

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



Informe de la Situación del

Medio Ambiente

EN MÉXICO

2015

Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave,
de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde



Informe de la Situación del

Medio Ambiente

EN MÉXICO

2015

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



Compendio de Estadísticas Ambientales,
Indicadores Clave, de Desempeño
Ambiental y de Crecimiento Verde

INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO.
COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES.
INDICADORES CLAVE, DE DESEMPEÑO AMBIENTAL Y DE CRECIMIENTO VERDE.
EDICIÓN 2015.

DR © 2016, SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

Edificio sede | Av. Ejército Nacional No. 223
Col. Anáhuac, CP. 11320
Delegación Miguel Hidalgo
Ciudad de México, México

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

Impreso en México

ISBN en trámite

Cómo citar esta obra | Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015.* Semarnat. México. 2016.

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 María Alejandra González Gutiérrez
Integración y edición:	Isidro Amhed Cruz Leyva Miguel Chipole Ibáñez Mayra Adriana García Cerecedo Pedro Arturo García Zamorano Teresa González Ruiz Erick René Hernández Cervantes Yasmín Esther Juárez Pastrana Jorge Rodríguez Monroy Verónica E. Solares Rojas
Diseño gráfico:	Esperanza Martínez Vargas
Desarrollo Web:	Rogelio Chávez Pérez Edder Flores Castelan

COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS AMBIENTALES.

Coordinación general:	Georgina Alcantar López
Integración y edición:	Gabriela Carmona Huerta Gerardo Jesús Cervantes Corte Angélica Daza Zepeda Francisco García Gómez Lizzeth Guadalupe Romero de la O 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.

xii	Abreviaturas
xvii	Presentación
xix	Introducción
1	1. Población y medio ambiente
3	MÉXICO: DESARROLLO <i>VERSUS</i> DEGRADACIÓN AMBIENTAL
8	TENDENCIAS DE LA POBLACIÓN MEXICANA
15	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA POBLACIÓN DE MÉXICO
22	SOCIOECONOMÍA DE LA POBLACIÓN MEXICANA Y AMBIENTE
22	CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA
23	EL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO (IDH)
27	ÍNDICE DE POBREZA
33	INEQUIDAD EN EL INGRESO
35	DESARROLLO HUMANO, DEGRADACIÓN AMBIENTAL Y CONSUMO DE RECURSOS NATURALES
38	IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS EN EL AMBIENTE: HUELLAS, COSTOS Y SALUD AMBIENTAL
38	LAS HUELLAS HUMANAS
38	La huella ecológica
42	La huella hídrica
46	La huella humana
48	COSTOS ECONÓMICOS DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL
53	ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL
55	ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO
57	INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS
59	REFERENCIAS
61	2. Ecosistemas terrestres
62	LA VEGETACIÓN NATURAL Y EL USO DEL SUELO EN MÉXICO
78	CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO
89	PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO
91	DEFORESTACIÓN
98	FRAGMENTACIÓN
100	DEGRADACIÓN DE MATORRALES

103	OTRAS AMENAZAS A LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES
103	INCENDIOS FORESTALES
105	PLAGAS Y ENFERMEDADES FORESTALES
110	FACTORES RELACIONADOS AL CAMBIO DE USO DEL SUELO
110	POBLACIÓN
110	CRECIMIENTO DE LA FRONTERA AGROPECUARIA
113	URBANIZACIÓN
114	USO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES
115	RECURSOS FORESTALES MADERABLES
116	EXISTENCIAS MADERABLES NACIONALES
121	PRODUCCIÓN FORESTAL MADERABLE
125	RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES
128	CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS RECURSOS NATURALES
129	CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS SERVICIOS AMBIENTALES
132	USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES
135	RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES
142	OTROS INSTRUMENTOS INDIRECTOS DE PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES
142	ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO
147	LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
151	REFERENCIAS
153	3. Suelos
153	CLASIFICACIÓN DE SUELOS
156	SUELOS DE MÉXICO
157	AGRICULTURA Y GRUPOS DE SUELO
158	LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO
166	EROSIÓN HÍDRICA
166	EROSIÓN EÓLICA
170	DEGRADACIÓN QUÍMICA
173	DEGRADACIÓN FÍSICA
174	CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO
177	LOS PROCESOS QUE LLEVAN A LA DESERTIFICACIÓN
178	CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA DESERTIFICACIÓN
179	Distribución de las tierras secas
183	EXTENSIÓN DE LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN
188	CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS
190	REFERENCIAS

191	4. Biodiversidad
192	MÉXICO Y SU DIVERSIDAD BIOLÓGICA
201	AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD
202	AGRICULTURA Y GANADERÍA
205	INFRAESTRUCTURA
205	Red de caminos y carreteras
209	Presas
210	Puertos marítimos
213	ESPECIES INVASORAS
216	ESTADO DE LA BIODIVERSIDAD
219	ESPECIES EN RIESGO
227	PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD
230	PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ESPECIES
236	PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS
236	Áreas naturales protegidas (ANP)
251	Humedales Ramsar
253	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma)
255	Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)
255	REFERENCIAS
259	5. Atmósfera
260	CALIDAD DEL AIRE
261	FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AIRE
261	Emisión de contaminantes
277	MONITOREO Y CALIDAD DEL AIRE
277	Redes de monitoreo existentes en el país
280	Calidad del aire en algunas ciudades
288	Acciones para mejorar la calidad del aire
291	CAMBIO CLIMÁTICO
292	EVIDENCIAS Y CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
293	Cambios en la temperatura
297	Cambios en los patrones de precipitación
298	Incremento del nivel del mar
299	Deshielos
303	Eventos meteorológicos extremos
303	Ciclones
304	Tornados
305	Sequías
306	Impactos sobre la biodiversidad
308	LA CAUSA DEL CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO: INCREMENTO EN LA EMISIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LOS GEI
308	Emisiones globales
311	Emisiones nacionales
320	Los gases de efecto invernadero en la atmósfera

