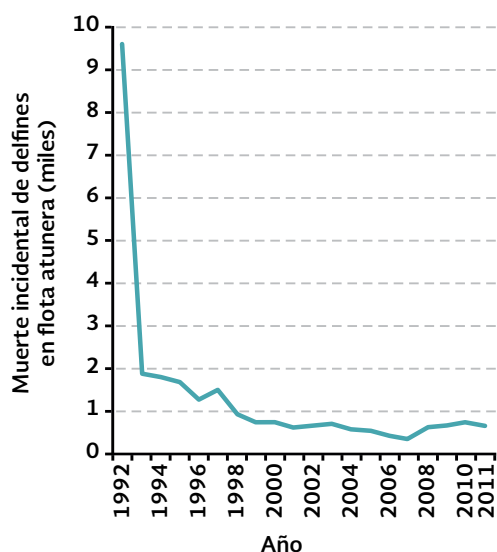
Carpenter, S., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley y V. H. Smith. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Issues in Ecology* 3: 1-12. 1998.

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2004. México 2004.

Conabio. *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2009. Disponible en: [www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html). Fecha de consulta: junio de 2012.

### Muerte incidental de delfines, 1992 - 2011

Figura 6.23



#### Fuentes:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Sagarpa, Conapesca. Abril de 2011.

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Sagarpa, Conapesca. Marzo de 2012.

Subsecretaría de Pesca, Semarnap. México. 1999.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2007. Conagua. México. 2007.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2008. Conagua. México. 2008.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. Conagua. México. 2011.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de acuicultura y pesca 2010*. México. 2010.

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. *Modificación a la NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"*. Diario Oficial de la Federación. México. 2000 (20 de octubre).

DOF. *Carta Nacional Pesquera*. Diario Oficial de la Federación. México. 2004 (15 de marzo).

DOF. *Carta Nacional Pesquera*. Diario Oficial de la Federación. México. 2010 (diciembre de 2010).

Falkenmark, M. y J. Rockström. *Balancing water for humans and nature: The new approach in Ecohydrology*. Reino Unido. 2004.

FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006*. Roma. 2007. Disponible en: [www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm](http://www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm).

FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008*. Roma. 2009. Disponible en: [www.fao.org/docrep/011/i0250s/i0250s00.htm](http://www.fao.org/docrep/011/i0250s/i0250s00.htm).

FAO. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010*. Roma. 2010. Disponible en: [www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s00.htm](http://www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s00.htm).

FAO. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. Roma. 2012. Disponible en: [www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf).

FAO-Aquastat. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. 2012. Disponible en: [www.fao.org/nr/water/aquastat/data/](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/). Fecha de consulta: julio de 2012.

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.

García, S. M., A. Zerbi, C. Aliaume, T. Do Chi y G. Lasserre. *The ecosystem approach to fisheries*. FAO Fisheries Technical Report. Rome. 2003.

Gerencia de Aguas, Subdirección General Técnica, Conagua, Semarnat. México. 2013.

Godø, O. R., A. Rijnsdorp, U. Dieckmann y M. Heino. *The effects of fishing on the genetic composition of living marine resources*. ICES Annual Report for 2002. Copenhagen. 2003.

INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. México. 2011.

INP, Sagarpa. Octubre 2007.

- Jackson, J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner y R. R. Warner. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629-638. 2001.
- Larraín, S. Glaciares: Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad y los ecosistemas en Chile. En: Paz, A. M. y T. Montecinos (Eds.). *Glaciares Andinos, recursos hídricos y cambio climático: Desafíos para la Justicia Climática en el Cono Sur*. MásGráfica. Chile. 2011.
- Limnological Institute SB RAS, s/a. Disponible en: <http://lin.irk.ru/eng/about.htm>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- Milana, J. P. y A. Güel. Diferencias mecánicas e hídricas del permafrost en glaciares de rocas glaciogénicos y criogénicos obtenidas de datos sísmicos en El Tapado, Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 310– 325. 2008.
- OCDE. *Análisis del desempeño ambiental: México*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Francia. 1998.
- OECD. *Water. Performance and Challenges in OECD Countries*. Environmental Performance Reviews. 2003
- OMS. *Estadísticas sanitarias mundiales 2011*. OMS. Francia. 2011.
- OMS y UNICEF. *Progresos en materia de saneamiento y agua: informe de actualización 2010*. OMS. Francia. 2010.
- ONU. *Objetivos del Desarrollo del Milenio. Informe 2011*. Nueva York. 2011.
- PNUD. *Informe sobre desarrollo humano. Más allá de la escasez. Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Mundi Prensa Libros. Madrid. 2006.
- PNUMA-GEMS. Programa del Agua *Water Quality Outlook*. PNUMA Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Programa del Agua, Instituto Nacional de Investigación sobre el Agua. Burlington, Ontario. 2007.
- PNUMA e INE, Semarnat. *GEO México 2004. Perspectivas del Medio Ambiente en México*. México. 2004.
- Rosegrant, M. W., X. Cai y S. A. Cline. *Panorama global del agua hasta el año 2025. Cómo impedir una crisis inminente*. International Food Policy Research Institute. Washington. 2004.
- Servicio Meteorológico Nacional, Conagua, Semarnat. 2012.
- Silk, N. y K. Ciruna (Eds.). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado. 2004.
- Subdirección General de Programación, Conagua, Semarnat. México. 2012.
- UN. *A Framework for Action on Water and Sanitation*. WEHAB Working Group. 2002. Disponible en: [www.un.org/esa/sustdev/publications/wehab\\_water\\_sanitation.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/publications/wehab_water_sanitation.pdf). Fecha de consulta: junio de 2012.
- UN. *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. Third edition. United Nations. N. Y. 2007.
- UNDP, UNEP, WB y WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. 2000.
- UNEP. *GEO 4. Global Environmental Outlook. Environment for development*. United Nations Environment Programme. Malta. 2007.

Van Everdingen, R. (Ed.). *Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms*. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. 1998. Disponible en: <http://nsidc.org/fgdc/glossary>. Fecha de consulta: junio de 2012.

Vörösmarty, C., C. Lévêque, C. Revenga, 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. Sholes y N. Ash. *Ecosystems and human well-being: Current State and Trends, Volumen 1*. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press. Washington, Covelo. London. 2005.

WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality. Volumen 1*. 3rd. Ed. World Health Organization. Geneva. 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/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/). Fecha de consulta: junio de 2012.

WHO y UNICEF. *Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A Mid-term Assessment of Progress*. WHO. Geneva, New York. 2004.

WHO y UNICEF. *Joint Monitoring Programme (JMP) for water supply and sanitation. 2008*. Disponible en: [www.wssinfo.org/en/welcome.html](http://www.wssinfo.org/en/welcome.html). Fecha de consulta: junio de 2012.

Wilson, M. A. y S. R. Carpenter. Economic valuation of freshwater ecosystems in the United States 1971-1997. *Ecological Applications* 9: 772-783. 1999.

WRI. Water: Critical shortages ahead? En: WRI, UNEP, UNDP, y WB. *World Resources 1998-99: Environmental change and human health*. 1999. Disponible en: [http://pubs.wri.org/pubs\\_content\\_text.cfm?ContentID=1030](http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?ContentID=1030). Fecha de consulta: febrero de 2012.





# RESIDUOS

# RESIDUOS

La intensificación de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes. A la par crecieron la generación de residuos de distintos tipos y los problemas asociados para su disposición adecuada, así como las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas (ver el Recuadro *Impactos de los residuos sobre la población y los ecosistemas*).

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso 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 URBANOS

Los residuos sólidos urbanos<sup>1</sup> son los que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los 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 sobre la generación de RSU a nivel nacional que se han reportado en los últimos años presentan limitaciones importantes, básicamente porque no se trata de mediciones directas, sino de

<sup>1</sup> Con 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 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 para la salud de las personas y de los ecosistemas naturales. Algunos de sus impactos son los siguientes:

• **Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero:**

la descomposición de los residuos orgánicos produce biogases que resultan desagradables no sólo por los olores que generan, sino que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o por su explosividad. Algunos de ellos son también gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global. Entre estos gases destacan el bióxido y monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ , respectivamente), metano ( $\text{CH}_4$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, como la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno).

• **Adelgazamiento de la capa de ozono:**

las sustancias agotadoras del ozono (SAO) que se emplean en la fabricación de envases de unicel, como propulsores de aerosoles para el cabello, en algunas pinturas y desodorantes, plaguicidas, así como en refrigeradores y climas artificiales contribuyen, al ser liberadas

a la atmósfera, al adelgazamiento de la capa de ozono. Cuando los envases de estos productos son desechados de manera inadecuada se convierten en fuentes de emisión de SAO.

• **Contaminación de los suelos y cuerpos de agua:**

la descomposición de los residuos y su contacto con el agua 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 representando 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 murino, 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.

estimaciones. Son calculadas por la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos. Según dicha dependencia, en 2011 se generaron alrededor de 41 millones de toneladas, lo que equivale a cerca de 112.5 mil toneladas de RSU diariamente.

La generación de RSU se ha incrementado notablemente en los últimos años; tan sólo entre 2003 y 2011 creció 25%, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, el gasto de la población<sup>2</sup> y el cambio en los patrones de consumo (Figura 7.1; Cuadro D3\_RSM01\_02; IB 4-1).

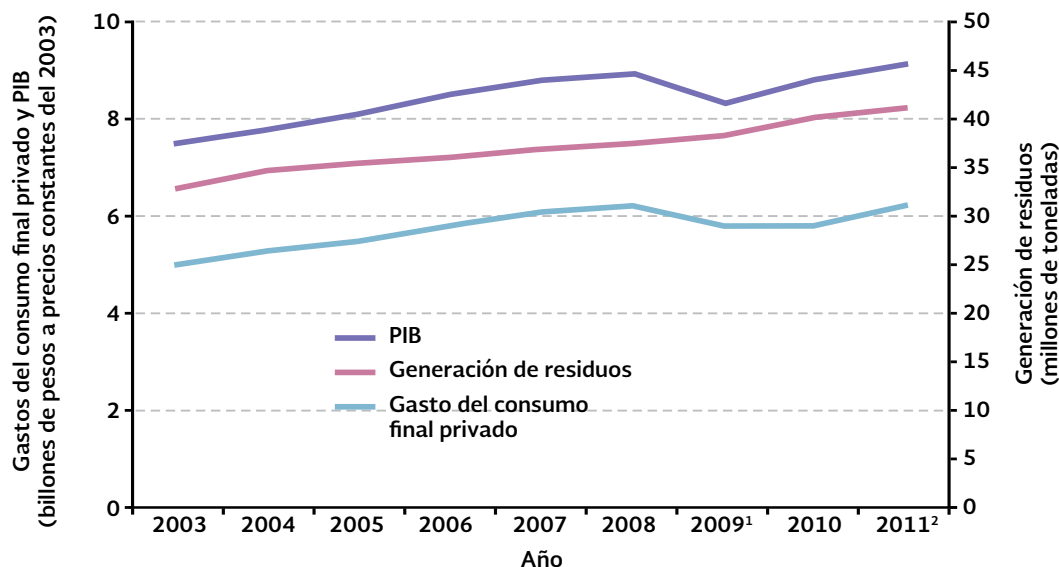


Figura 7.1; Cuadro D3\_RSM01\_02; IB 4-1).

La generación total de RSU en el país difiere de manera importante a nivel geográfico. Si se considera la regionalización de la Sedesol para el análisis de la generación de residuos, en 2011 la región Centro contribuyó con el 51% de la generación total en el país, seguida por la región Frontera Norte (16%) y el Distrito Federal (12%; Mapa 7.1; Cuadro D3\_RSM01\_01). Si se analiza la evolución de la generación de RSU por región, las regiones que más incrementaron su generación entre 1997 y 2011 fueron: Frontera Norte (207%), Centro (49%), Sur (44%) y el Distrito Federal (19%). La única región que mostró una reducción en ese periodo fue la norte (27%), que pasó de 6 a 4.4 millones de toneladas en el mismo periodo.

### Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado, 2003 - 2011

Figura 7.1



**Notas:**

<sup>1</sup> Cifras preliminares a partir del 2009.

<sup>2</sup> Datos de gasto del consumo final privado de enero a septiembre del 2011.

**Fuentes:**

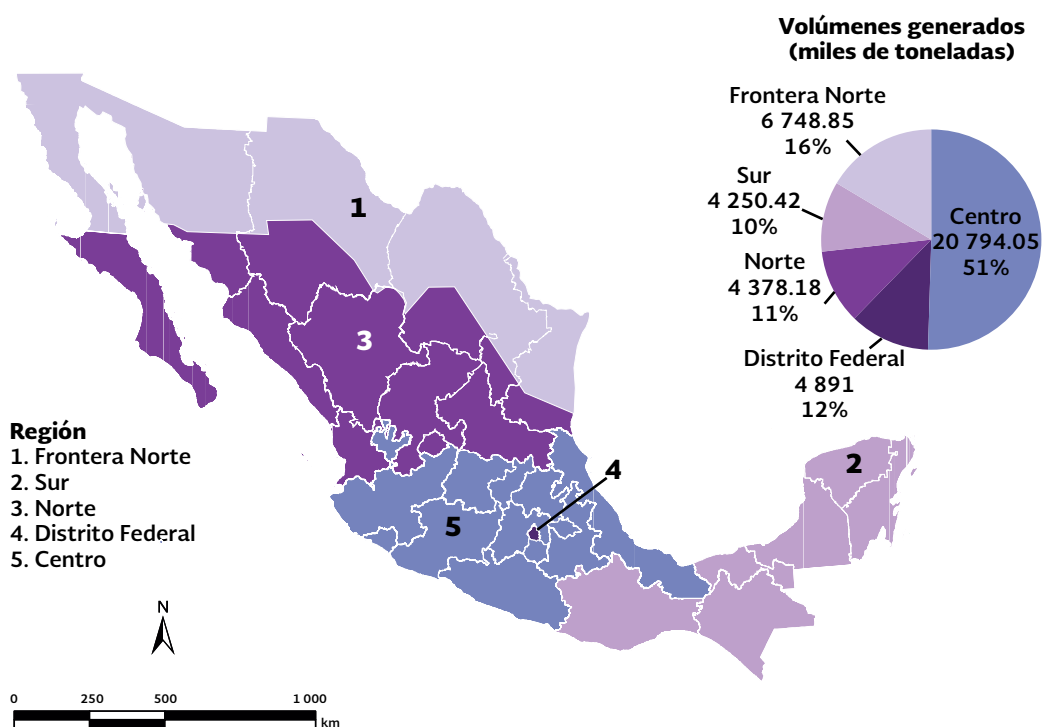
Banxico. SR6 Indicadores Trimestrales de Oferta y Demanda Agregadas. Consumo privado. México. 2010. Disponible en: [www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/estadisticas/otros-indicadores/produccion.html](http://www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/estadisticas/otros-indicadores/produccion.html). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. México. 2012. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdiointsi.exe/Consultar>.

Fecha de consulta: septiembre de 2012.

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

<sup>2</sup> Se refiere al gasto de consumo final privado, es decir, al valor total de todas las compras en bienes y servicios de consumo, individuales y colectivas, 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, 2012).



**Fuente:** Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

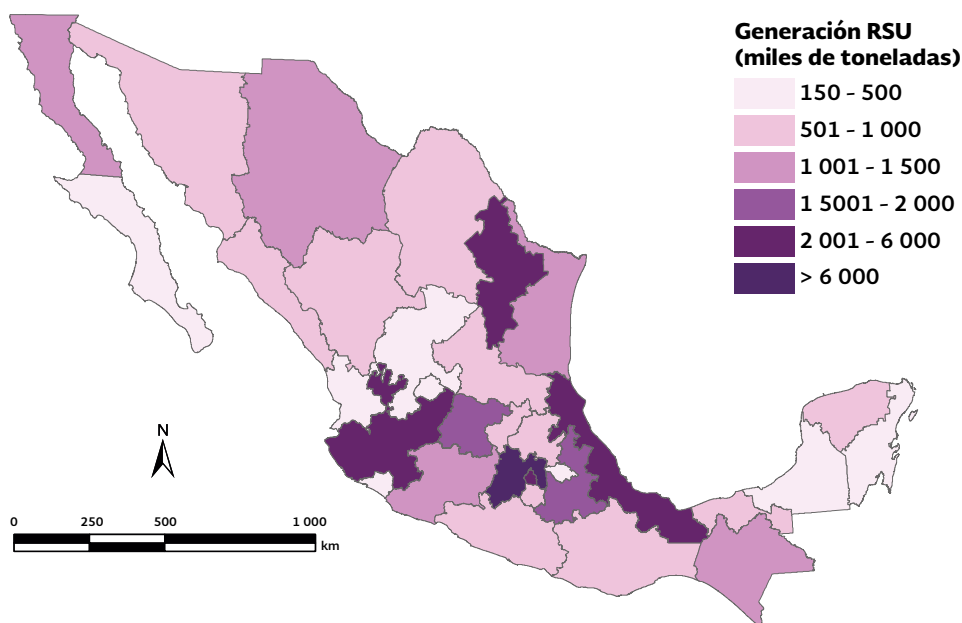
Por entidad federativa, las que generaron los mayores volúmenes de RSU en 2011 fueron el estado de México (16% del total nacional), Distrito Federal (12%), Jalisco (7%), Veracruz (5.5%) y Nuevo León (5%), mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit y Tlaxcala (cada una con 0.8%), Baja California Sur y Campeche (cada una con 0.6%) y Colima (0.5%; Mapa 7.2; [Cuadro D3\\_RSM01\\_04](#)).