322	IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO
322	Escenarios globales y en México
327	Impactos previstos a nivel global
327	<i>Recursos hídricos</i>
327	<i>Biodiversidad</i>
228	Impactos sobre las poblaciones humanas
230	Impactos del cambio climático proyectados para México
331	<i>Recursos hídricos</i>
334	ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
238	Esfuerzos nacionales contra el cambio climático
350	OZONO
350	EL AGUJERO DE OZONO
352	CONCENTRACIÓN DE OZONO ESTRATOSFÉRICO
353	CONSUMO Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS AGOTADORAS DE OZONO (SAO)
355	ACUERDOS Y ACCIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

359 REFERENCIAS

363 6. Agua

363	DISPONIBILIDAD DEL AGUA
363	RESERVAS DE AGUA DULCE EN EL MUNDO
364	BALANCE HÍDRICO NACIONAL
370	DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA
371	ALMACENAMIENTO EN PRESAS
373	USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA
380	El agua en la agricultura
384	Abastecimiento público
386	Uso industrial del agua
387	GRADO DE PRESIÓN E INTENSIDAD DE USO
388	Aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas
390	Acuíferos sobreexplotados y en otras condiciones
391	CALIDAD DEL AGUA
392	DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
395	RED DE MONITOREO E INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL: DBO ₅ , DQO Y SST
395	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)
397	Demanda química de oxígeno (DQO)
399	Sólidos suspendidos totales (SST)
400	Calidad bacteriológica del agua de mar en playas
402	SERVICIOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL AGUA
402	Agua potable
408	Plantas potabilizadoras
410	Alcantarillado
414	Tratamiento de aguas residuales
416	Plantas de tratamiento de aguas residuales

- 418 **SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS**
- 418 PESCA
- 422 Estado de las pesquerías
- 425 Otros impactos de la pesca

427 **REFERENCIAS**

431 **7. Residuos**

431 **RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

- 434 GENERACIÓN
- 439 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS
- 439 Recolección
- 443 Reciclaje
- 444 Disposición final

447 **RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL**

448 **RESIDUOS PELIGROSOS**

- 449 GENERACIÓN
- 454 MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO
- 456 MANEJO
- 457 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

459 **GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS**

462 **RIESGO AMBIENTAL**

- 465 PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

466 **SITIOS CONTAMINADOS**

- 467 EMERGENCIAS AMBIENTALES
- 469 PASIVOS AMBIENTALES

470 **REFERENCIAS**

Pag.	1. POBLACION Y MEDIO AMBIENTE
2	Los Objetivos de Desarrollo Sostenible
4	Los límites planetarios
10	Tendencias de la población mundial
24	El desarrollo humano en el mundo
29	La pobreza en el mundo
Pag.	2. ECOSISTEMAS TERRESTRES
64	La vegetación de México
68	Los ecosistemas terrestres, tipos de vegetación y el uso del suelo
74	Integridad Ecosistémica en México
80	La vegetación natural y el crecimiento carretero
82	Deforestación y emisiones de GEI
144	Ordenamientos ecológicos marinos
Pag.	3. SUELOS
154	Los servicios ambientales del suelo
159	Unidades principales de suelo en México
Pag.	4. BIODIVERSIDAD
214	La invasión del pez diablo
220	Una especie en peligro de extinción: la vaquita marina
223	La amenaza de la quitridiomycosis
228	La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
242	La huella humana en las áreas naturales protegidas federales
245	El arrecife mesoamericano
Pag.	5. ATMÓSFERA
262	Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México
275	El carbono negro y la salud
314	Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en México
317	La importancia del carbono negro en el calentamiento global
337	La COP21 y el Acuerdo de París
341	El iNDC de México y la mitigación global de emisiones en el periodo 2020-2030 según los iNDC recibidos por el CMNUCC
347	El impuesto al carbono en México
Pag.	6. AGUA
382	Agua virtual en México
Pag.	7. RESIDUOS
432	Consecuencias ambientales y en la salud de la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos
460	Regulación ambiental para el manejo de los residuos en el país

Abreviaturas

µg/m³	Microgramo por metro cúbico	CH₄	Metano
AAR	Actividad altamente riesgosa	CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
ADVC	Áreas destinadas voluntariamente a la conservación	CIESIN	Center for International Earth Sciences Information Network
AMP	Áreas Marinas Protegidas	CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres)
AMM	Área Metropolitana de Monterrey	CIVS	Centros para la conservación e investigación de la vida silvestre
ANP	Áreas Naturales Protegidas	CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
APF	Administración Pública Federal	CN	Carbono negro
APFyF	Áreas de protección de flora y fauna	CNGMD	Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales
APRN	Áreas de protección de los recursos naturales	CO	Monóxido de carbono
Aquastat	Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la agricultura - FAO	CO₂	Bióxido de carbono
ASSOD	Soil Degradation in South and Southeast Asia (Evaluación de la degradación del suelo en el sur y sudeste de Asia)	CO₂e	Bióxido de carbono equivalente
Badesniarn	Base de Datos Estadísticos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales	Cofepris	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
BAU	<i>Business as usual</i> (Tendencia actual)	CMP	Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes al Protocolo de Kyoto
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	CNA	Comisión Nacional del Agua
BM	Bromuro de metilo	Conabio	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
BUR	Biennial Update Reports (Informe Bienal de Actualización)	Conafor	Comisión Nacional Forestal
CAS	Chemical Abstracts Service	Conagua	Comisión Nacional del Agua
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental	Conanp	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CCVC	Compuestos climáticos de vida corta	Conapesca	Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica	Conapo	Consejo Nacional de Población
CDIAC	Carbon Dioxide Information Analysis Center (Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono)	Coneval	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
Cenapred	Centro Nacional de Prevención de Desastres	COP	Conferencia de las Partes
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.		
CESPEDES	Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable		
CFC	Clorofluorocarbonos		