Si se analiza la contribución relativa de las entidades al producto interno bruto nacional, puede observarse que guarda una relación lineal positiva con su participación en la generación nacional de RSU (Figura 7.2). No obstante, la contribución a la producción total

nacional de RSU de entidades como el estado de México y el Distrito Federal, se aparta significativamente de la tendencia que siguen el resto de las entidades.

De acuerdo al tamaño de las localidades<sup>3</sup>, en 2011 la generación de residuos en localidades rurales o semiurbanas (es decir, aquellas con una población menor a los 15 mil habitantes y que albergan en conjunto 38% de la población del país) representó 11% del volumen nacional, mientras que las zonas metropolitanas (con más de un millón de habitantes, que albergaban 13% de la población nacional) contribuyeron con 43% de los residuos totales (Figura 7.3). La evolución de la generación de residuos por tipo de localidad entre 1997 y 2011 muestra que

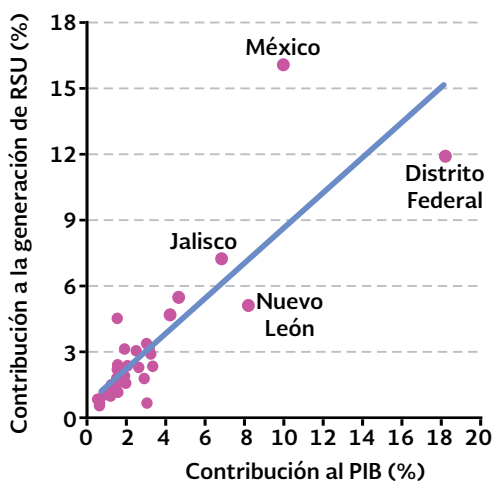
<sup>3</sup> Para la Sedesol, las zonas metropolitanas son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a 1 000 000 de habitantes. Las ciudades medias corresponden a todas aquellas que formaron parte del "Programa 100 ciudades" y las incluidas en los planes estratégicos de los gobiernos de los estados. Las ciudades pequeñas son aquellas mayores a 15 000 habitantes y no incluidas en las denominadas 100 ciudades y, finalmente, las localidades rurales o semiurbanas corresponden a las que tienen una población menor a 15 000 habitantes.



**Fuente:** Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

**Contribución al PIB<sup>1</sup> y a la generación de RSU por entidad federativa, 2011**

Figura 7.2



**Nota:**  
<sup>1</sup> Cifras preliminares 2011.

**Fuentes:**  
INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. México. 2013. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/Consultar>. Fecha de consulta: febrero de 2013.  
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

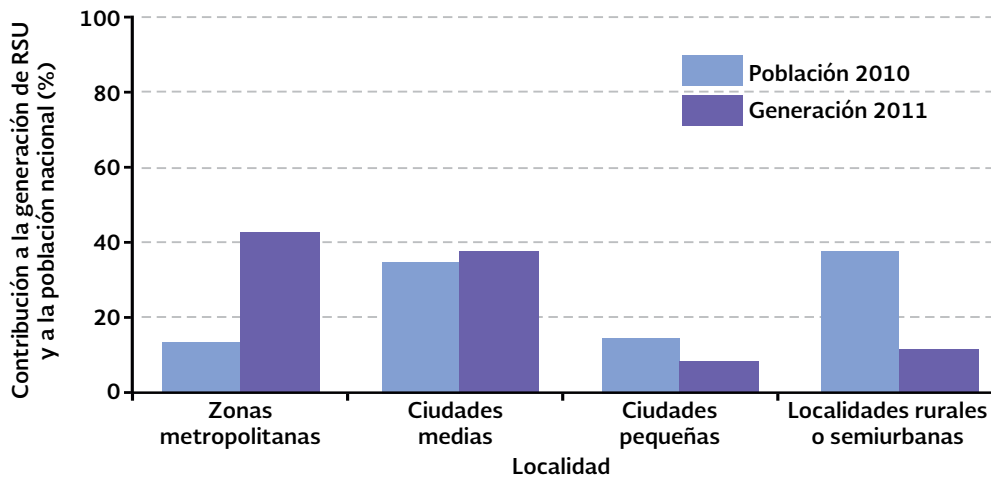
las ciudades pequeñas son las que en términos porcentuales incrementaron mayormente sus volúmenes de generación (en 82%, pasó de 1.9 a 3.5 millones de toneladas), seguidas por las zonas metropolitanas (57%, de 11.2 a 17.6 millones de toneladas) y las ciudades medias (30%, de 11.8 a 15.3 millones de toneladas; Figura 7.4). Las localidades rurales o semiurbanas fueron las que menor crecimiento porcentual registraron en el mismo periodo: 7%, pasando de 4.4 a 4.7 millones de toneladas.

Si se calcula la generación de RSU por habitante, se observa que ha aumentado significativamente en el tiempo: entre 1950 y 2011, el volumen de generación diario aumentó más de tres veces, pasando de 300 a 990 gramos en promedio. Si se evalúa anualmente, la generación por habitante pasó de 306 a 360 kilogramos entre 1997 y 2011, es decir, se incrementó en promedio 3.9 kilogramos por año (Figura 7.5; **IB 4-2**). En comparación con los países de la Organización para la Cooperación y el



## Generación de RSU por tipo de localidad<sup>1</sup>, 2011

Figura 7.3



**Nota:**

<sup>1</sup> Para la Sedesol, las *zonas metropolitanas* son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a 1 000 000 de habitantes. Las *ciudades medias* corresponden a todas aquellas que forman una parte del "Programa 100 ciudades" y las incluidas en los planes estratégicos de los gobiernos de los estados. Las *ciudades pequeñas* son aquellas mayores a 15 000 habitantes y no incluidas en las denominadas 100 ciudades y, finalmente, las *localidades rurales o semiurbanas* corresponden a las que tienen una población menor a 15 000 habitantes.

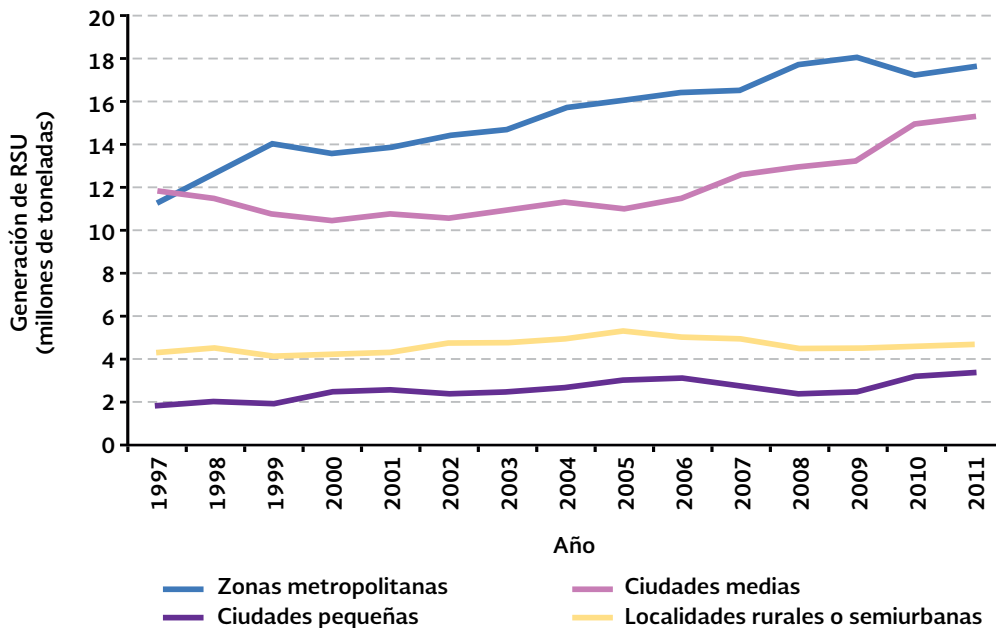
**Fuentes:**

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. Consulta interactiva de datos. 2011. Disponible en: [www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

## Generación de RSU por tipo de localidad<sup>1</sup>, 1997 - 2011

Figura 7.4



**Nota:**

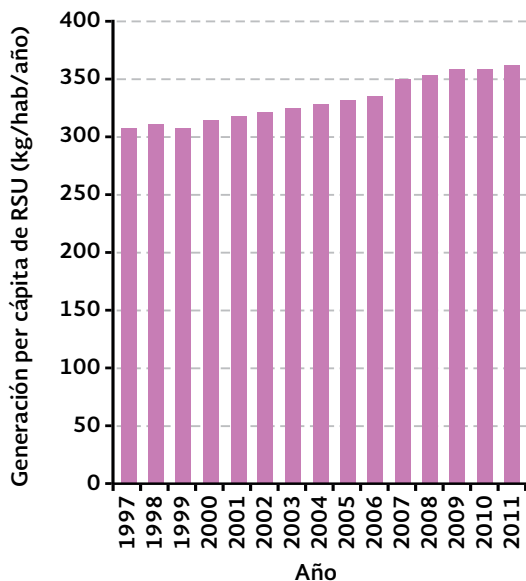
<sup>1</sup> Para la Sedesol, las *zonas metropolitanas* son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a 1 000 000 de habitantes. Las *ciudades medias* corresponden a todas aquellas que forman una parte del "Programa 100 ciudades" y las incluidas en los planes estratégicos de los gobiernos de los estados. Las *ciudades pequeñas* son aquellas mayores a 15 000 habitantes y no incluidas en las denominadas 100 ciudades y, finalmente, las *localidades rurales o semiurbanas* corresponden a las que tienen una población menor a 15 000 habitantes.

**Fuente:**

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

## Generación per cápita anual de RSU en México, 1997 - 2011

Figura 7.5



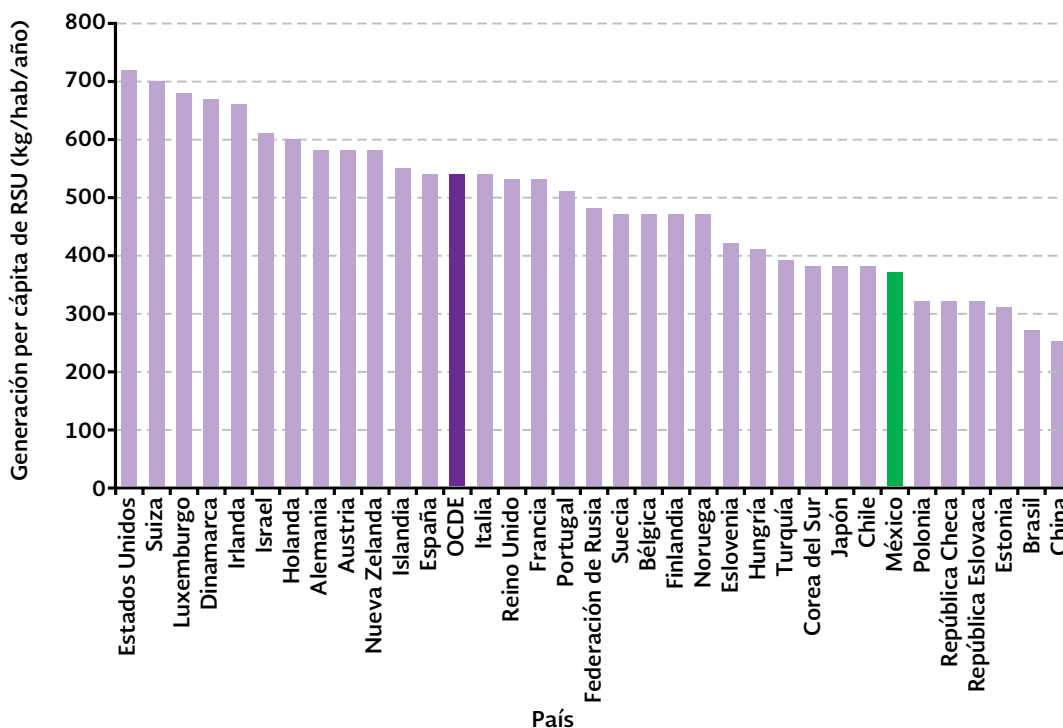
Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

Desarrollo Económico (OCDE), la generación per cápita nacional en 2010 (370 kg/hab) resultó 31% menor al promedio de los países que componen dicha organización (540 kg/hab/año en 2010; Figura 7.6). En ese año, un mexicano promedio generó 14% más residuos que un ciudadano de la República Checa y cerca del 79% del volumen producido por un noruego promedio (OCDE, 2013).

Entre las entidades federativas y ciertas regiones del país, la generación per cápita muestra diferencias importantes, resultado básicamente de la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y grado de urbanismo, entre otros ([Cuadro D3\\_RSM01\\_01](#)). En 2011, la región Distrito Federal registró la mayor generación per cápita, con 1.5 kilogramos diarios, mientras que los habitantes de la región Sur generaron en promedio 0.76 kilogramos por día (Figura 7.7).

## Generación de RSU per cápita en países de la OCDE, 2010

Figura 7.6

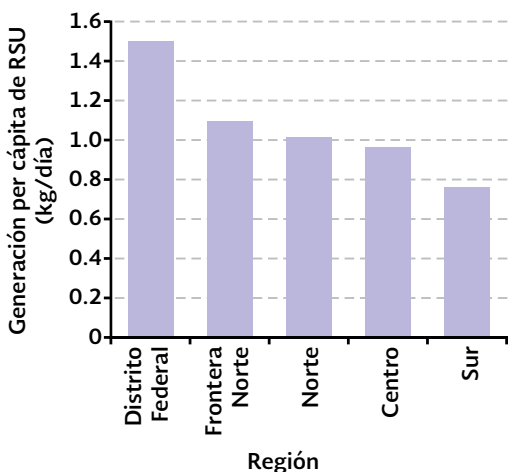


Fuente: OECD. OECD Factbook 2013: Economic, Environmental and Social Statistics. OECD Publishing. 2013. Disponible en: [www.oecd.org/publications/factbook\\_18147364](http://www.oecd.org/publications/factbook_18147364). Fecha de consulta: febrero de 2013.



## Generación per cápita de RSU por región, 2011

Figura 7.7



**Fuente:**  
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

En cuanto a su composición, los RSU también han cambiado de manera importante en las últimas décadas en el país. En general, la composición depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: países con menores ingresos producen menos residuos, dentro de los cuáles dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos, los residuos son mayormente inorgánicos a partir de productos manufacturados y con un porcentaje mayor de productos y desechos (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 2011 esta cifra se redujo al 52.4%, (Figura 7.8; Cuadro D3\_RSM01\_10).

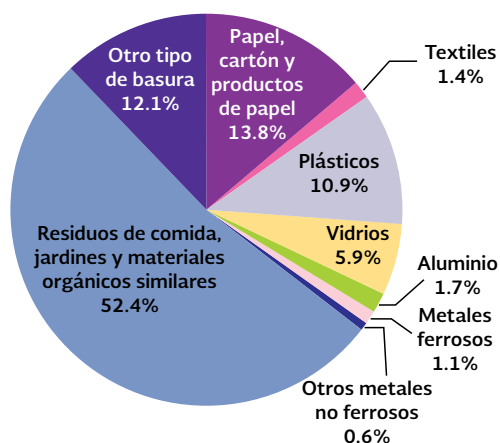
## MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final, además proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, evitar el impacto

potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Sin embargo, la situación del manejo de estos residuos dista mucho de ser la adecuada a lo largo del país. Aún a la fecha es relativamente común que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación o en depresiones naturales del terreno como cañadas, barrancas y cauces de arroyos. En el ciclo de vida de los residuos, después de su generación existen diversas etapas importantes para su manejo, entre las que destacan su recolección, reciclaje y disposición final, las cuales se tratan con más detalle en las siguientes secciones. Prácticamente en la fecha en que se hizo el corte de la información contenida en este Informe, el INEGI publicó los resultados del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011, que presenta nueva información alrededor de la gestión de los RSU en el país (ver el Recuadro *Los RSU en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011*). Esta información seguramente enriquecerá el conocimiento sobre el tema, pero requerirá de un análisis más detallado que llevará tiempo realizar. En este contexto, los datos que se presentan en esta edición del Informe relacionados con la gestión de los RSU provienen aún de la Sedesol, lo que además permite examinar su evolución en el tiempo.

## Composición de los RSU en México, 2011

Figura 7.8



**Fuente:**  
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

El Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 (CNGMD), realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) entre abril y octubre de 2011, tuvo como objetivo recabar de los gobiernos municipales y delegacionales, información estadística y geográfica sobre su gestión. Este ejercicio cobra importancia, en términos de información ambiental, al contener por primera vez un módulo específico sobre los RSU, pero también por su cobertura, que incluyó a todos los municipios del país y a las 16 delegaciones del Distrito Federal. Este ejercicio tuvo una respuesta favorable del 98% de los municipios y delegaciones, por lo que permitirá tener una imagen realista de la situación nacional. Con el módulo sobre RSU se obtuvo información sobre la generación, manejo, recolección y disposición de estos residuos. La información captada será muy útil para mejorar la precisión de las estadísticas más importantes alrededor de la generación y el manejo de los RSU en el país. A continuación se muestran algunos de sus resultados preliminares más importantes.