Cotecoca	Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero	GPRH	Grado de presión sobre el recurso hídrico
COV	Compuestos orgánicos volátiles	Gt	Gigatoneladas
CP	Colegio de Postgraduados	H₂S	Ácido sulfhídrico
CRETIB	Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso	HC	Hidrocarburos
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno a cinco días	HFC	Hidrofluorocarbonos
DGE	Dirección General de Epidemiología	IDH	Índice de Desarrollo Humano
DGGIMAR	Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas	ICOLD	International Commission on Large Dams (Comité de Grandes Presas)
DGPAIRS	Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial	IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
DGPPE	Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación	IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
DGVS	Dirección General de Vida Silvestre	IMT	Instituto Mexicano del Transporte
DMM	Distrito Minero de Molango	INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
DOF	Diario Oficial de la Federación	INDC	Intended Nationally Determined Contributions
DQO	Demanda química de oxígeno	INE	Instituto Nacional de Ecología
EA	Emergencia ambiental	INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental	INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones y Gases de Efecto Invernadero
EMA	Estaciones de monitoreo automático	INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ENACC	Estrategia Nacional de Cambio Climático	INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México
ENBioMEX	Estrategia Nacional Sobre Biodiversidad de México	INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático)
ERA	Estudio de Riesgo Ambiental	ISA	Índice de Salud Arrecifal
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)	ISRIC	International Soil Reference and Information Centre (Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos)
FRA	Forest Resources Assessment	IUCN	International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
GDF	Gobierno del Distrito Federal	IUSS	International Union of Soil Sciences (Asociación Internacional de Ciencias del Suelo)
GEI	Gases de efecto invernadero	LGCC	Ley General de Cambio Climático
GEM	Gobierno del estado de México	LGDS	Ley General de Desarrollo Social
GEO	Global Environment Outlook (Perspectivas del Medio Ambiente Mundial)		
Gg	Gigagramos		
GLASOD	Global Assessment of Soil Degradation (Evaluación Global de la Degradación del Suelo)		

LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	OEMGC	Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	OET	Ordenamiento Ecológico del Territorio
LGVS	Ley General de Vida Silvestre	OLDEPESCA	Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero
MAB	Man and the Biosphere Programme (Programa El Hombre y la Biosfera)	OMS	Organización Mundial de la Salud
mae	Metros de agua equivalente	ONG	Organización no gubernamental
MCF	Metilcloroformo	ONU	Organización de las Naciones Unidas
MEA	Millennium Ecosystem Assessment (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio)	PACE	Programas de Acción para la Conservación de Especies
MIA	Manifestación de impacto ambiental	PEACC	Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático
MN	Monumentos naturales	PET	Polyethylene terephthalate (tereftalato de polietileno)
Mt	Tonelada métrica	Pb	Plomo
Mt de CO₂ e	Metric Tonne Carbon Dioxide Equivalent (tonelada métrica equivalente a bióxido de carbono)	PECC	Programa Especial de Cambio Climático
N₂O	Óxido nitroso	PEMEX	Petróleos Mexicanos
NAMO	Nivel de aguas máximas ordinarias	PFC	Perfluorocarbonos
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio)	PFNM	Productos forestales no maderables
NH₃	Amoníaco	PGR	Procuraduría General de la República
NH₄	Amonio	PGRP	Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos
NO₂	Bióxido de nitrógeno	pH	Potencial de hidrógeno
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)	PIB	Producto Interno Bruto
NOM	Norma Oficial Mexicana	PM₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
NOx	Óxidos de nitrógeno	PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros
NSIDC	National Snow and Ice Data Center (Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo)	PN	Parques Nacionales
O₃	Ozono	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio	PNUMA-GEMS	Global Environment Monitoring System – Water (Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente – Agua)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development	POEGT	Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio
OEGT	Ordenamiento Ecológico General del Territorio	PPA	Programas para la Prevención de Accidentes
		ppm	Partes por millón
		ppmm	Partes por mil millones
		PREP	Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias

Procer	Programa de Conservación de Especies en Riesgo	SAO	Sustancias agotadoras de la capa de ozono
Procoref	Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales	SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
Procymaf	Programa de Desarrollo Forestal Comunitario	SCBD	Secretariat of the Convention on Biological Diversity (Secretariado del Convenio sobre la Diversidad Biológica)
Prodefor	Programa para el Desarrollo Forestal	SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Prodeplan	Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales	SE	Secretaría de Economía
Profepa	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente	Sedatu	Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
Pronafor	Programa Nacional Forestal	Sedesol	Secretaría de Desarrollo Social
Pronare	Programa Nacional de Reforestación	Segob	Secretaría de Gobernación
PSA	Pago por Servicios Ambientales	Semar	Secretaría de Marina
PSA-CABSA	Programa de Servicios Ambientales por Captura de Carbono, Conservación de la Biodiversidad y Sistemas Agroforestales	Semarnap	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
PSAH	Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos	Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
RANP	Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas	SF₆	Hexafluoruro de azufre
RB	Reservas de la Biosfera	SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
RCP	Representative concentration pathways (trayectorias de concentración representativas)	Siacon	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta
REDD+	Reducing emissions from deforestation and forest degradation (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal)	SIEIM	Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México
REIA	Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental	Simat	Sistema de Monitoreo Atmosférico
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua	SINA	Sistema Nacional de Información del Agua
RHA	Regiones Hidrológico-Administrativas	SINAC	Sistema Nacional de Cambio Climático
RME	Residuos de manejo especial	SINEA	Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México
RNM	Red Nacional de Monitoreo	Sisco	Sistema Informático de Sitios Contaminados
RP	Residuos peligrosos	SISSAO	Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono
RP-BI	Residuos peligrosos biológico-infecciosos	SNIARN	Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales
RSM	Residuos sólidos municipales	SO₂	Bióxido de azufre
RSU	Residuos sólidos urbanos	SO_x	Óxidos de azufre
S	Santuarios	SSA	Secretaría de Salud
Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	SST	Sólidos Suspendidos Totales
		Suma	Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre

TCC	Tetracloruro de carbono	USCUSS	Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura
tCO₂	Tonnes of CO ₂ (toneladas de dióxido de carbono)	UV	Ultravioleta
tCO₂e	Tonnes of CO ₂ equivalent (toneladas equivalentes de dióxido de carbono)	WEF	The World Economic Forum (Foro Económico Mundial)
TCC	Tetracloruro de carbono	WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable)
UACH	Universidad Autónoma Chapingo	WGMS	World Glacier Monitoring Service (Servicio de Monitoreo Global de los Glaciares)
UBA	Ultra bajo azufre	WHO	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)
UD	Unidades Dobson	Wm²	Watt por metro cuadrado
Uma	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre	WMO	World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México	WRB	World Reference Base for Soil Resources (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo)
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification (Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación)	WRI	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)
UNDP	United Nations Development Program (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)	WWAP	World Water Assessment Programme (Programa Mundial de Evaluación del Agua)
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)	WWF	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)	ZMG	Zona Metropolitana de Guadalajara
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)	ZML	Zona Metropolitana de León
UN-HABITAT	United Nations Human Settlements Programme (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos)	ZMO	Zona Metropolitana de Oaxaca
UNICEF	United Nations Children's Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)	ZMQ	Zona Metropolitana de Querétaro
		ZMSLP	Zona Metropolitana de San Luis Potosí
		ZMT	Zona Metropolitana de Tijuana
		ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
		ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca

México, al igual que muchos países del mundo, se enfrenta al reto de atender y resolver una serie de problemas ambientales que podrían ser obstáculos importantes para alcanzar la sustentabilidad en el futuro. El cambio climático, la pérdida de los ecosistemas y de su biodiversidad, así como la escasez y contaminación de los recursos hídricos son, quizá, algunos de los más importantes, pero no los únicos. La necesidad de actuación se vuelve más urgente si se toma en cuenta que estos problemas han trascendido la esfera ambiental para afectar aspectos sociales y económicos. No es de extrañar, por lo tanto, que la agenda ambiental se haya posicionado en las últimas décadas, junto a la económica y social, como una de las más importantes para los gobiernos de los países de todo el mundo.

En México, desde hace varios años, pero muy decididamente en esta administración, se ha reconocido el valor del patrimonio natural como un elemento fundamental del bienestar humano, así como la importancia de su preservación para alcanzar un verdadero desarrollo sustentable. Como resultado de lo anterior, se han establecido políticas, estrategias y acciones que promueven la salud de los ecosistemas y sus componentes en una prioridad comparable a la que tienen los sistemas económico y social.

Entre los avances alcanzados en los últimos años están que los costos económicos por el agotamiento de los recursos y la degradación ambiental se redujeron cerca de 9% en los últimos tres años; la tasa de deforestación sigue disminuyendo, alcanzando las 92 mil hectáreas anuales en el periodo 2010-2015; la superficie nacional que cuenta con un instrumento de conservación, recuperación o manejo sostenible es ya cercana al 50%; en estos tres últimos años, el número de ANP con programas de manejo creció de 66 a 103, alcanzando 67% de la superficie protegida; la cobertura de agua potable y saneamiento básico alcanzó en 2015 al 95.3 y 92.8% de la población, respectivamente; el tratamiento de aguas creció en 13% entre 2012 y 2015, alcanzando cerca del 53% de las aguas residuales que se generan; y el número de Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) aumentó de 8 a 14 de 2012 a la fecha, además de que seis más se encuentran en elaboración. México también ha consolidado su liderazgo mundial en temas como biodiversidad y cambio climático. Por supuesto, también hay rubros en los que los avances son aún insuficientes y por ello la importancia de dar cuenta a la sociedad, de manera transparente y objetiva, del estado del ambiente y de los esfuerzos que se realizan y los resultados que se han obtenido.

Es en este contexto que cobra importancia El Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, en su edición 2015. Este Informe es parte del esfuerzo de la Semarnat por brindar información, confiable y oportuna, acerca del estado del medio ambiente y los recursos naturales del país, así como de las acciones efectuadas para su mejoramiento, conservación y manejo.

En él se analizan los principales cambios y tendencias en los diversos elementos del ambiente que se han observado en años recientes. Junto con el Informe se presentan también las nuevas ediciones del Compendio de Estadísticas Ambientales y de los conjuntos de Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental, Clave y los de Crecimiento Verde, obras que reúnen y sistematizan un gran acervo de datos estadísticos y que, además de constituir una fuente integrada y fácilmente accesible de información oficial, sirve de sustento al Informe. Estos productos forman parte de la respuesta de la Semarnat a la creciente demanda de información, cada vez de mejor calidad y en mayor cantidad y diversidad de temas, sobre la situación ambiental del país. Con el Informe y sus obras complementarias, nuestra institución cumple con el mandato de ley de publicar de manera periódica un informe sobre la situación general en materia de equilibrio ecológico y de la protección al ambiente.

Esta obra es el resultado del esfuerzo que realiza la Semarnat para consolidar el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) como la base de información confiable y oportuna con la que el sector ambiental no solo realiza actividades de planeación y evaluación, sino también con la que mantiene informada a la sociedad sobre el estado que guardan el ambiente y sus recursos naturales. Es importante reconocer que la elaboración de este Informe ha sido posible gracias al trabajo cotidiano y a la participación activa de múltiples áreas de la Semarnat y de otras dependencias del gobierno federal.