En 2010, en los cerca de 2 400 municipios del país de los que se obtuvo información se recolectaron diariamente, en promedio, alrededor de 86 357 toneladas de RSU. Los estados que promediaron diariamente los valores más altos de residuos colectados fueron el Distrito Federal (17 043 toneladas), estado de México (8 285) y Jalisco (6

524); en contraste, los que registraron los valores diarios más bajos fueron Baja California Sur (572 toneladas), Campeche (613) y Colima (728).

De los residuos recolectados, 89% correspondió a recolección no selectiva y el restante 11% a recolección selectiva (es decir, a la separación de los RSU en orgánicos e inorgánicos, al menos). A nivel estatal, las entidades que reportan el mayor porcentaje de separación fueron Querétaro (57%), Jalisco (40%), Nuevo León (30%), Distrito Federal (18%) y estado de México (15%). Por el contrario, las entidades que reportaron la no separación de sus residuos fueron Baja California, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Coahuila, Guerrero, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Zacatecas.

El censo también reveló que 2 282 municipios (alrededor del 93% de los que tiene el país) contaban con servicio de recolección y disposición final de RSU, 148 enviaban por lo menos una fracción de sus residuos recolectados a una planta de tratamiento y 161 no contaban con ninguno de estos servicios.

**Referencia:**

INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011* (CNGMD). Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. INEGI. México. 2012.

## RECOLECCIÓN

En 1998 se recolectaba cerca del 85% de los residuos generados en el país, cifra que en 2011 alcanzó 93% (Figura 7.9; [Cuadro D3\\_RSM01\\_05](#)). Sin embargo, cuando se considera el tamaño de las localidades, la situación es distinta: en 2011, en las zonas metropolitanas del país, la cobertura en la recolección de los residuos alcanzó 90%, mientras que en las ciudades medias fue de 80%, en las pequeñas de 26% y en las localidades rurales o semiurbanas alcanzó 13% ([Cuadro D3\\_RSM01\\_08\\_D](#)).

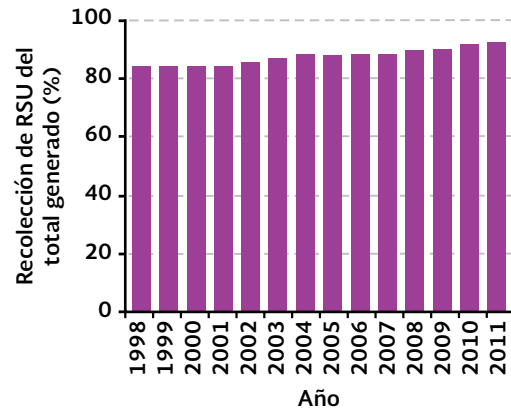
En 2011, los estados que registraron la mayor recolección de RSU fueron Aguascalientes (98.8% del volumen generado), Baja California Sur (97.7%), Nuevo León (97.6%), Baja California (97.5%), Distrito Federal (97%), Querétaro (96.5%) y Tlaxcala (95.8%; Mapa 7.3). Los estados con menor recolección fueron Michoacán (85.8%), estado de México (86.8%), Hidalgo (87.6%), Nayarit (89.3%), Veracruz (89.8%), Morelos (89.9%) y Tabasco (90.3%; Mapa 7.3; [Cuadro D3\\_RSM01\\_05](#)).

## RECICLAJE

A pesar de que el volumen de RSU que se recicla en el país se ha incrementado en los últimos años, aún resulta bajo. De acuerdo con las cifras obtenidas en los sitios de disposición final, en 2011 se recicló 4.8% del volumen de RSU generados; no obstante, esta cifra

**Recolección de RSU, 1998 - 2011**

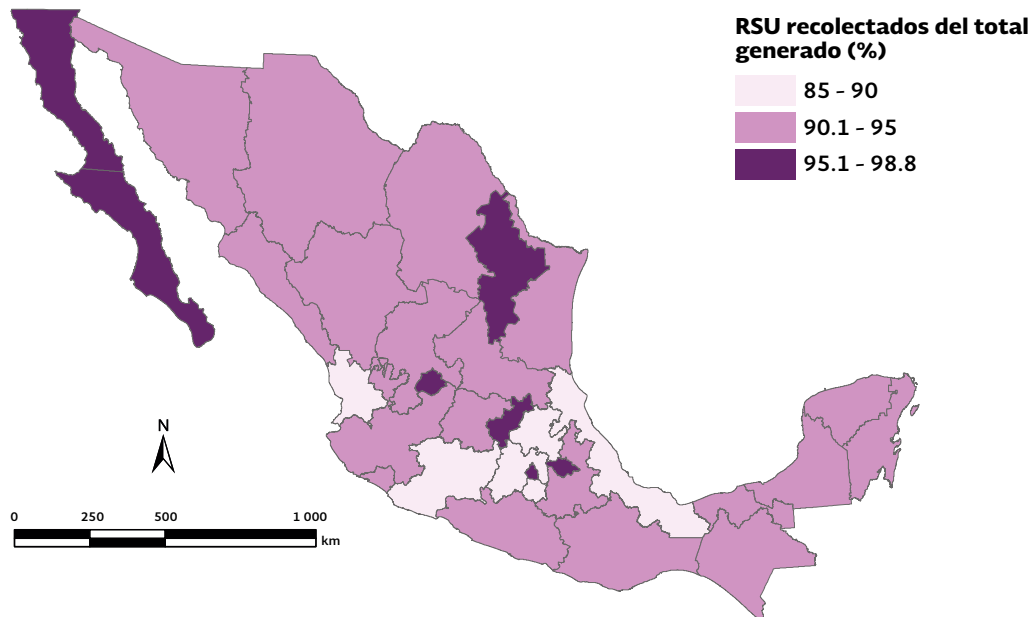
**Figura 7.9**



**Fuente:** Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

**Recolección de RSU por entidad federativa, 2011**

**Mapa 7.3**



**Fuente:** Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.



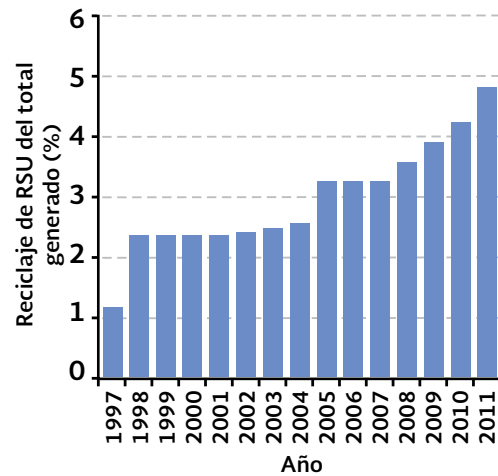
podría alcanzar el 10% en virtud de que muchos de los RSU susceptibles de reciclarse se recuperan antes de llegar a los sitios de disposición final, tanto en los contenedores como en los vehículos de recolección (Figura 7.10; **IB 4-5**). Del volumen total de RSU reciclados en 2011, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (42.2%), seguido por vidrio (28.6%), metales (27.8%), plásticos (1.2%) y textiles (0.2%; Figura 7.11). 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 2011 fueron los metales (39% del total de metales generados), el vidrio (23.5%) y el papel (14.7%). De los plásticos y textiles sólo se recicla alrededor del 0.5% de cada uno de ellos.

## DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su presencia en el ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. En el país se cuenta con dos tipos de sitios de disposición final: los rellenos sanitarios y los rellenos de tierra controlados. Los rellenos sanitarios constituyen la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos; este tipo de infraestructura involucra métodos y obras de ingeniería particulares que controlan básicamente la fuga de lixiviados y la generación de biogases. Por su parte, los rellenos de tierra controlados, aunque comparten las especificaciones de los rellenos sanitarios en cuanto a infraestructura y operación, no cumplen con las especificaciones de impermeabilización para el control de los lixiviados.

La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental

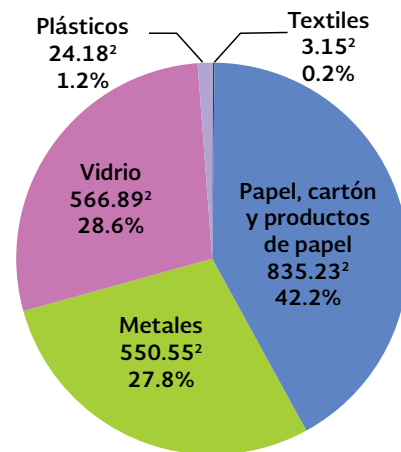
**Reciclaje de RSU, 1997 - 2011** **Figura 7.10**



**Fuente:**  
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

**Composición de los RSU reciclados<sup>1</sup>, 2011**

**Figura 7.11**



**Notas:**  
<sup>1</sup> Las cantidades indicadas como volumen reciclado corresponden a los materiales recuperados en los sitios de disposición final.  
<sup>2</sup> Las cantidades están en miles de toneladas.

**Fuente:**  
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

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. De acuerdo a ella, los rellenos sanitarios 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; y 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.

En 2011 se estimó que 72% del volumen generado de RSU en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados, el 23% se depositó en sitios no controlados y el restante 5% se recicló (Figura 7.12; Cuadro D3\_RSM01\_09\_D; IB 4-3). El porcentaje depositado en rellenos sanitarios y sitios controlados representa un incremento de alrededor de 77% con respecto al año 1997, si se considera que en este último cerca del 41% se depositaba en este tipo de sitios. Si se analiza por entidad federativa, en 2011 el Distrito Federal, Aguascalientes y Quintana Roo dispusieron la totalidad de sus residuos en rellenos sanitarios (Mapa 7.4). Sin embargo, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Veracruz dispusieron menos del 40% de sus residuos en este tipo de sitios (Cuadro D3\_RSM01\_09\_D).



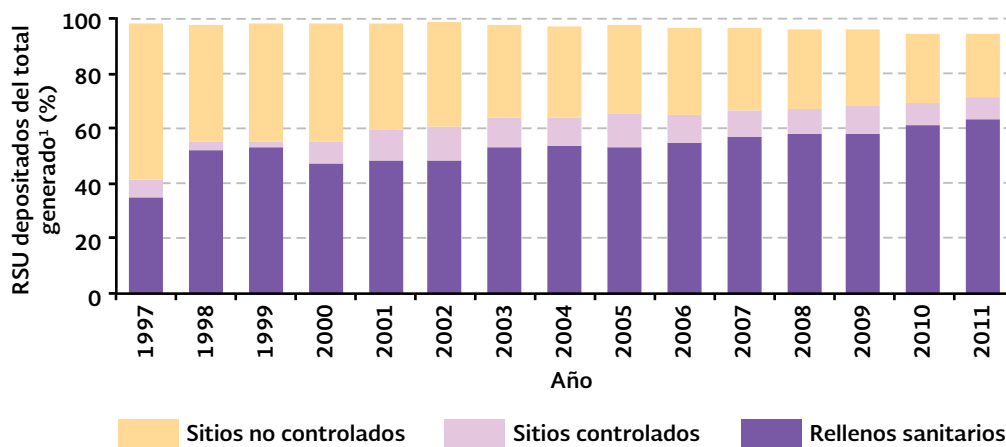
El número de rellenos sanitarios en el país ha crecido de manera significativa en los últimos años. Entre 1995 y 2011 su número se incrementó de 30 a 196, pasando la capacidad de almacenamiento total de 5.95 a 26.14 millones de toneladas (Figura 7.13; IB4-4). En 2011, se contaba además en el país con 20 rellenos de tierra controlados. En la actualidad, todas las entidades cuentan con rellenos sanitarios para disponer sus residuos; los estados que cuentan con más rellenos son Puebla (17), Nuevo León (14), Guanajuato (12) y Tamaulipas (11), mientras que el Distrito Federal y Aguascalientes cuentan con un relleno sanitario (Mapa 7.5; Cuadro D3\_RSM01\_07\_D).



En general, los avances en materia de rellenos sanitarios se han dado principalmente en las grandes ciudades. Cuando se analiza la disposición adecuada de los residuos por tipo de localidad, en 2011 el 90% de las zonas metropolitanas disponían adecuadamente sus residuos, es decir, en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que tan sólo el 13% en las localidades rurales o semiurbanas lo hacía de la misma manera (Figura 7.14; Cuadro D3\_RSM01\_08\_D).

### Disposición final de los RSU del total generado, 1997 - 2011

Figura 7.12



**Nota:**

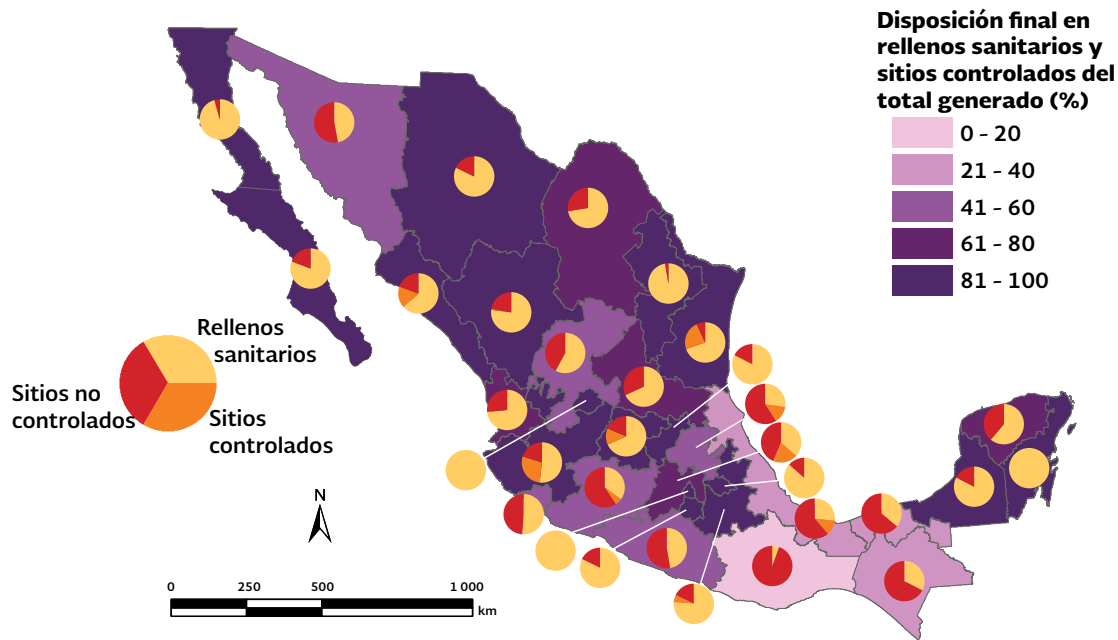
<sup>1</sup> Los porcentajes no alcanzan el 100% debido a que una pequeña proporción de los residuos es reciclada antes de ser dispuesta.

**Fuente:**

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

## Disposición final de los RSU en rellenos sanitarios y sitios controlados por entidad federativa, 2011

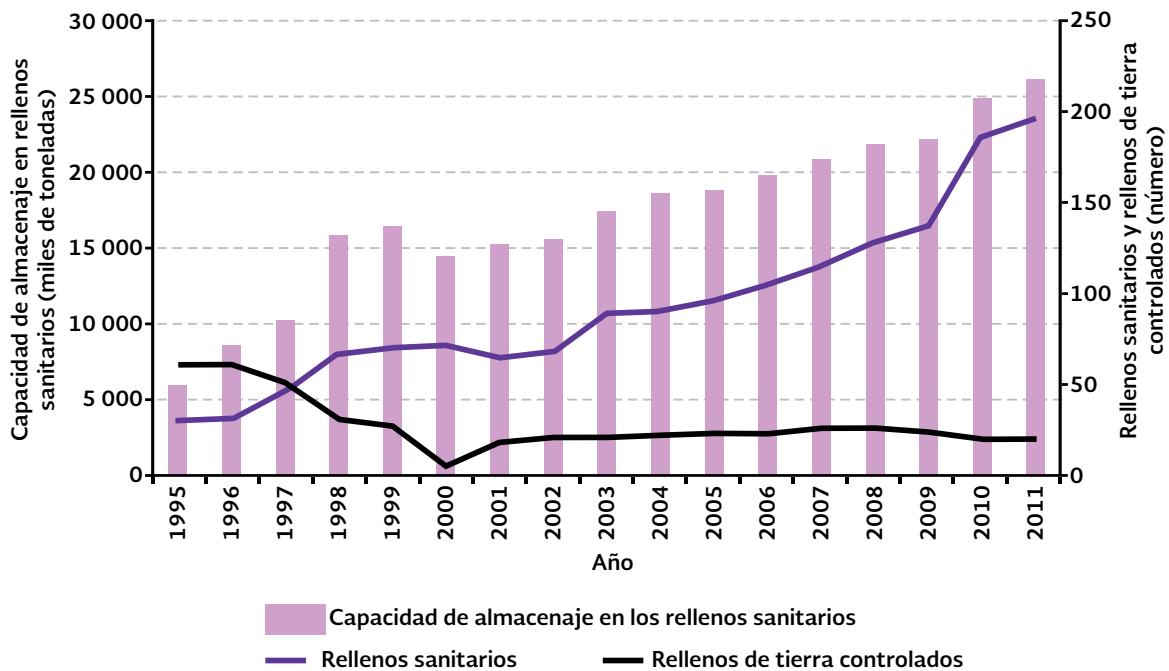
Mapa 7.4



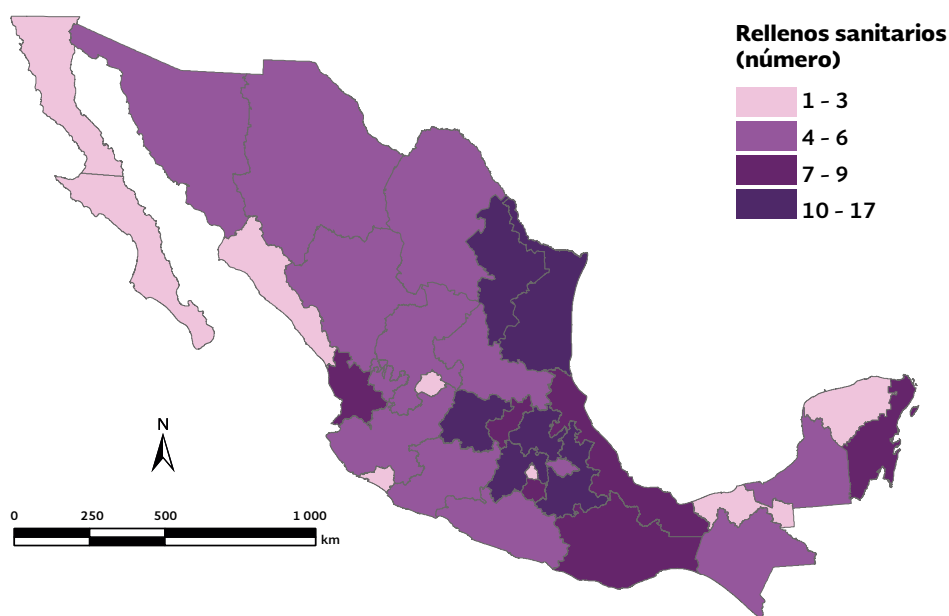
Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

## Rellenos sanitarios y de tierra controlados en México, 1995 - 2011

Figura 7.13



Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.