En la Semarnat estamos convencidos de que en la medida en que la sociedad, la academia y los tomadores de decisiones cuenten con más y mejor información ambiental podrán participar, proponer, diseñar e implementar medidas que contribuyan no solo a detener y revertir el deterioro ecológico que sufre el país, sino también a promover un desarrollo económico y social más equitativo y amigable con el ambiente.

Rafael Pacchiano Alamán

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Septiembre, 2016.

México y la comunidad internacional acordaron en septiembre de 2015, en el seno de las Naciones Unidas, comprometerse para avanzar hacia un desarrollo sostenible con objetivos y metas bien definidas con un horizonte al año 2030. De entre los 17 objetivos acordados al menos seis tienen una relación directa con el medio ambiente y los ecosistemas naturales. En este contexto, nuestro país enfrenta el reto de atender una serie de problemas ambientales que podrían constituir serios obstáculos para alcanzar la sustentabilidad en el futuro. El cambio climático, la pérdida de los ecosistemas terrestres y acuáticos y de su biodiversidad, la escasez y contaminación de los recursos hídricos y los problemas de la calidad del aire son algunos de las más importantes. La necesidad de actuación se vuelve más urgente si se toma en cuenta que muchos de estos problemas trascienden la esfera ambiental y afectan aspectos sociales tan importantes como la salud o la seguridad alimentaria, e incluso, en la esfera económica en donde ya amenazan la producción y el comercio.

En este contexto resulta muy significativo que la agenda ambiental se vaya posicionando en las últimas décadas, junto a la económica y social, como una de las más importantes para los gobiernos de los países de todo el mundo, incluido México. A ello ha contribuido, sin duda, el creciente interés de una sociedad cada vez más y mejor informada, que exige atender los problemas derivados del crecimiento de las sociedades modernas.

Un paso necesario para atender la problemática ambiental es contar con información que permita conocer la situación del ambiente y de los recursos naturales del país, así como de los factores de presión que los afectan para, con base en ella, formular estrategias y políticas de gobierno que conjunten armónicamente el desarrollo económico y la conservación y recuperación del ambiente.

Como parte de este esfuerzo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) desarrolla el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), el cual busca brindar información que respalde la toma de decisiones y permita mantener informada a la sociedad acerca del estado del ambiente y los recursos naturales del país. El SNIARN integra de manera organizada información estadística y geográfica relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales del país, así como productos de análisis como son el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) y los informes sobre la situación del medio ambiente, entre otros.

La edición 2015 del *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México* constituye una obra integral del SNIARN que recopila, integra y analiza una gran parte de la información estadística y geográfica, así como de los indicadores, contenidos en su acervo. Este informe forma una parte de una serie de productos del SNIARN que atiende el mandato establecido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de publicar de manera periódica informes sobre la situación general existente en el país en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.

Esta obra está organizada en siete capítulos: 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 (abordando las cuestiones relativas a la disponibilidad y calidad del líquido) y residuos (considerando tanto los sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos).

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 amplio. En cada capítulo, donde se ha considerado relevante y la disponibilidad de información lo ha permitido, se han incluido referencias a la situación internacional. Además, cada capítulo cuenta con recuadros en los que se profundiza respecto a un tema dado, los cuales pueden consultarse con independencia al texto principal sin afectar la continuidad de su lectura.

El primer capítulo, Población y medio ambiente, presenta las tendencias demográficas y las características socioeconómicas de la población nacional; incluye análisis sobre la relación entre la situación del ambiente en el país y diversos aspectos poblacionales. También ofrece información sobre los impactos de las actividades humanas en el ambiente, así como aspectos sobre los costos económicos y en la salud de la población relacionados con la degradación ambiental.

En el capítulo dos se describe la situación de los ecosistemas terrestres del país; los cambios y el estado de la cobertura vegetal natural y los procesos que generan el cambio de uso del suelo, tales como la deforestación, fragmentación, degradación de la vegetación y su conversión a usos agropecuarios. También se tratan aspectos relacionados con el uso de los recursos que se obtienen de los ecosistemas terrestres (principalmente los maderables y no maderables) y sobre las medidas y acciones gubernamentales que se han implementado para la conservación, uso sostenible y recuperación de los mismos.

El suelo es el tema del capítulo tres. En él se hace una breve descripción de las unidades de suelo que existen en el país. Para describir la condición de los suelos, se muestran los resultados de las evaluaciones nacionales sobre los principales procesos que los degradan y se examinan algunos de los factores causales. También se han incluido los procesos que producen la desertificación y las medidas que se han implementado para mejorar la gestión de los suelos en el país.

En el cuarto capítulo se revisa la situación de la biodiversidad en México, su grado de conservación y las amenazas más importantes, tanto a nivel de ecosistemas como de especies. Entre ellas se presentan el incremento de las actividades agropecuarias, la creciente construcción de infraestructura y el efecto de las especies invasoras. Con respecto al estado de la biodiversidad, se describe, entre otros aspectos, el grado de riesgo de los grupos biológicos principales y de sus especies. El capítulo cierra con las estrategias más importantes desarrolladas para proteger la riqueza biológica del país.

Los temas relacionados con la atmósfera se abordan en el capítulo cinco. En su primera sección, sobre la calidad del aire, se describen las emisiones de contaminantes atmosféricos y su relación con

la calidad del aire en algunas de las zonas urbanas con monitoreo. También se describe la situación y tendencias de la calidad del aire en las ciudades que cuentan con estaciones de monitoreo e información confiable. En este capítulo se abordan también dos temas de carácter global: el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico; en ellas se hace una descripción de las causas, consecuencias y medidas tomadas para enfrentar estos problemas ambientales globales. En el caso del cambio climático, se describen los acuerdos a los que llegó la comunidad internacional en la reciente COP 21 y los compromisos específicos que México ha hecho para enfrentar este problema.