**Fuente:** Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

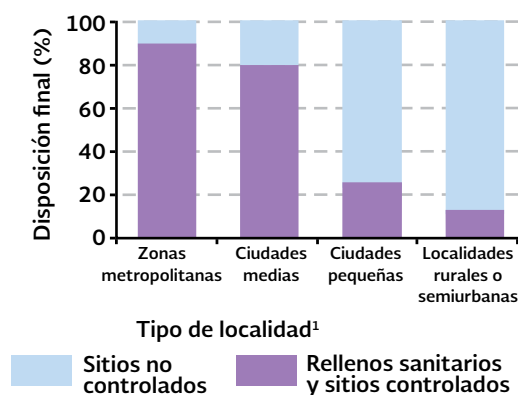
## RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL

Los Residuos de Manejo Especial (RME) están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) como aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 2003).

Debido a la reciente regulación de este tipo de residuos, en la actualidad sólo se cuenta con información de los volúmenes de generación para ciertos tipos, obtenidos a través de estudios específicos. El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, publicado por el INECC en 2012, reporta que para el periodo 2006-2012, la disponibilidad de información sobre la generación de RME sólo abarca seis de las ocho categorías en las que la LGPGIR los clasifica, además de una categoría adicional para otros tipos de residuos (ver el Recuadro *Origen de los residuos de manejo especial*). Para el citado

## Disposición final de los RSU en rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados por tipo de localidad, 2011

Figura 7.14



**Nota:**

<sup>1</sup> Para la Sedesol, las zonas metropolitanas son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a 1 000 000 de habitantes. Las ciudades medias corresponden a todas aquellas que forman una parte del "Programa 100 ciudades" y las incluidas en los planes estratégicos de los gobiernos de los estados. Las ciudades pequeñas son aquellas mayores a 15 000 habitantes y no incluidas en las denominadas 100 ciudades y, finalmente, las localidades rurales o semiurbanas corresponden a las que tienen una población menor a 15 000 habitantes.

**Fuente:**

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2012.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos clasifica a los residuos de manejo especial en ocho categorías según su origen:

1) Los residuos 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.

2) Los de 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.

3) Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades.

4) Residuos de 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.

5) Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.

6) Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes.

7) Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general.

8) 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.

**Referencia:**

DOF. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2003 (8 de octubre).

periodo, el mayor volumen de generación anual promedio correspondió a las excretas de ganado (porcino y bovino lechero; cerca de 66.7 miles de toneladas), seguido por papel y cartón (6 820 toneladas) y los residuos de la construcción y demolición (6 111 toneladas; Figura 7.15). En contraste, los RME que se produjeron en menor volumen anual promedio fueron los electrodomésticos

(22 toneladas), las pilas (34 toneladas) y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (232 toneladas). En el caso de los automóviles que terminan su vida útil, en el mismo periodo se desecharon en promedio 805 202 unidades por año. Las categorías de las que aún no se dispone de información sobre su generación son las que corresponden a los residuos de rocas o los productos de su



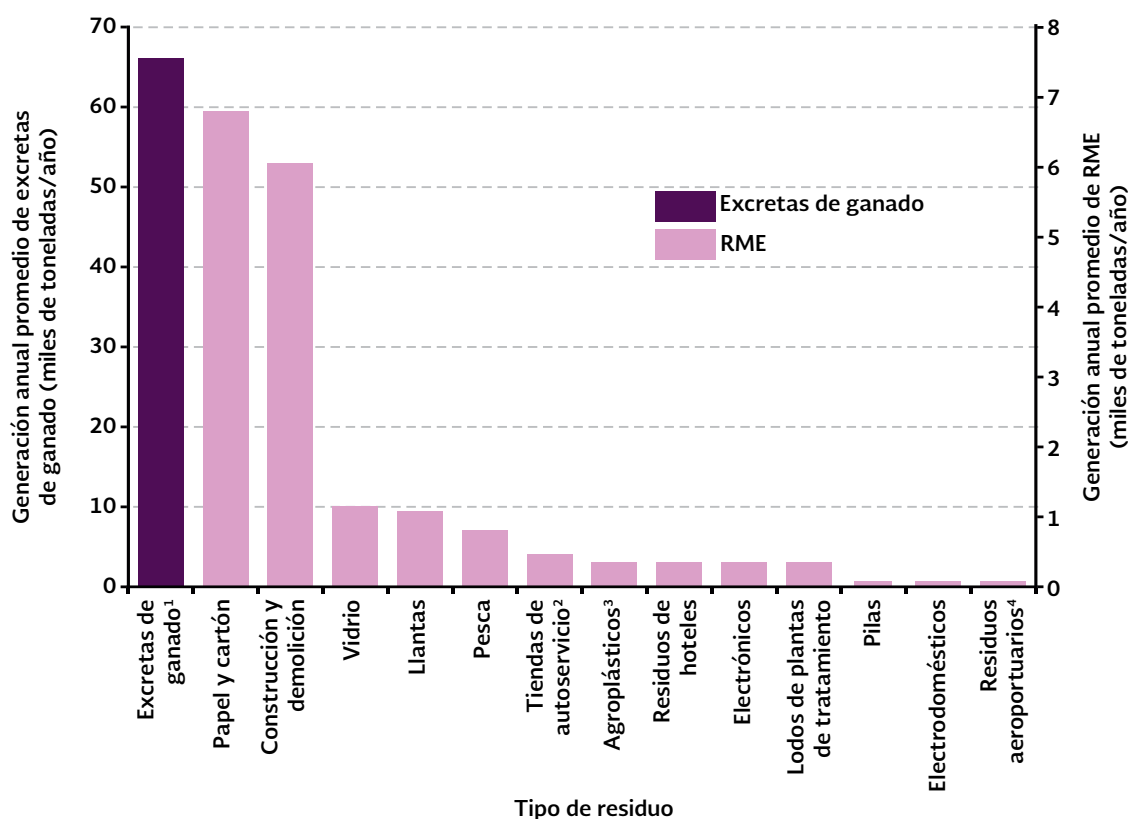
descomposición y la de los residuos de salud (sin considerar a los biológico-infecciosos que se consideran como residuos peligrosos).

Al igual que en el caso de la generación, la información sobre el destino final de los RME es aún escasa. No obstante, el Diagnóstico Básico citado anteriormente reporta que el 67.4% de los residuos aeroportuarios<sup>4</sup> producidos entre 2006 y 2012 fue dispuesto en rellenos sanitarios o sitios controlados, así como el 32% de los residuos de tiendas de autoservicio, el 11% de los residuos de papel

y cartón y el 98.5% de los residuos de hoteles (INE, 2012). No obstante, para algunos de los RME se puede aprovechar anualmente una parte de su volumen generado: en el periodo citado se aprovechó anualmente 68% de los producidos en las tiendas de autoservicio, 49% del papel y cartón, 32.2% de los residuos aeroportuarios, 4% de los residuos de actividades pesqueras, 3.1% de las pilas y 1.5% de los residuos de hoteles (ver los Recuadros *Los residuos de aparatos electrodomésticos* y *La problemática de las pilas*).

**Generación anual promedio de RME en México, 2006 - 2012**

**Figura 7.15**



**Notas:**

<sup>1</sup> Las excretas corresponden a ganado porcino y bovino lechero.

<sup>2</sup> Los residuos de las tiendas de autoservicio sólo incluyen a Walmart.

<sup>3</sup> Los agroplásticos son los desechos como malla sombra, mallas antigranizo y bolsas para cultivo hidropónico, entre otros, provenientes de actividades agrícolas.

<sup>4</sup> Los residuos aeroportuarios sólo incluyen los producidos en el Aeropuerto de la Ciudad de México.

**Fuente:**

INE, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México. 2012.

<sup>4</sup> Este volumen sólo considera los RME del Aeropuerto de la Ciudad de México.

Los aparatos electrodomésticos son elementos importantes de la vida cotidiana en muchos países del mundo. Destacan por su importancia los refrigeradores, estufas de gas, lavadoras, secadoras de ropa, hornos de microondas, licuadoras y las tostadoras, entre muchos otros. Para su fabricación se emplean, además de grandes cantidades de plásticos, diversos metales (por ejemplo, plomo o aluminio) que pueden resultar peligrosos para la salud humana y los ecosistemas en caso de ser desechados de manera inadecuada al ambiente.

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, publicado por el INECC en 2012, se estima que en México entre 2009 y octubre de 2012, se generaron entre 21 348 y 21 937 toneladas de desechos de electrodomésticos (Figura a). De ese volumen, la mayoría

correspondió a los electrodomésticos de pequeño tamaño (cerca del 96%), es decir, planchas, secadoras de pelo, aspiradoras, tostadoras, freidoras, extractores, cafeteras, picadoras y batidoras (Semarnat, 2012); mientras que el restante 4% correspondió a los de gran tamaño (como estufas de gas, refrigeradores, lavadoras, secadoras de ropa, congeladores, aires acondicionados, ventiladores, calentadores y hornos de microondas).

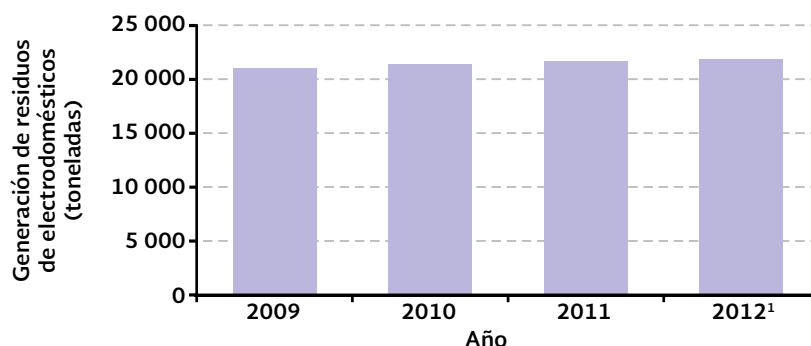
Con respecto a su composición, predominan en los electrodomésticos desechados (tanto grandes como pequeños), los plásticos, los materiales epóxicos y los metales (principalmente el hierro, cobre y aluminio).

**Referencia:**

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México. 2013.

**Generación de residuos de aparatos electrodomésticos en México, 2009 - 2012**

Figura a



**Nota:**

<sup>1</sup> Datos a octubre de 2012.

**Fuente:**

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México. 2013.

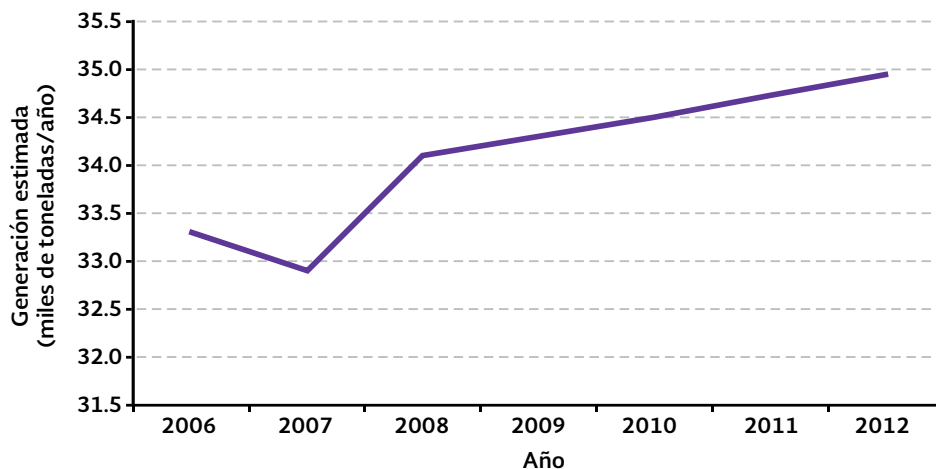
El aumento en el desarrollo de la tecnología portátil ha sido uno de los factores más importantes para detonar la demanda y, por ende, el desecho de pilas y baterías a nivel mundial. Generalmente, las pilas son arrojadas junto con el resto de los residuos domiciliarios en tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios, terrenos baldíos o cauces de agua. Cuando sus cubiertas se corroen, ya sea por sus componentes internos o por factores externos, tales como la lluvia, los cambios de temperatura y el proceso de descomposición de la basura, puede producirse el derrame de los electrolitos internos, liberándose entonces diversas sustancias, como los metales pesados (mercurio, níquel, cadmio y litio) que pueden contaminar el suelo y el agua.

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (INECC, 2012), se estima que entre 2006 y 2012 se generaron en el país en promedio anualmente cerca de 34 122 toneladas de pilas, es decir, aproximadamente 1 534 millones de piezas (Figura a). Esto significa que, considerando la población nacional del 2010, cada habitante del país genera en promedio al año el equivalente a 307 gramos de pilas. Del total de pilas generado en el periodo, el 70.1% correspondió a pilas de carbón-zinc, 19% a pilas alcalinas, 6.2% a pilas de litio y el restante 4.7% a pilas de óxido de mercurio, zinc-aire y óxido de plata.

Aunque no se tienen documentados casos de efectos directos de las pilas sobre la

**Generación estimada de pilas en México, 2006 - 2012**

**Figura a**



**Fuente:**  
INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México. 2013.

salud humana, sí se cuenta con evidencia de que algunas sustancias que se pueden liberar en el proceso de descomposición de las pilas, pueden causar daños a la salud. Por ejemplo, el metilmercurio (que se produce a partir del mercurio en presencia del agua), puede atravesar la placenta y provocar daños irreversibles en el cerebro de los fetos. En los lactantes, a través de la leche contaminada, puede provocar problemas de retraso en el desarrollo mental, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. 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:**

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos*. México. 2013.

## RESIDUOS PELIGROSOS

La gran diversidad de sustancias químicas que existe en la actualidad, si bien es cierto que ha servido para mejorar significativamente el nivel de vida de la población, también ha ejercido una presión importante sobre el medio ambiente y la salud humana (ver el Recuadro *Las sustancias químicas en números*). Una vez finalizada la vida útil de muchos de los productos que se fabrican a partir de estas sustancias o que las contienen, se convierten en desechos que ponen en riesgo la salud de las personas o pueden causar daños al medio ambiente. Entre estos desechos se encuentran los residuos peligrosos, definidos como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). La norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento

de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

## 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 han sido diversas, y se han basado fundamentalmente en la información reportada por las empresas que generan o tratan este tipo de residuos.

La aproximación más reciente sobre el volumen de generación de RP para el país se obtiene a partir de los registros que hacen las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos (PGRP) a la Semarnat. Según la información contenida en dicho registro, para el periodo 2004-2011, las 68 733 empresas registradas generaron 1.92 millones de toneladas (Semarnat, 2012; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_01](#)). Esta cifra, sin embargo, no debe considerarse como el volumen total de RP generados en el país en

Las sustancias químicas se encuentran por doquier, todos los seres vivos están constituidos por ellas y es difícil concebir alguna actividad en la sociedad moderna en la cual no intervengan o hayan intervenido productos químicos, tanto en el hogar como en los lugares de trabajo e incluso en las actividades de recreación. De allí que se considere que numerosas sustancias son o han sido la base del progreso y su aprovechamiento, en una gran diversidad de procesos productivos, es identificado como un factor que genera negocios, ingresos y empleos (Yarto *et al.*, 2003).

A nivel mundial, a julio de 2012 se habían identificado alrededor de 67 295 000 sustancias químicas y se calcula que aproximadamente 15 000 sustancias nuevas son incorporadas diariamente al registro del *Chemical Abstract Service* (CAS) de los Estados Unidos (CAS, 2012). Estas sustancias permiten controlar plagas, curar enfermedades, preservar alimentos, generar energía e intervienen en multitud de actividades productivas para la generación de bienes (INE, 2003). Sin embargo, estas sustancias pueden traer consigo también riesgos para la salud humana y el medio ambiente, muchas veces debido a su inadecuado manejo. 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, además de que su manejo inapropiado puede ocasionar accidentes graves como explosiones, derrames e incendios.

Por lo anterior, los gobiernos de muchos países han trabajado en el desarrollo de instrumentos regulatorios y de información para la prevención o minimización de los efectos adversos de las sustancias químicas. Entre los instrumentos regulatorios se encuentran los inventarios creados para conocer el universo de las sustancias químicas que se comercializan en un país. En términos generales, se definen como una lista de sustancias químicas que son producidas en o importadas a un país y que se encuentran ligadas a algún tipo de registro que avala su comercialización.

Para el caso de México, el Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat ha trabajado en la elaboración del Inventario Nacional de Sustancias Químicas (INSQ), constituido inicialmente como un instrumento de información y conformado a partir de fuentes secundarias de información (Cédula de Operación Anual, pedimentos aduanales, datos de la Asociación Nacional de la Industria Química, entre otras). A la fecha, el inventario cuenta con una lista de 5 816 sustancias químicas identificadas en el comercio nacional. Éste contiene datos sobre la identidad química, los volúmenes de producción e importación y datos ecotoxicológicos de las sustancias. Debido a que el procedimiento que ha dado origen al INSQ se basa en fuentes de información existentes y no en un registro obligatorio, dicho inventario no refleja el universo completo de sustancias. Se estima que incorpora aproximadamente la tercera parte de las sustancias que se comercializan en el país.

Al comparar el INSQ con el inventario de sustancias químicas de Estados Unidos (conocido como el Inventario TSCA), con el de Canadá (denominado Lista de Sustancias Nacionales, *Domestic Substance List*, DSL, por sus siglas en inglés), y la lista de sustancias registradas por la Unión Europea, se encuentra que el 71% de las sustancias del INSQ se encuentran en el Inventario TSCA, el 60% en el inventario de Canadá y el 22% en la lista de sustancias registradas en Europa (Tabla 1).

Con el objeto de identificar sustancias químicas que potencialmente pudieran

representar un riesgo al medio ambiente, se aplican criterios de relevancia ambiental tales como la persistencia<sup>1</sup>, la bioacumulación<sup>2</sup> y la toxicidad<sup>3</sup> para los organismos terrestres y acuáticos. Considerando las sustancias en común entre el INSQ y la DSL de Canadá, aunado a la información ecotoxicológica disponible para las sustancias de la DSL (Environment Canada, 2012), se identifica que 858 sustancias del INSQ son persistentes y/o bioacumulables y tóxicas a organismos acuáticos, y 417 son inherentemente tóxicas para los humanos. Asimismo, de las 84 sustancias que la Unión Europea

### Comparación de inventarios y listas de sustancias

Tabla 1

Nombre del inventario o lista de sustancias químicas	Número de sustancias	Número de sustancias coincidentes con el INSQ
Inventario Nacional de Sustancias Químicas (INSQ) <sup>1</sup>	5 816	-
Inventario de Estados Unidos (Inventario TSCA) <sup>2</sup>	Aproximadamente 83 000	4 147
Lista de Sustancias Nacionales de Canadá (DSL, por sus siglas en inglés) <sup>3</sup>	Aproximadamente 23 000	3 498
Lista de sustancias registradas por la Unión Europea <sup>4</sup>	5 306	1 297

**Notas:**

<sup>1</sup> INE, Semarnat. Inventario Nacional de Sustancias Químicas. INSQ.

<sup>2</sup> Inventario TSCA (EPA, 2012): incluye las sustancias inventariadas hasta 2009.

<sup>3</sup> DSL (*Environment Canada*, 2012): incluye las sustancias inventariadas hasta 2006.

<sup>4</sup> ECHA (ECHA, 2012): incluye las sustancias registradas hasta junio de 2012.

<sup>1</sup> Es la capacidad de una sustancia química para permanecer en el ambiente durante un tiempo prolongado después de su liberación, manteniendo sus características de peligrosidad.

<sup>2</sup> Es el proceso por el cual la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de él aumenta proporcionalmente con el tiempo de exposición.

<sup>3</sup> Es la capacidad intrínseca de una sustancia química para causar daño a los seres vivos, desde el organismo individual hasta el nivel de ecosistema.

considera de muy alta preocupación, debido a que son sustancias que pueden tener efectos serios y frecuentemente irreversibles sobre la salud humana y el medio ambiente, 50 de estas sustancias se listan en el INSQ.

De acuerdo con el CAS se tiene conocimiento de que a la fecha sólo se han inventariado en comercio 295 096 sustancias químicas a nivel mundial (CAS, 2012), para las cuales existe información limitada sobre sus riesgos a la salud humana y el medio ambiente. Con la finalidad de subsanar estos vacíos de información y evaluar los riesgos de las sustancias que entran al mercado, algunos países han implementado un proceso de registro bajo dos esquemas principales:

1) Las autoridades nacionales deben demostrar qué sustancias químicas representan riesgos a la salud humana o al medio ambiente, para así autorizar su uso bajo ciertas condiciones. Las sustancias nuevas que entrarán al mercado están sujetas a disposiciones más estrictas que las que se encuentran en el mercado (sustancias existentes).

2) Los importadores y productores deben evaluar los riesgos a la salud o al ambiente de las sustancias químicas que comercializan o de aquellas sustancias nuevas que pretendan introducir al mercado. Bajo este esquema, los requerimientos de registro son iguales para las sustancias nuevas y existentes, es decir, no existe distinción entre éstas.

Se reconoce la necesidad de implementar en el país un procedimiento de registro que permita prevenir y minimizar los riesgos de las sustancias químicas, y a su vez, permita actualizar y complementar el INSQ. Este procedimiento tendría que considerar las características del mercado nacional de sustancias químicas y tomar ventaja de la información de relevancia ambiental generada a nivel internacional. Actualmente se cuenta con un registro de plaguicidas y nutrientes vegetales; no obstante, la regulación ambiental actual se enfoca principalmente en el control de sustancias peligrosas para abatir la contaminación ambiental.

Otro instrumento de información sobre sustancias químicas de gran relevancia lo constituye el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), que periódicamente reporta la emisión y transferencia al agua, aire, suelo y subsuelo de 104 sustancias consideradas de prioridad nacional, debido a que pueden ser persistentes y/o bioacumulables, tóxicas, carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas. El RETC se actualiza de la información recopilada a través de la Cédula de Operación Anual, que es un reporte obligatorio para las industrias de jurisdicción federal (Semarnat, 2012). Actualmente, la Semarnat trabaja en la creación de una norma oficial mexicana para ampliar el número de sustancias sujetas a reporte y establecer el mecanismo para incorporar sustancias adicionales al registro.

## Iniciativas internacionales firmadas por México

Tabla 2

Nombre del convenio o iniciativa internacional	Objetivo	Fecha de entrada en vigor
Convenio de Basilea	Controlar el movimiento transfronterizo de residuos y materiales reciclables peligrosos y promover su manejo ambientalmente adecuado	1992
Convenio de Rotterdam	Promover la responsabilidad compartida en el comercio internacional de ciertas sustancias químicas peligrosas y fomentar su manejo racional a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente	2004
Convenio de Estocolmo	Proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos de los Contaminantes Orgánicos Persistentes	2004
Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel Internacional <sup>1</sup>	Minimizar significativamente los riesgos por el uso y producción de las sustancias químicas para el 2020	2006
<b>Nota:</b> <sup>1</sup> Iniciativa voluntaria.		

En la agenda internacional, México es signatario de múltiples iniciativas internacionales vinculantes enfocadas a proteger la salud de las personas y los ecosistemas, de los efectos adversos de las sustancias químicas (Tabla 2). Particularmente, México participó en la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (PNUMA, 2012), celebrada en junio de 2012, en la que se reconoció que una gestión racional de las sustancias químicas es fundamental para la protección de la salud humana y el medio ambiente. Asimismo, se reafirmó el compromiso de México y de los demás países signatarios de la iniciativa voluntaria denominada Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel

Internacional (SAICM, por sus siglas en inglés), para cumplir en el 2020 con el objetivo de minimizar significativamente los impactos adversos de las sustancias químicas derivados de su uso y producción.

**Referencias:**

Chemical Abstract Service (CAS). CAS Registry and CAS Registry Numbers. 2012. Disponible en: [www.cas.org/expertise/cascontent/registry/regsyst.html](http://www.cas.org/expertise/cascontent/registry/regsyst.html). Fecha de consulta: julio de 2012.



Environment Canada. 2012. CEPA DSL Categorization: Overview and Results. Canadá. Disponible en: [www.ec.gc.ca/lcpe-cepa](http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa).

EPA. 2012. TSCA Chemical Substance Inventory. Disponible en: [www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/tscainventory/index.html](http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/tscainventory/index.html). Fecha de consulta: julio de 2012.

European Chemicals Agency (ECHA). 2012. Substances of Very High Concern identification. Disponible en: <http://echa.europa.eu/addressing-chemicals-of-concern/authorisation/substances-of-very-high-concern-identification>. Fecha de consulta: julio de 2012.

PNUMA. *El futuro que queremos. Conferencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro*. Documento A/CONF.216/L.1. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Brasil. 2012.

Semarnat. 2012. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Disponible en: [www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/retc.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/retc.aspx). Fecha de consulta: septiembre de 2012.

Yarto-Ramírez M., Ize-Lema I., Gavilán-García A. 2003. El universo de las sustancias química peligrosas y su regulación para un manejo adecuado. *INE-Gaceta Ecológica* 69: 57-66. 2003.

**Autoras:**

Leonor Cedillo y Teresita Romero  
Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos.  
Instituto Nacional de Ecología, Semarnat.

ese periodo, debido a que el PGRP no incluye a la totalidad de las empresas que producen estos residuos en el territorio. Las diferencias entre esta última estimación de generación de RP con las reportadas en años anteriores (Tabla 7.1), se deben principalmente a: 1) el número de empresas y delegaciones que se usaron para calcular el volumen generado; 2) la depuración del padrón y la revisión de los reportes de generación de las delegaciones que permitieron eliminar las duplicidades en las empresas, así como a 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-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* en la Edición 2008 del Informe).

El mayor volumen de generación de RP correspondió a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM; 584 666, es decir, poco más del 30% del volumen total generado), seguido por Chihuahua (342 650, 18%), Campeche (210 037, 11%), Tamaulipas (146 993, 8%) y Nuevo León (128 849, 7%; Mapa 7.6). En contraste, los estados que reportaron menores volúmenes de RP fueron Nayarit (1 190), Baja California Sur (1 414), Chiapas (1 555) y Tlaxcala (1 586), que en conjunto aportaron el 0.3% del total nacional.

Las industrias generadoras de RP que mayores volúmenes generaron entre 2004 y 2011 fueron la química (201 782 t; 10.5% del total de RP generados), metalúrgica (186 393 t; 9.7%), automotriz (170 194 t; 8.9%), servicios mercantiles (111 907 t; 5.8%) y la de equipos y artículos electrónicos (85 283 t; 4.4%; Figura 7.16).

Año	Generación estimada (millones de toneladas)	Base de la información
1996 <sup>a</sup>	2.1	3 000 empresas
1999 <sup>a</sup>	3.2	12 514 empresas
2000 <sup>a</sup>	3.7	27 280 empresas
2004 <sup>a</sup>	6.2	35 304 empresas
2004 - 2011 <sup>b</sup>	1.92	68 733 empresas

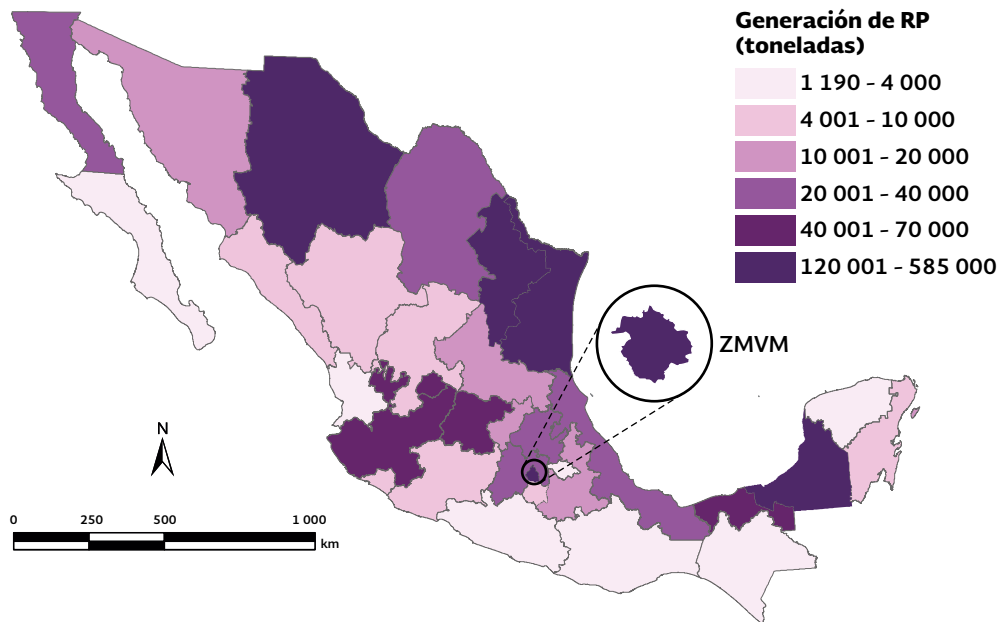
**Fuentes:**

<sup>a</sup> Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2005. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2005.

<sup>b</sup> Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

Generación de RP reportada por las empresas incorporadas al Padrón de Generadores de RP, 2004 - 2011

Mapa 7.6

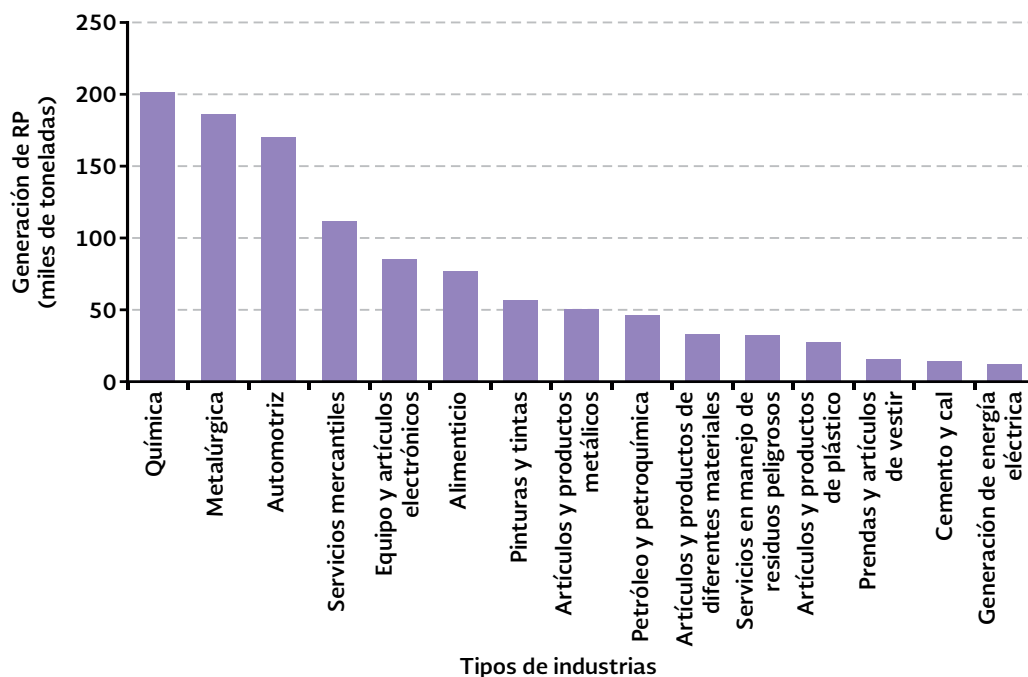


**Fuente:**

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

**Generación de RP reportada por los principales tipos de industrias generadoras, 2004 - 2011**

**Figura 7.16**



**Fuente:**

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

Si se examina la generación en función de la categoría del generador<sup>5</sup> (micro, pequeño y gran generador) y sector de actividad, para el periodo 2004-2011, los 38 194 microgeneradores (56% del total de generadores) produjeron 10 948 toneladas (apenas el 0.6% del volumen total reportado para el periodo); los pequeños generadores (24 772 empresas, 36%) reportaron una generación de 71 215 toneladas (3.7%) y los grandes generadores (5 767 empresas, 8%), produjeron 1 838 246 toneladas, que equivalen al 95.7% del total (Semarnat, 2012; Figura 7.17; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_01](#)).