En el capítulo seis se analiza 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 también se considera 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, en particular, el relacionado con la pesca.

En el capítulo siete se trata lo relativo a los residuos sólidos urbanos, los de manejo especial y los peligrosos. El análisis se hace considerando de manera integral todo el ciclo de vida de los residuos, desde la generación hasta la disposición final. Se incluyen aspectos de suma relevancia como el reciclaje y su movimiento transfronterizo. También se aborda la problemática de los sitios contaminados, las emergencias ambientales y los pasivos ambientales en el país, y la forma en que se acomete su tratamiento.

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 (en su edición 2015 y señaladas en color verde) y a los indicadores del Conjunto Básico, Clave y de Crecimiento Verde, los cuales aparecen con las siglas IB, IC e ICV, respectivamente, acompañadas por el logotipo del SNIA () al margen del párrafo en donde se mencionan. Los cuadros y los indicadores pueden 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 de indicadores mencionados anteriormente. No debe dejar de mencionarse que éstos y otros productos del SNIARN están permanentemente actualizados en su página web, en la dirección electrónica: www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales?idiom=es.

Esperamos que todo el esfuerzo de compilación e integración de información que está detrás de esta obra ayude a construir una visión más completa e integrada de la situación ambiental de 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.



Población y medio ambiente

1

Las últimas décadas del siglo XX y los primeros años del siglo XXI han dado buena muestra en los ámbitos económico, social y ambiental, de que el modelo dominante del desarrollo global es prácticamente insostenible. A pesar de los indiscutibles progresos alcanzados en el mundo durante la primera mitad del siglo pasado en materia social, económica y en desarrollo tecnológico, actualmente se reconoce que la economía mundial ha perdido dinamismo, que la mejora en la calidad de vida está lejos tanto de alcanzar a todos como de cerrar las brechas existentes, y de que el desarrollo ha ocurrido a través de un uso desmedido de los recursos naturales y de una severa degradación ambiental (CEPAL, 2016).

La comunidad global busca ahora (reforzado recientemente por la aprobación de la Agenda 2030; ver el recuadro **Los Objetivos de Desarrollo Sostenible**) establecer y seguir un modelo de desarrollo que permita tener un crecimiento económico que reduzca los niveles de pobreza y que incremente el bienestar y la calidad de vida de todos los habitantes sin hipotecar la base de recursos naturales. Ello significa un sistema económico que modifique las fases del metabolismo social que degradan el capital natural, que aproveche las fuentes renovables de energía distintas a los combustibles fósiles y que cierre los ciclos de los materiales. En términos simples, que desacople el agotamiento de las reservas de recursos y la degradación ambiental de los desarrollos económico y social.

El crecimiento de la población ha sido una de las fuerzas más frecuentemente citadas para explicar la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental (McNeill, 2006). El explosivo crecimiento poblacional mundial observado durante el siglo XX, ha sido determinante de la condición global actual (ver más adelante el recuadro **Tendencias de la población mundial**). No obstante, también se reconoce que el crecimiento *per se* no es el único factor que determina la fuerza de la presión que se ejerce sobre el ambiente y los recursos naturales. La capacidad económica de consumo de la sociedad tiene también una importante influencia, así como la eficiencia técnica con la que se usan los recursos para la producción de los satisfactores (Ehrlich *et al.*, 1971; York *et al.*, 2003). Otras variables como la desigualdad, el nivel de urbanización, el régimen jurídico y la institucionalidad también modifican la dinámica de las causas subyacentes de la presión ambiental (De Sherbinin *et al.*, 2007).

Recuadro | Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En septiembre de 2015, los 193 Estados miembro de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) firmaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual continúa la tarea comenzada en el año 2000 por los Objetivos de Desarrollo del Milenio¹ (ODM) y que la comunidad internacional se comprometió a cumplir en 2015.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), complementan pero van mucho más allá de los ODM; buscan incidir en las causas estructurales que impiden el progreso social y económico sostenible de los países (ONU, 2016). Para alcanzar este cometido los ODS abordan tres dimensiones: económica, social y ambiental. Sus 17 objetivos comprenden 169 metas, los cuales deberán cumplirse en un plazo de 15 años. La Figura a muestra los ODS y su relación con los ODM.

Figura a | Los Objetivos de Desarrollo Sostenible: su relación con los Objetivos de Desarrollo del Milenio



¹ Los ODM, adoptados en 2000, tenían entre sus objetivos más importantes la reducción de la pobreza, el hambre, las enfermedades, la desigualdad de género y el acceso al agua y saneamiento.

Aun cuando los Objetivos se enfocan principalmente en problemáticas que sufren los países en desarrollo, también tienen aplicación en los países desarrollados, donde es necesario avanzar en temas como igualdad de género, producción y consumo responsable, cuidado del ambiente y lucha contra el cambio climático, por mencionar solo algunos temas (ONU, 2016).

México participó activamente en las negociaciones para el acuerdo de la nueva Agenda 2030. A lo largo de los años 2013 y 2014 tomó parte en las consultas y negociaciones realizadas en el Grupo de Trabajo Abierto de la Asamblea General sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (GTA-ODS), el cual generó un informe final que contiene la propuesta de ODS y que por acuerdo de la Asamblea General de Naciones Unidas será la base principal para integrar la nueva Agenda de Desarrollo (ONU-México, 2016).

Referencias:

ONU. *The Sustainable Development Goals Report 2016*. ONU. 2016. Disponible en: <http://unstats.un.org/sdgs/report/2016/The%20Sustainable%20Development%20Goals%20Report%202016.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2016.

ONU-México. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. 2016. ONU-México. Disponible en: www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/. Fecha de consulta: agosto de 2016.