En cuanto a la distribución geográfica de las empresas generadoras de RP del PGRP, la

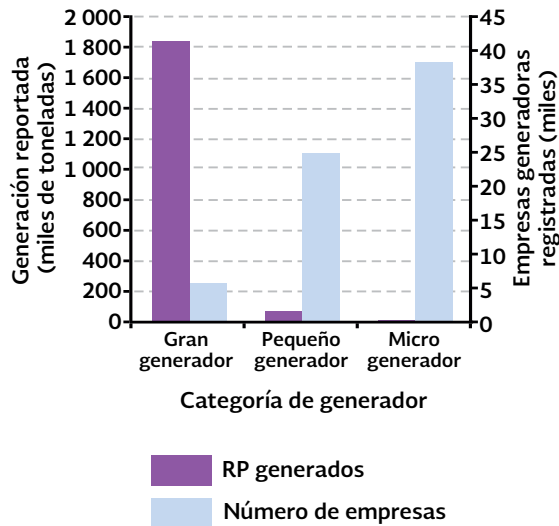
Zona Metropolitana del Valle de México fue la que reportó el mayor número entre 2004 y 2011 (10 589 empresas, 15.4% del total), seguida por entidades como Jalisco (6 979 empresas, 10.2%), Baja California (4 416, 6.4%), Chihuahua (3 545, 5.2%) y el estado de México (3 379, 4.9%; Mapa 7.7); entre ellas produjeron poco más del 55% de los RP del periodo. En contraste, las entidades con menor número de empresas fueron Tlaxcala (433, 0.6% del total de empresas), Nayarit (531, 0.8%), Quintana Roo (601, 0.9%) y Zacatecas (674, 1%; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_01](#)).

El mayor porcentaje de las micro y pequeñas generadoras de RP se encontraron en la Zona

<sup>5</sup> De acuerdo con la generación registrada, las empresas se clasifican en: 1) microgeneradores, que corresponden a los establecimientos industriales, comerciales o de servicios que generan hasta cuatrocientos kilogramos de RP anuales; 2) pequeños generadores, los que generan volúmenes iguales o mayores a cuatrocientos kilogramos y menores a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año; y 3) grandes generadores, que generan volúmenes iguales o superiores a las 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año.

**Generación de RP reportada, según categoría de generador, por las empresas registradas en el Padrón de Generadores de RP, 2004 - 2011**

Figura 7.17



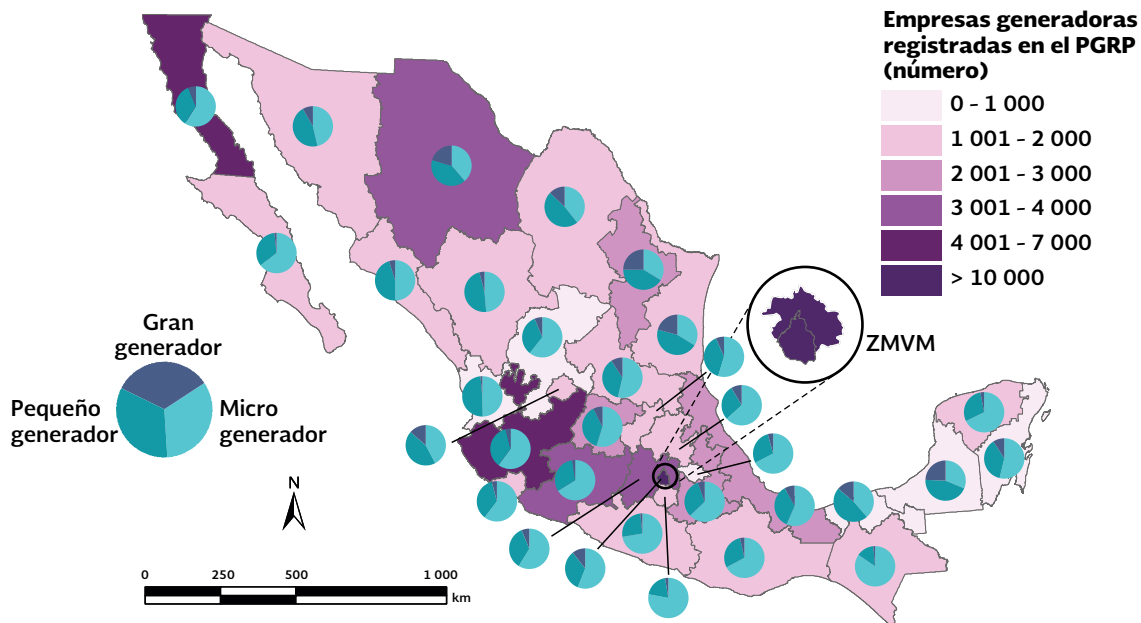
**Fuente:**  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. 2012.

Metropolitana del Valle de México (15%), Jalisco (10.7%) y Baja California (6.6%), en conjunto contabilizaron el 32.3% de ellas. En el caso de las grandes generadoras, el 43% de las empresas se concentró en la Zona Metropolitana del Valle de México y los estados de Chihuahua y Nuevo León.

Por tipo de residuo, entre 2004 y 2011, las mayores fracciones de generación correspondieron a los residuos sólidos, que incluyen residuos de mantenimiento automotriz, asbesto, telas, pieles y metales pesados, entre otros (886 715 toneladas, esto es, 46.2% del total generado), seguidos por los aceites gastados (410 532; 21.4%), lodos (156 025; 8.1%), biológico-infecciosos (145 410; 7.6%) y solventes (65 470; 3.4%). Los RP que menos se generaron fueron las breas (571.5 t; 0.03% del total generado), las sustancias corrosivas (19 866 t; 1%) y las escorias (28 086 t; 1.5%; Figura 7.18; Cuadro D3\_RESIDUOP01\_20).

**Empresas registradas en el Padrón de Generadores de RP según tipo, 2004 - 2011**

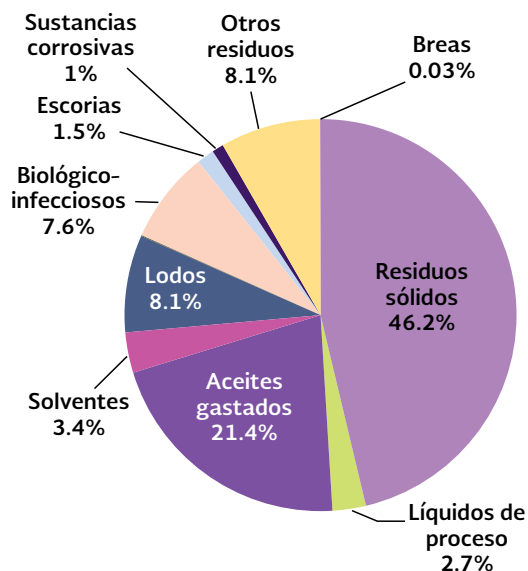
Mapa 7.7



**Fuente:**  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

### Generación de RP reportada al Padrón de Generadores de RP, por tipo, 2004 - 2011

Figura 7.18

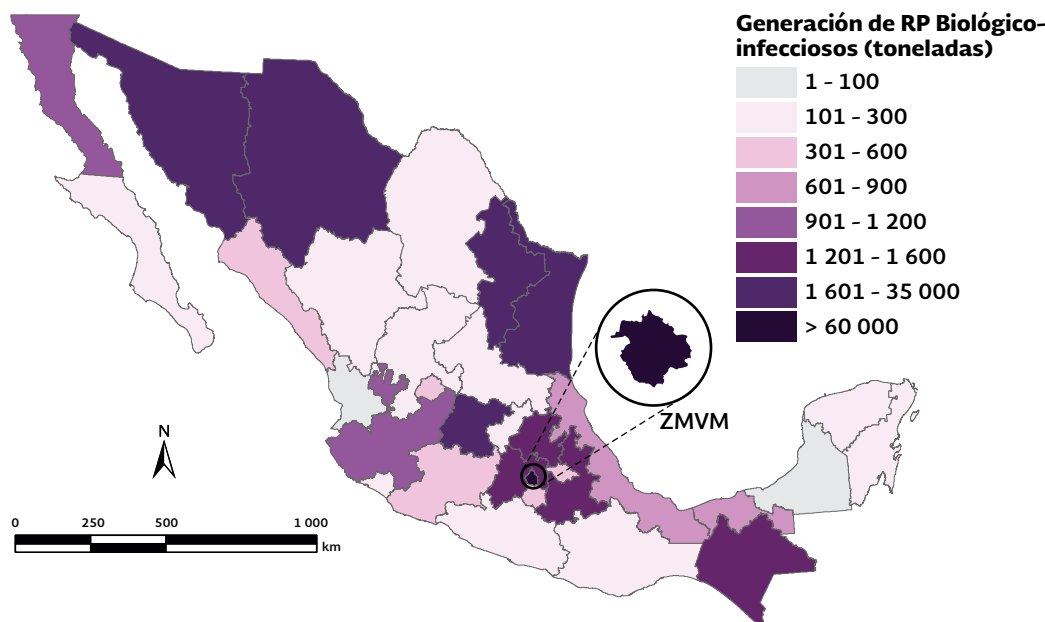


**Fuente:**  
 Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

Debido a los riesgos que representan para la salud, los residuos biológico-infecciosos (RP-BI) son de gran importancia. Entre ellos se encuentran los que se producen en las instalaciones hospitalarias y las que brindan otros servicios de salud, destacando los cultivos y cepas de microorganismos, objetos punzocortantes, muestras patológicas y sangre, entre otros. En el periodo 2004-2011, su volumen de generación representó 7.6% del total de los RP generados nacionalmente, lo que equivale a 145 410 toneladas. El 89% de la generación reportada de este tipo de residuos se concentró en unas cuantas entidades federativas (Chihuahua, Nuevo León, Guanajuato y Tamaulipas) y en la ZMVM (Mapa 7.8). Por tipo de RP-BI generado, el 57.7% correspondió a los no anatómicos, seguidos de los patológicos (20.5%), los objetos punzocortantes (14.7%), la sangre (3.9%) y los cultivos y cepas (3.2%; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_20](#)).

### Volumen de generación de RP Biológico-infecciosos reportado al Padrón de Generadores de RP, 2004 - 2011

Mapa 7.8



**Fuente:**  
 Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

## MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO DE RESIDUOS PELIGROSOS

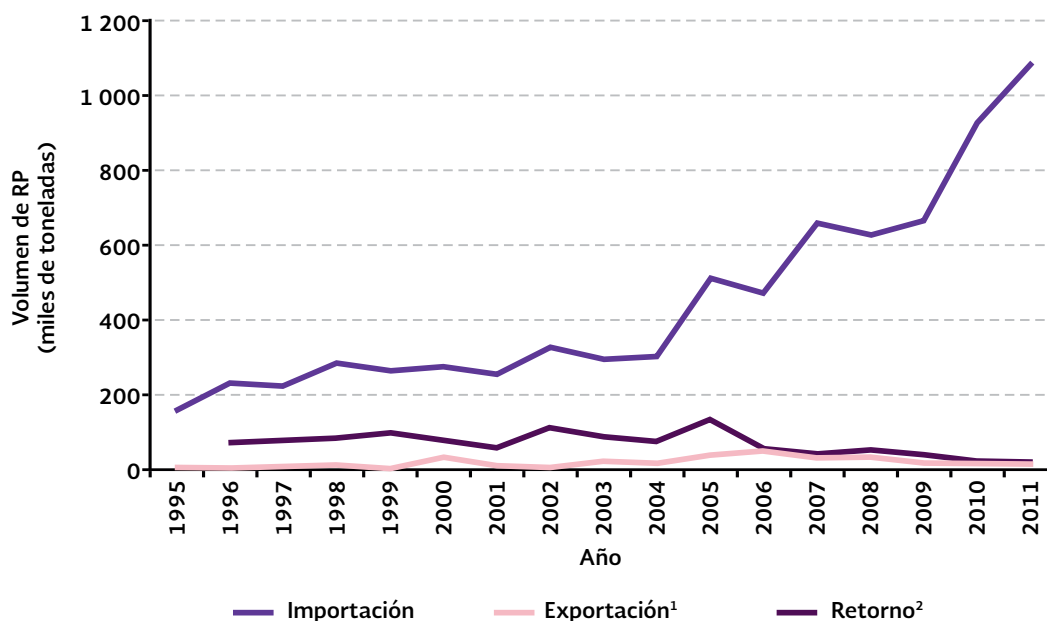
Dentro del manejo integral de algunos RP está su movimiento entre países. La importación, exportación o tránsito de estos residuos se presenta básicamente cuando se busca su tratamiento, reciclaje o reuso en algunos de los países involucrados, siempre y cuando se cuente con la aceptación o el consentimiento del país que los recibe.

En el caso del movimiento de RP entre México y Estados Unidos, 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 que 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 que deberán retornarse al país de origen. Entre 1995 y 2011 se observó una tendencia creciente en la importación desde los Estados Unidos de RP para su reciclaje y reutilización: pasó de poco más de 158.5 miles a 1.08 millones de toneladas (Figura 7.19). Del total de las importaciones, 98.3% del volumen correspondió a residuos sólidos y acumuladores y el restante 1.7% a residuos líquidos, llantas y tambores (Figura 7.20).

Por su parte, entre 1996 y 2011, los RP que entraron en la categoría de retorno acumularon un total de 1.11 millones de toneladas, con un promedio anual de poco más de 69.6 mil toneladas. En el caso de las exportaciones, sumaron en el mismo periodo poco más de 330 mil toneladas, con un promedio anual de 19 421 toneladas

**Movimiento transfronterizo de RP entre México y los Estados Unidos, 1995 - 2011** Figura 7.19



**Notas:**

<sup>1</sup> No se incluyen los recortes de perforación del periodo de 1998-2007.

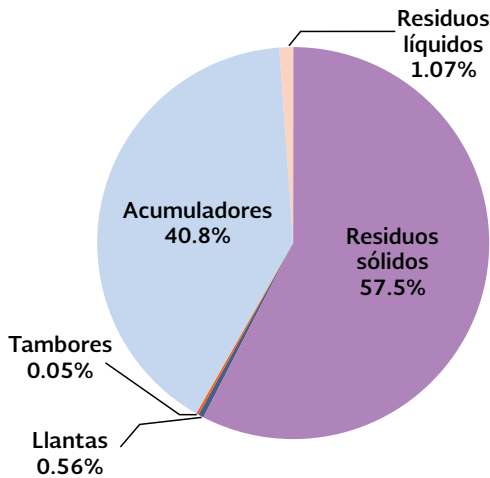
<sup>2</sup> El retorno de RP ocurre cuando se importan de manera temporal productos, equipos, maquinaria en cualquier otro insumo que será manufacturado, reciclado, reprocesado y que generan residuos peligrosos que deberían retornarse al país de origen.

**Fuente:**

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México, 2012.

### Importación de RP de Estados Unidos, por tipo, 1995 - 2011

Figura 7.20



**Fuente:**  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

(Cuadros D3\_RESIDUOP01\_02; D3\_RESIDUOP01\_03 y D3\_RESIDUOP01\_04).

En el caso de las exportaciones, del periodo 1995-2011, el mayor volumen correspondió a los recortes de perforación<sup>6</sup> (3 909 473 toneladas; 92.2% del total exportado), seguidos por los residuos sólidos (251 796, 5.9%), residuos hexaclorados (26 725; 0.6%) y baterías (22 897; 0.5%; Figura 7.21; Cuadros D3\_RESIDUOP01\_02 y D3\_RESIDUOP01\_03).

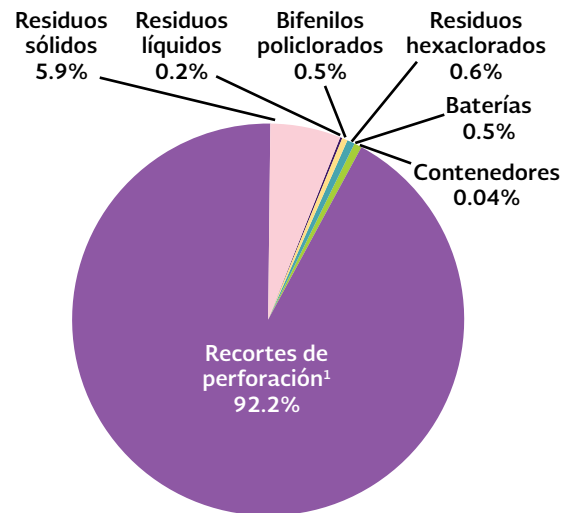
En el caso de los movimientos transfronterizos de RP con otras naciones, durante el periodo 2003-2011 se otorgaron 69 autorizaciones de importación de RP con Canadá, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Panamá, Puerto Rico, Brasil y Argentina, con un volumen de 152 624 toneladas, de las cuales 126 750 (83%) correspondieron a acumuladores eléctricos usados, 22 531 (14.8%) a lodos con alto contenido de cobre, 3 117 (2%) a polvos de plomo antimoniales y 226 (0.15%)

a aceites usados, convertidores catalíticos de autos y baterías agotadas (DGGIMAR, Semarnat, 2012).

En relación a las exportaciones de RP para el mismo periodo, se otorgaron 114 permisos de exportación a Alemania, Austria, Canadá, Corea, España, Francia, Finlandia y Suiza, con un volumen de 75 703 toneladas, de las cuales 42 799 (56.5%) correspondieron a catalizadores gastados a base de níquel, 23 400 (30.9%) a material contaminado con sal del ácido 2, 4 Diclorofenoxiacético, 5 126 (6.8%) a sólidos y líquidos contaminados con bifenilos policlorados y 4 378 (5.8%) que incluyen acumuladores usados, compuestos organoclorados con hexano, residuos de antidetonante de plomo y desechos de baterías de litio, entre otros (DGGIMAR, Semarnat, 2012).

### Exportación de RP de Estados Unidos, por tipo, 1995 - 2011

Figura 7.21



**Nota:**  
<sup>1</sup> Los datos sólo cubren el periodo 1998-2007; a partir de ese último año Pemex dejó de reportar los valores de exportación de ese rubro.

**Fuente:**  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

<sup>6</sup> Los datos sobre la exportación de recortes de perforación sólo cubren el periodo 1998-2007; a partir de ese último año Pemex dejó de reportar los valores de exportación para ese rubro.

## MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Los residuos peligrosos pueden manejarse y/o disponerse de manera segura de distintas formas: a) por el reciclaje y reuso previo a su tratamiento y disposición final, b) por medio del tratamiento que reduce su peligrosidad, c) por su incineración bajo condiciones controladas, y d) por su confinamiento en sitios adecuados para ello. Para llevar a cabo estos procesos, los residuos deben transportarse previamente y de manera segura desde sus sitios de origen hasta las instalaciones donde serán manejados o dispuestos para su confinamiento. A nivel de entidad federativa, en 2011 los únicos con infraestructura autorizada para la recolección y transportación de RP fueron el Distrito Federal (500 t; 66.5% de la infraestructura total), estado de México (246 t; 32.7%), Nuevo León (4 t; 0.5%) y Jalisco (2 t; 0.3%; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_17](#)).

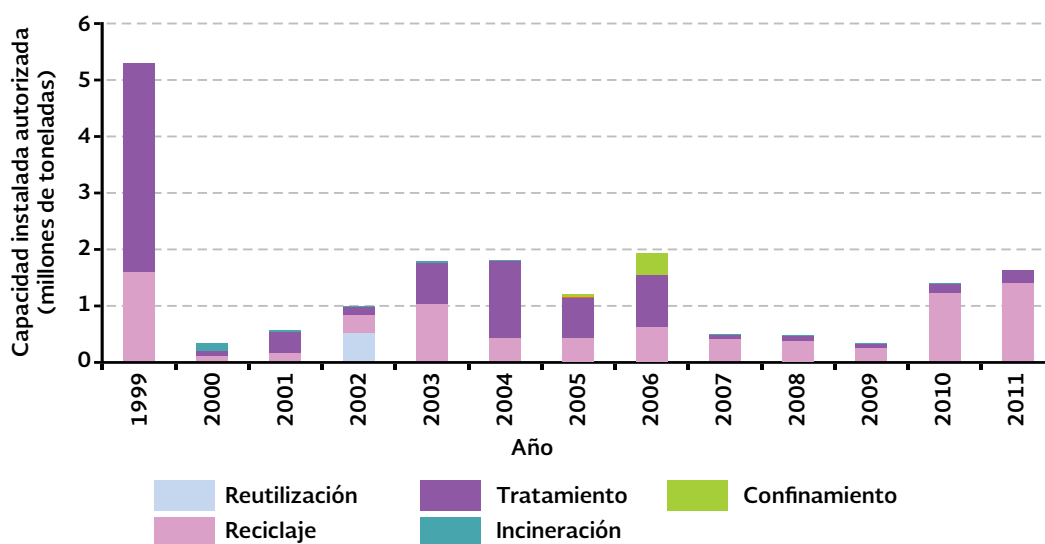
Entre la recolección de los RP y su tratamiento o disposición final puede requerirse el llamado almacenamiento temporal o acopio de residuos, en el cual permanecen almacenados un tiempo en espera de ser llevados a su

siguiente fase de manejo, conforme a los tiempos que marca la LGPGIR. Debido a que las instalaciones autorizadas para llevar a cabo el almacenamiento temporal de los residuos no reportan el volumen anual alcanzado de almacenamiento, se reporta la capacidad instalada autorizada. En 2011 existían cuatro instalaciones autorizadas para el almacenamiento temporal de RP, con una capacidad instalada de 10 198 toneladas; estas plantas se encontraban en el estado de México (3 instalaciones, 198 toneladas de capacidad) y en Nuevo León (una instalación, 10 000 toneladas; [Cuadro D3\\_RESIDUOP01\\_16](#)).

Con respecto al manejo de los RP, la capacidad instalada autorizada para el reciclaje, aprovechamiento, reutilización, tratamiento, incineración y confinamiento en el periodo 1999-2011 se muestra en la Figura 7.22. La capacidad instalada debe entenderse como el volumen de manejo de RP, en alguna de sus modalidades, que la Semarnat autoriza a las empresas que solicitan realizarlo. Por lo anterior, no debe confundirse con el volumen real de RP que se reciclan, tratan, reutilizan, incinera o confinan, puesto que las plantas

**Capacidad instalada autorizada para el reciclaje, reutilización, tratamiento, incineración y confinamiento de RP, 1999 - 2011**

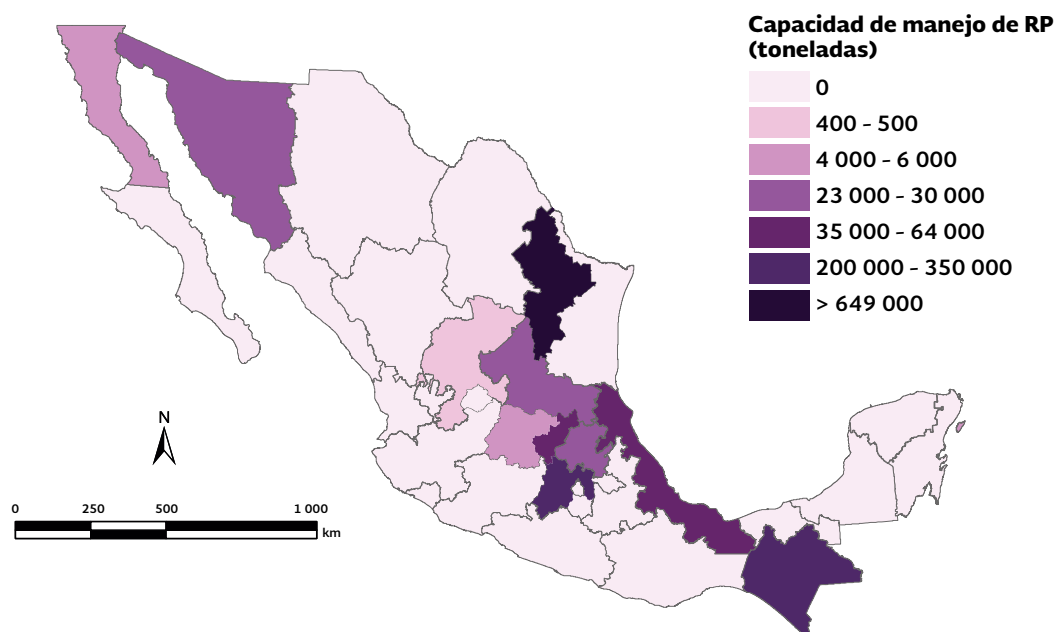
**Figura 7.22**



**Fuente:**

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.





**Nota:**  
<sup>1</sup> Sólo incluye reciclaje, tratamiento e incineración.

**Fuente:**  
 Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

de las empresas autorizadas podrían no operar al total de su capacidad. En 2011, la capacidad autorizada instalada alcanzó poco más de 1.6 millones de toneladas, correspondiendo exclusivamente a reciclaje (1.4 millones; 86.5% del total) y tratamiento (216 mil; 13.5%).

Del volumen autorizado por la Semarnat a las entidades federativas para el manejo de los RP en 2011, el 86.5% correspondió a reciclaje y el restante 13.5% a tratamiento. Nuevo León fue la única entidad federativa con capacidad autorizada para el tratamiento de RP (poco más de 216 mil toneladas), mientras que para el reciclaje, la mayor capacidad instalada se autorizó a ese mismo estado (cerca de 649 970 toneladas; 47% de la capacidad de tratamiento autorizada nacionalmente), seguido por Chiapas (345 mil; 25%), estado de México (202 280; 14.6%), Querétaro (63 379; 4.6%) y Veracruz (35 977; 2.6%; Mapa

7.9; [Cuadros D3\\_RESIDUOP01\\_07, 08, 09, 15, 16](#) y [RESIDUOP01\\_10\\_D](#)).

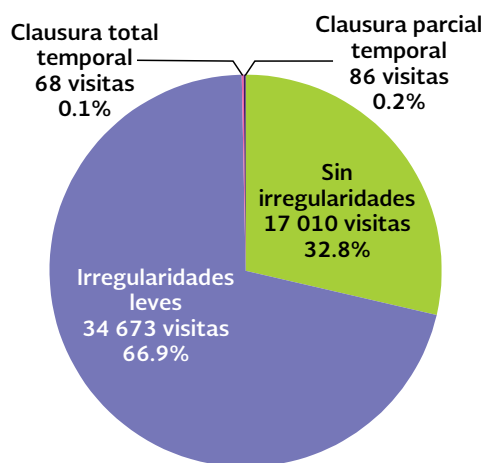
La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) aplica programas de inspección y vigilancia para verificar el cumplimiento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la cual obliga a los generadores y gestores de RP a manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada (DOF, 2003). Por medio de las visitas de inspección se identifican irregularidades, se dictan medidas correctivas y se imponen clausuras en caso de presentarse irregularidades graves que representen un riesgo inminente 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 el periodo 2001-2010 se realizaron 51 837 visitas<sup>7</sup> a los establecimientos registrados

<sup>7</sup> Se puede realizar más de una visita de inspección a los establecimientos generadores de RP.

como generadores de residuos peligrosos, de las cuales 17 010 visitas no presentaron irregularidades (32.8%), 34 673 presentaron irregularidades leves (66.9%), 86 tuvieron clausuras parciales temporales (0.2%) y 68 clausuras totales temporales (0.1%; Figura 7.23; Profepa, 2011).

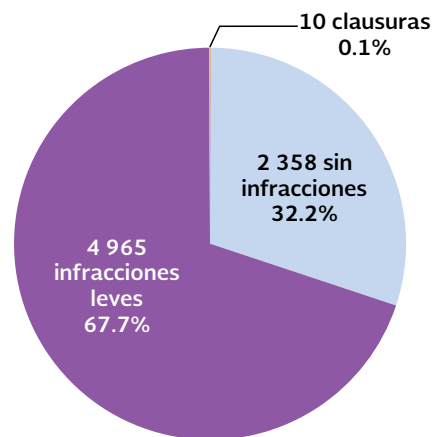
En el caso de los residuos biológico-infecciosos, en 2003 entró en vigor la norma oficial mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, referente al manejo interno, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos biológico-infecciosos en establecimientos donde se brinda atención médica y donde se realizan trabajos de investigación (Profepa, 2008). Entre 2001 y 2010 se realizaron 7 333 visitas de inspección y verificación a estos establecimientos<sup>8</sup>, de los cuales 2 358 presentaron total cumplimiento de la normatividad (32.2%), 4 965 (67.7%) presentaron infracciones menores y sólo 10 casos (0.1%) merecieron clausuras debidas a condiciones inadecuadas para el manejo de estos residuos (Figura 7.24; Profepa, 2002, 2009 y 2011).

**Resultado de las visitas de inspección en materia de RP, 2001 - 2010** **Figura 7.23**



**Fuentes:**  
Profepa, Semarnat. *Informes Anuales Profepa 2008 y 2010*. México. 2009 y 2011.

**Resultado de las visitas de inspección<sup>1</sup> en materia de RP biológico-infecciosos, 2001 - 2010** **Figura 7.24**



**Nota:**  
<sup>1</sup> Son las que se realizan a unidades de servicios médicos y hospitalarios, incluyendo clínicas, laboratorios y centros de investigación.

**Fuentes:**  
Profepa, Semarnat. *Informes Anuales Profepa 2008, 2010*. México. 2009 y 2011.

Por su parte, el sector de las maquiladoras recibió entre 2001 y 2010 un total de 4 740 visitas, de las cuales en 1 698 no se establecieron infracciones (35.8%), 3 025 tuvieron infracciones leves (63.8%) y sólo en 17 casos (0.4%) se recibieron clausuras por problemas en el manejo de los residuos (Figura 7.25).

## GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS

En México se contemplan diversos reglamentos para la normatividad, prevención y gestión integral de los residuos (ver también el Recuadro *Regulación ambiental para los residuos en el país*).

En la aplicación de la responsabilidad compartida, pero diferenciada, de todos los sectores en la prevención y gestión integral

<sup>8</sup> Las actividades de inspección se realizan en unidades de servicios médicos y hospitalarios, incluyendo clínicas, laboratorios y centros de investigación.

de los residuos, existen instrumentos que contemplan tanto la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, como las leyes locales (Distrito Federal y Guadalajara), entre los que destacan cuatro instrumentos. El primero de ellos son 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 éstos 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).

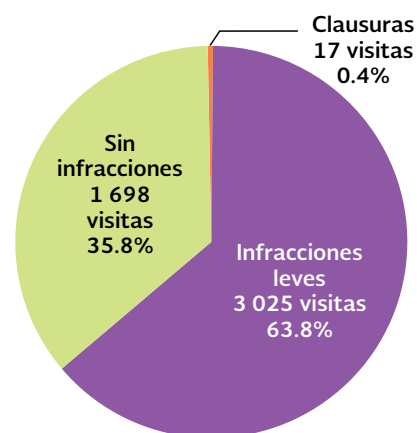
En segundo lugar están los inventarios, que sirven como apoyo a la toma de decisiones para reducir la generación, así como proporcionar a quien genere, recolecte, trate o disponga finalmente los residuos sólidos, los indicadores acerca de su estado físico y propiedades. Los tres órdenes de gobierno deben 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 están los programas para la separación de los residuos, en orgánicos e inorgánicos, tanto en domicilios, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, así como en instituciones públicas y privadas, centros educativos, dependencias gubernamentales y similares y su depósito en contenedores para su recolección o reciclaje por el servicio público de limpia, con el fin de facilitar su aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Por último deben mencionarse los planes de manejo de los residuos sólidos, a través de los cuales los generadores (sean del sector público, privado o social) deberán adoptar medidas para reducir la generación de los

## Resultados de las visitas de inspección en materia de RP a la industria maquiladora, 2001 - 2010

Figura 7.25



### Fuentes:

Profepa, Semarnat. *Informes Anuales Profepa 2007, 2008 y 2010.* México. 2008, 2009 y 2011.

RSU y RP, aprovechar aquellos susceptibles de reutilización, reciclado o de transformación en energía, y para tratar o confinar aquellos que no se puedan valorizar. En la problemática del manejo de los residuos están involucradas diversas instancias, cuyas atribuciones se resumen en la Tabla 7.2.

## RIESGO AMBIENTAL

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en el Capítulo V, Artículo 146, señala que para la clasificación de las “actividades altamente riesgosas” se deberán tomar en cuenta “...las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (CRETIB) para el equilibrio ecológico o el ambiente, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando, además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento” (LEGEEPA, 2012).

El riesgo ambiental se define como la probabilidad de que ocurran accidentes

En materia de regulación para los residuos municipales, de manejo especial y peligrosos, se tienen en el país 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 a 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.

Entre los principales objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 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 están contenidas en las normas que establecen las medidas para lograr un manejo seguro de los tres tipos de residuos y a la vez fijan límites de exposición para reducir su volumen y peligrosidad. Entre las principales normas 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-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación (DOF, 29-03-2005).

- 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).
- 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, Protección ambiental -fabricación de cemento hidráulico- niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera (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).

- NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros (DOF, 30-08-2011).
- NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. (DOF, 13-09-2004).
- NOM-145-SEMARNAT-2003, Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables. (DOF, 27-08-2004).
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo. (DOF, 17-02-2003).
- NOM-058-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos. (DOF, 10-12-2001).
- NOM-054-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993. (DOF, 22-10-1993).
- NOM-053-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. (DOF, 23-04-1993).

mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las actividades altamente riesgosas, que puedan trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, al ambiente y los ecosistemas. Una actividad se considera como altamente riesgosa (AAR) cuando maneja alguna de las sustancias químicas incluidas en el Primer y Segundo Listados de Actividades Altamente Riesgosas publicados en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992, respectivamente (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. De esta manera, quienes realizan actividades consideradas altamente riesgosas de acuerdo a lo establecido en el Primer y Segundo Listados, deberán formular y presentar ante la Semarnat un estudio de riesgo ambiental (ERA) cuyo objetivo principal es identificar, jerarquizar y evaluar los riesgos por el manejo de materiales peligrosos en las instalaciones, anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias químicas peligrosas en las instalaciones, de manera tal que éstas puedan prevenirse o mitigarse.

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:**

INE, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2006.

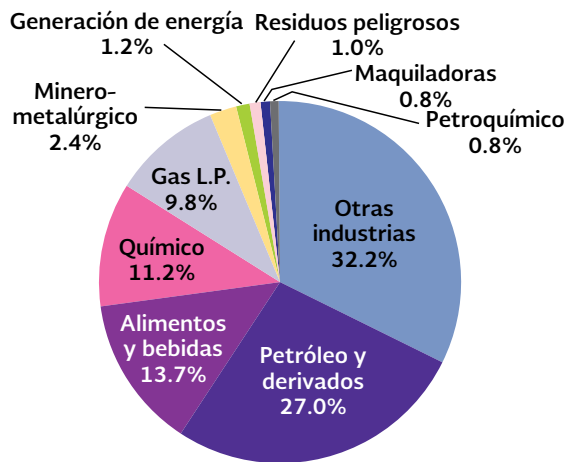
En el periodo comprendido entre 1992 y 2011, se ingresaron un total de 8 968 ERA, de los cuales el sector petrolero y sus derivados ingresaron el mayor número (2 417 estudios; 27% del total del periodo), seguido por el de alimentos y bebidas (1 230; 13.7%), el químico (1 000; 11.2%) y el del gas LP (877; 9.8%; Figura 7.26). A nivel estatal, Veracruz ingresó en el mismo periodo el mayor número de ERA (739; 8.2% del total de estudios), seguido por Tabasco (722, 8.1%), estado

de México (686; 7.6%) y Tamaulipas (663, 7.4%; Mapa 7.9); en contraste, los estados que menos estudios presentaron fueron Baja California Sur (42 estudios; 0.5%), Nayarit (69; 0.8%) y Zacatecas (81; 0.9%; Mapa 7.10; [Cuadro D3\\_RESIDUOP02\\_05](#)).

Los Programas para la Prevención de Accidentes (PPA) establecen las medidas preventivas, correctivas, de control, de mitigación y de atención en el caso

## Estudios de riesgo ambiental ingresados por tipo de industria, 1992 - 2011

Figura 7.26



**Fuente:**  
Dirección General Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

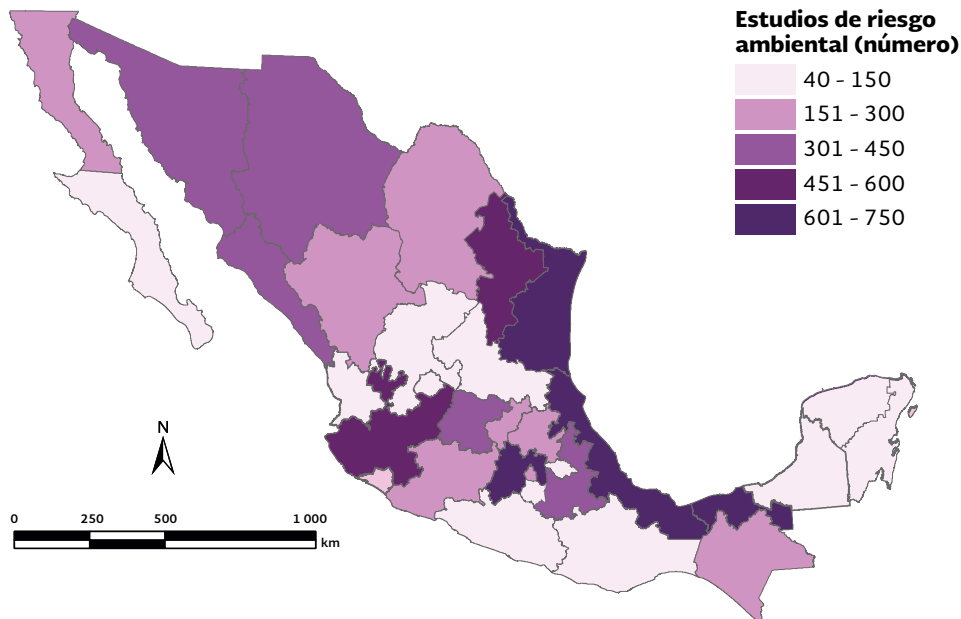
de presentarse algún accidente en las instalaciones que realizan actividades altamente riesgosas. Se vinculan estrechamente a sus respectivos ERA, los cuales sirven de sustento técnico para su elaboración. Durante el periodo comprendido entre 2007 y 2012, de los 1 906 Programas de Prevención de Accidentes de Plantas en Operación que se ingresaron a la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR), 1 578 (82.8%) fueron autorizados y 104 fueron negados<sup>9</sup> (5.5%; Figura 7.27; [Cuadro D3\\_RESIDUOP02\\_04](#)).

## SITIOS CONTAMINADOS

El proceso de industrialización que se produjo en el país durante el siglo pasado sin la existencia, en sus etapas iniciales, de un marco normativo

## Estudios de riesgo ambiental ingresados de plantas de operación<sup>1</sup> por entidad federativa, 1992 - 2011

Mapa 7.10



**Nota:**  
<sup>1</sup> Son aquellas plantas que se encuentran en operación y que realizan actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas.

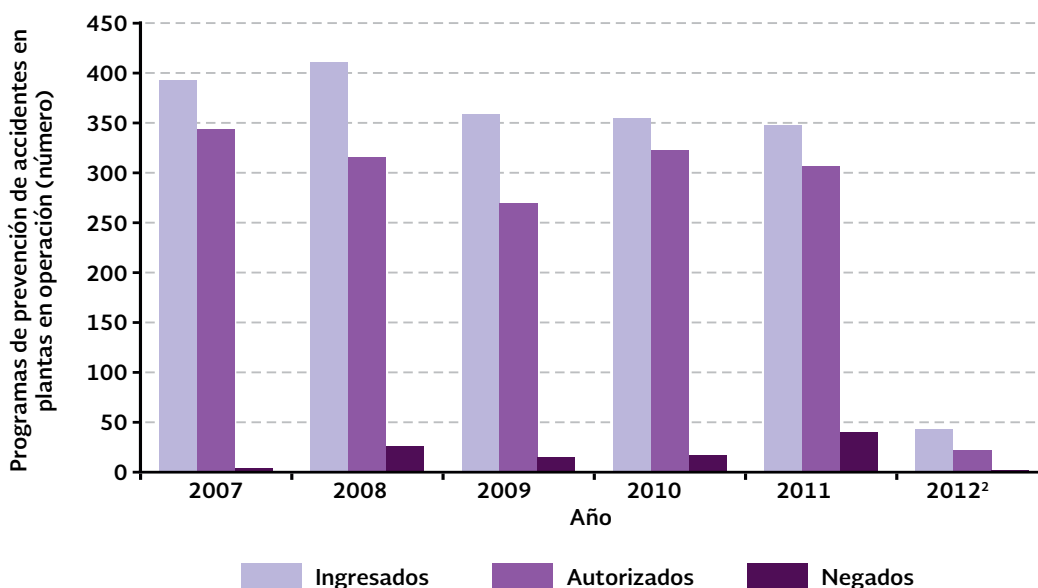
**Fuente:**  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

<sup>9</sup> El número de programas autorizados y negados no necesariamente es igual al número de ingresados debido a que, como resultado de la evaluación de que son objeto, puede haberseles solicitado información adicional, se desecharon por no entregar la información en tiempo, se dieron de baja o se estableció que no son de competencia federal.



## Número de programas<sup>1</sup> de prevención de accidentes de plantas en operación, 2007 - 2012

Figura 7.27



### Notas:

<sup>1</sup> El número de programas autorizados y negados no necesariamente es igual al número de ingresados debido a que, como resultado de la evaluación de que son objeto, puede haberseles solicitado información adicional, se desecharon por no entregar la información en tiempo, se negó su autorización, se dieron de baja o se estableció que no son de competencia federal.

<sup>2</sup> Datos a enero.

### Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

específico que regulara y vigilara el manejo y derrame de materiales y residuos peligrosos dejó como resultado la presencia de 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.

Es competencia del gobierno federal regular y controlar la generación, manejo y disposición final de materiales y RP, incluyendo de manera específica las responsabilidades, procedimientos y condiciones para la remediación de sitios contaminados. Cuando es necesaria, la remediación tiene como objetivo fundamental eliminar o reducir la contaminación hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el medio ambiente, permitiendo su uso de acuerdo a la regulación del uso del suelo y los

programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo aplicables.

La Semarnat clasifica los sitios contaminados en dos tipos: por un lado, los denominados pasivos ambientales, de grandes dimensiones y con obligación de remediación, con problemas causados por el uso industrial del suelo y el manejo inadecuado de los RP que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de los contaminantes. Esta categoría incluye además la contaminación generada por una emergencia que tenga efectos a largo plazo sobre el medio ambiente. En segundo lugar se encuentran los sitios contaminados causados por emergencias ambientales (EA), cuya atención ocurre cuando la contaminación del sitio deriva de una circunstancia o evento, indeseado o inesperado, que ocurre repentinamente y que tiene como resultado la liberación no controlada, incendio o explosión de uno o varios materiales o RP que afectan la

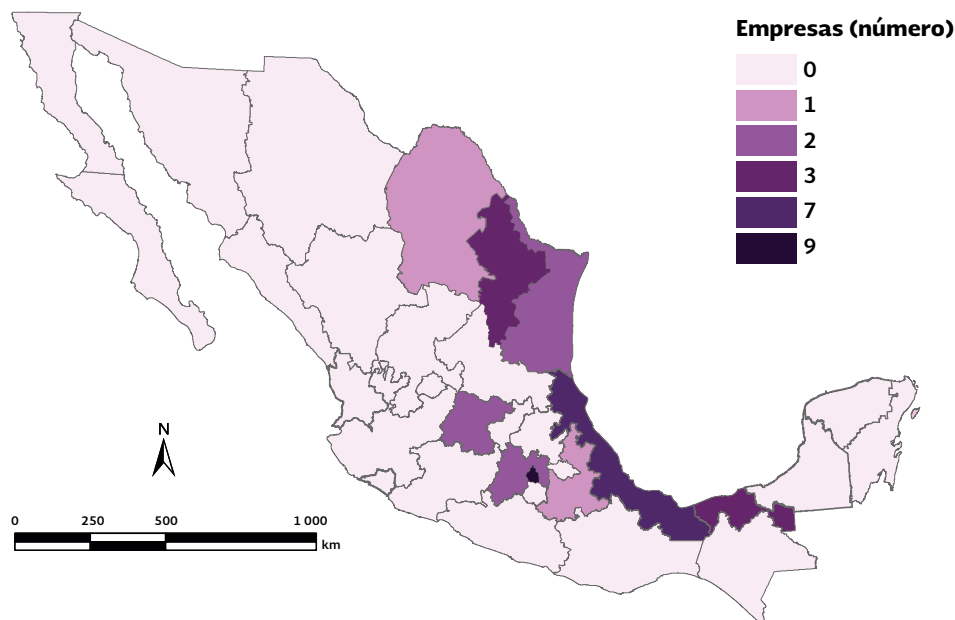
salud humana o el medio ambiente de manera inmediata (Semarnat, 2011).

Con el fin de dar tratamiento a los pasivos y emergencias ambientales, en 2011 el país contaba con 30 empresas autorizadas para el tratamiento de suelos contaminados. A nivel de entidad federativa, las que contaban con un mayor número en ese año eran el Distrito Federal (con 9 empresas), Veracruz (7) y Tabasco y Nuevo León (con 3 cada una; Mapa 7.11; [Cuadro D3\\_SITIOS01\\_01](#)).

Durante el periodo 2008-2011, se identificaron 514 sitios contaminados por emergencias ambientales, cuyos responsables involucrados en mayor porcentaje fueron los transportistas con 379 emergencias (73.6% del total registrado), seguidos por Pemex con 100 (19.5%) y por los ferrocarriles (8; 1.6%; Figura 7.28; Semarnat, 2011; [Cuadro D3\\_SITIOS02\\_02](#)).

### Número de empresas autorizadas para el tratamiento de suelos contaminados por entidad federativa, 2011

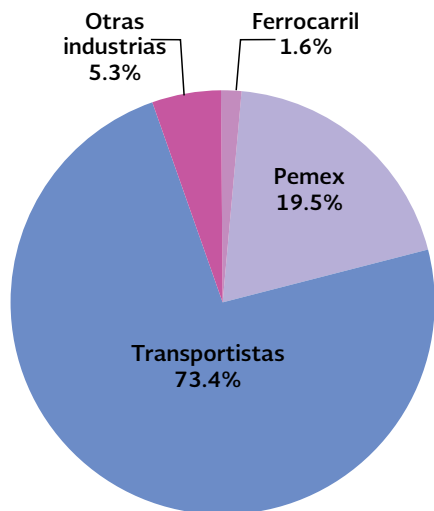
Mapa 7.11



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

**Sitios contaminados por emergencias ambientales, según responsables involucrados, 2008 - 2011**

Figura 7.28



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

Los contaminantes involucrados en emergencias ambientales para este mismo periodo fueron en primer lugar los hidrocarburos: la gasolina magna con 146 emergencias, le sigue el diesel con 119, el combustóleo con 80, la turbosina con 29 y otros contaminantes como ácidos y bases con 30 (Figura 7.29; Semarnat, 2011; Cuadro D3\_SITIOS02\_01).

**PASIVOS AMBIENTALES**

La Semarnat realiza diversas acciones para la gestión de los pasivos ambientales, entre las que se encuentran la evaluación de los programas de remediación de sitios contaminados, que busca determinar las acciones necesarias para eliminar los impactos negativos al medio ambiente debidos a la contaminación por materiales y RP. Los proyectos de remediación de sitios contaminados los lleva a cabo por sí misma o en colaboración con otras instancias como los gobiernos estatales. Con objeto de

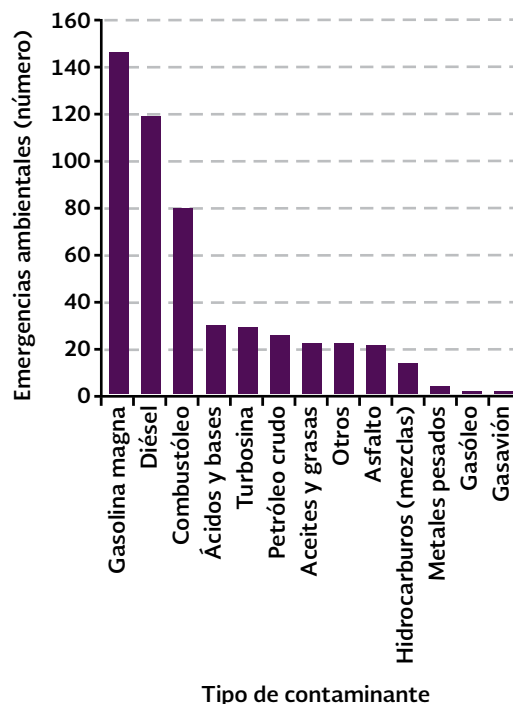
conocer y registrar a nivel nacional los sitios contaminados considerados como pasivos ambientales, la Semarnat ha implementado el Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO; Semarnat 2011).

Para el periodo 1995-2000, el SISCO tenía identificados 166 sitios contaminados registrados con materiales o RP; para el año 2011 ya se tenían registrados 582 sitios. El sistema ha sido una valiosa herramienta que ha permitido identificar los sitios contaminados y priorizarlos según su riesgo, con base en una evaluación de riesgo ambiental preliminar. Para el 2011, las entidades con mayor presencia de sitios identificados como contaminados fueron Veracruz (69 sitios), Querétaro (58), Guanajuato (48), estado de México (35), Michoacán (34) y Aguascalientes (31; Mapa 7.12; IB 5-3; Cuadro D3\_SITIOS03\_01).

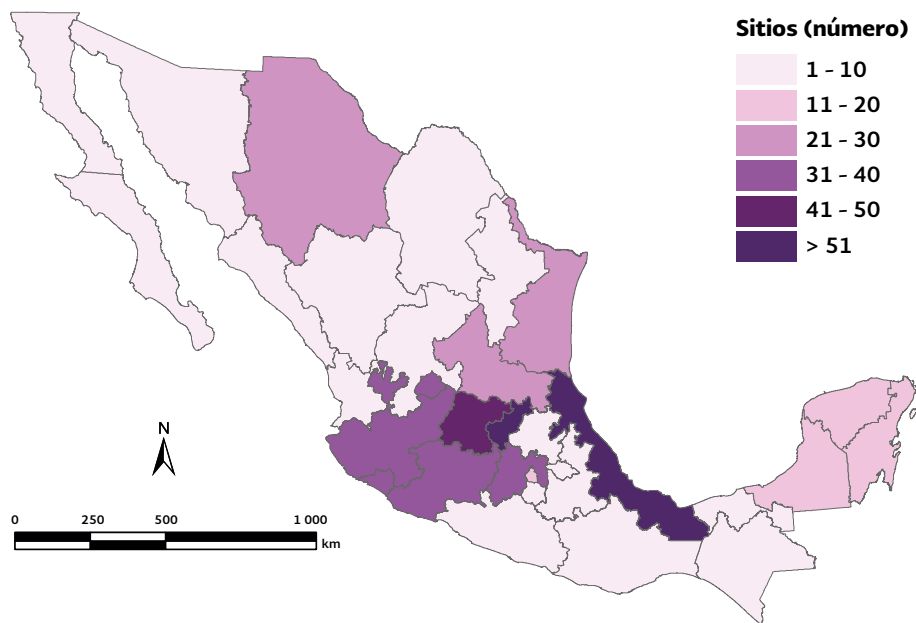


**Contaminantes involucrados en emergencias ambientales 2008 - 2011**

Figura 7.29



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Semarnat. México. 2012.

## 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.

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. 2008, 2009, 2011 y 2012.

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 de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México. 1988. (Última reforma 4 junio 2012).

DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México. 2003 (8 de octubre).

DOF. NMX-AA-61-1985 *Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación*. México. 1985 (8 de agosto).

INE, Semarnat e IPN. *Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos en México*. Informe final. México. 2007.

INE, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México. 2006.

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. México. 2013.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de Bienes y Servicios 2003-2006, Base 2003*. Tomo I y II. México. 2008.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México*. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/Consultar>. Fecha de consulta: marzo de 2012.

INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 (CNGMD)*. Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. Aguascalientes. México. 2012.

IPN. *Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México*. México. 2007.

OCDE. *Environmental Indicators. Towards Sustainable Development*. France. 2010.

OECD. *OECD Factbook 2013: Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing. 2013. Disponible en: [www.oecd.org/publications/factbook\\_18147364](http://www.oecd.org/publications/factbook_18147364). Fecha de consulta: febrero de 2013.

Profepa, Semarnat. *Informe Anual Profepa 2010*. México. 2011.

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. *Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil*. México. 2010.



SNIARN