En este contexto, el llamado a la acción global es impostergable si también se toma en cuenta que la evidencia científica sugiere que, por un lado, ya se han rebasado los “límites planetarios” de procesos tan importantes como los ciclos del nitrógeno y del fósforo y de erosión de la diversidad genética; y por otro, que se han incrementado los riesgos de sobrepasarlos en el caso del cambio climático, el cambio de uso del suelo y la biodiversidad (ver Steffen *et al.*, 2015; ver el recuadro **Los límites planetarios**). Si bien no se tiene certeza de la intensidad y naturaleza de los efectos que esto podría ocasionar, es muy probable que transgredir los límites del sistema climático y de la integridad de la biosfera, considerados como los dos núcleos del sistema planetario, podría llevar a un nuevo orden en el planeta (Steffen *et al.*, 2015), con graves consecuencias económicas y sociales que pueden extenderse no solamente a las condiciones actuales y de mediano plazo, sino involucrar el bienestar de las siguientes generaciones.

MÉXICO: DESARROLLO VERSUS DEGRADACIÓN AMBIENTAL

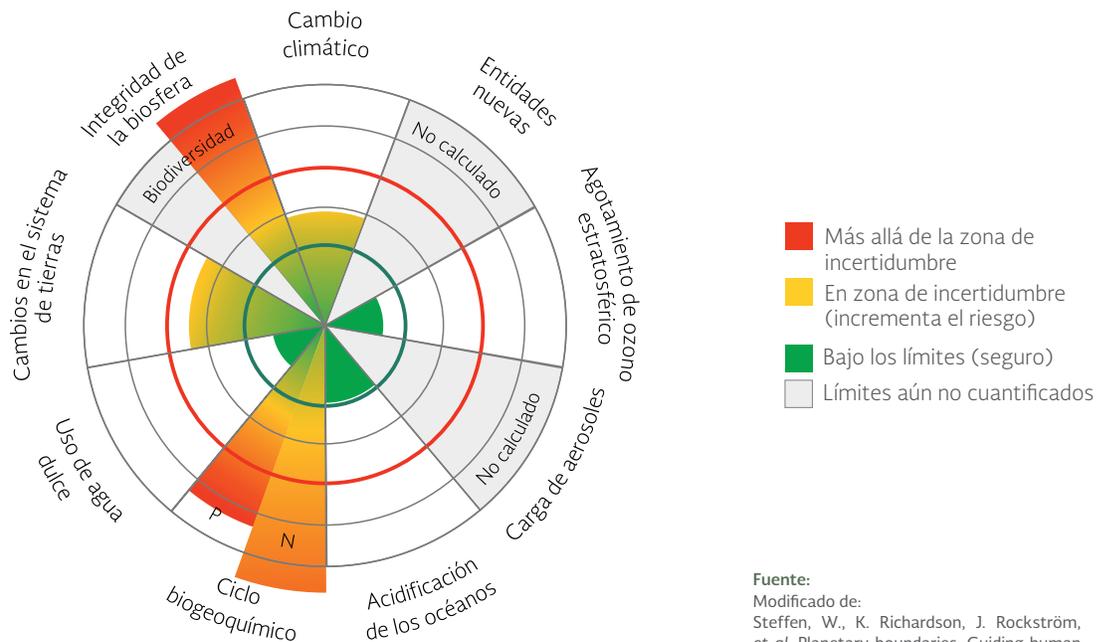
El caso de México ilustra bien el derrotero que siguieron muchos países bajo el modelo dominante de desarrollo. La economía nacional de la segunda mitad del siglo XX tuvo como eje de articulación, primeramente, las políticas enfocadas al crecimiento y la industrialización planificada por el Estado. Abiertamente se favoreció el incremento poblacional, la expansión de las fronteras agrícolas, la creación y consolidación de poblados y núcleos urbanos, el desarrollo de las industrias y los servicios públicos. Posteriormente, durante el último tercio del siglo, la norma de desarrollo continuó con la búsqueda del crecimiento, pero con énfasis en la desregulación, la privatización y la inserción en el mercado global. Durante esta etapa continuó la urbanización y se amplió la infraestructura de telecomunicaciones.

Recuadro | Los límites planetarios

Fenómenos como el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono, la acidificación de los océanos y la acelerada pérdida de los ecosistemas y su biodiversidad han llevado a algunos científicos a cuestionarse si los cambios observados podrían desestabilizar al sistema planetario y ocasionar consecuencias adversas para la humanidad. Con este enfoque surgió el concepto de los “límites planetarios”, que si bien ha sido materia de debate desde su aparición en 2009 (ver por ejemplo, Donohue *et al.*, 2016), ha resultado muy útil para estimular la discusión entre los científicos sobre el funcionamiento y la resiliencia del sistema planetario.

Un límite planetario delimita un ámbito de actividad seguro para los seres humanos respecto de la resiliencia de la biosfera; en otras palabras, establece la capacidad de la biosfera para recuperarse de las perturbaciones (ocasionados principalmente por las actividades humanas) y regresar a un estado estable (Rockstrom, 2009). Hasta la fecha se han identificado nueve procesos clave que mantienen la integridad del sistema planetario (Figura a). Con base en el conocimiento disponible y la incertidumbre asociada al funcionamiento de estos procesos, se han sugerido los niveles actuales de las variables de control del sistema, así como los umbrales de operatividad segura y los umbrales de incertidumbre máxima o puntos de bifurcación.

Figura a | Los límites planetarios, su estado actual y los rangos de incertidumbre



De acuerdo con Steffen y colaboradores (2015), actualmente los ciclos biogeoquímicos del fósforo y el nitrógeno y la integridad de la biosfera (por su componente relacionado con la pérdida de diversidad genética) se encuentran en una zona de alto riesgo en la que podrían interferir con el sistema planetario. En la zona de riesgo medio se sugiere que se encuentran el cambio climático y el cambio del uso del suelo de bosques boreales, templados y tropicales. Por su parte, se encontrarían en una zona de operatividad segura la extracción de agua dulce (aunque con gran heterogeneidad regional), el agotamiento de la capa de ozono y casi en el límite la acidificación oceánica. Aún no se han podido delimitar los umbrales para la contaminación atmosférica por aerosoles, la introducción de sustancias químicas y organismos sintéticos, y la diversidad funcional de especies (Steffen *et al.*, 2015).

Algunos de los límites planetarios tienen expresiones regionales muy marcadas que sesgan su valor de operatividad. Por ejemplo, en cuanto a extracción de agua que excede la capacidad de sus cuencas, sobresalen India, la porción noreste de China, Oriente Próximo, la Europa mediterránea, la costa oeste de Estados Unidos y el Valle de México.

Recientemente, Steffen y colaboradores (2015) han sugerido la existencia de dos sistemas que tienen, por sí mismos, la capacidad de mover al sistema planetario a un nuevo estado. Estos sistemas son la integridad de la biosfera (genes y especies) y el cambio climático, pues regulan la magnitud y el flujo de energía y materiales de toda la biosfera y su respuesta ante cambios abruptos. Actualmente, ambos sistemas se encuentran fuera de los umbrales de operatividad segura.

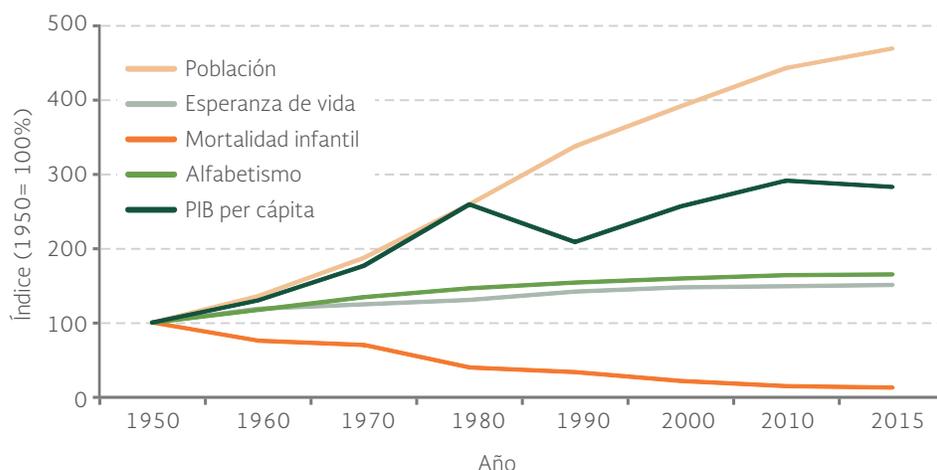
Referencias:

- Donohue, I., H. Hillebrand, J.M. Montoya, *et al.* Navigating the complexity of ecological stability. *Ecology Letters* 19: 1172–1185. 2016.
- Rockström, J. *Bounding the Planet Future: Why we need a Great Transition*. Great Transition Initiative Essay. 2015.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, *et al.* A safe operating space for humanity. *Nature* 461(24): 472-475. 2009.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223). 2015.

El desarrollo económico alcanzado por México permitió ampliar el bienestar social de una parte importante de la población. Entre 1950 y mediados de la segunda década del siglo XXI, el producto interno bruto (PIB) per cápita creció casi tres veces (Figura 1.1), poco más de lo que lo hiciera a nivel global, que aumentó alrededor de dos veces. Paralelamente, un mayor acceso a los servicios de salud y la aplicación de los avances de las ciencias médicas elevaron la esperanza de vida de los mexicanos de cerca de 50 a 74 años y redujeron la mortalidad infantil de 98 a 12 niños por cada 1 000 nacimientos en el periodo. El alfabetismo también se amplió, pasando del 57 a cerca del 94% de la población.

Sin embargo, la mejora de la calidad de vida no permeó en toda la sociedad y la geografía mexicanas. Amplios sectores de la población han permanecido en condiciones marginales sin acceso a muchos de los servicios básicos que le permitan alcanzar su completo desarrollo humano: alrededor del

Figura 1.1 | Cambio de diferentes variables económicas y sociales, 1950 - 2015



Fuentes:

Población:

INEGI. *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. México. 2011.

Esperanza de Vida:

Conapo. *Situación demográfica de México. 2010*. Conapo. México. 2010.

Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. 2013.

Mortalidad infantil:

INEGI. *Sistema para la consulta de las Estadísticas Históricas de México*. INEGI. México. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/ehm2014.exe/C1010070>. Fechas de consulta: mayo de 2016.

Alfabetismo:

INEGI. *Sistema para la consulta de las Estadísticas Históricas de México*. INEGI. México. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/ehm2014.exe/C1010070>. Fechas de consulta: mayo de 2016.

PIB per cápita:

Fenestra, R., C. Inklaary y M.P. Timmer. *Penn World Table 8.1*. Disponible en: www.rug.nl/research/ggdc/data/pwt/pwt-8.1. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. 2013.

INEGI. *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. México. 2011.

46.2% de la población vive aún en condiciones de pobreza (55.3 millones de personas; ver sección **Condición socioeconómica de la población mexicana** en este capítulo) y cerca del 10% de la población lo hace en condiciones de pobreza extrema. A la fecha, uno de cada cinco mexicanos vive aún en una vivienda precaria¹ y la desigualdad persiste como uno de los rasgos característicos de la población: tan sólo en términos de la inequidad en el ingreso, el coeficiente de Gini² no ha mostrado una tendencia clara hacia el cierre de la brecha en los últimos quince años³ (**ICV CSE 3.2.1**). A ellos debe sumarse el acceso limitado a los servicios de salud, la educación superior y el empleo digno (Cortés, 2010).



Aparejado de estos cambios sociales y económicos, también vino la pérdida y el deterioro del capital natural⁴ nacional (Figura 1.2). En la medida en la que la población y el PIB nacional

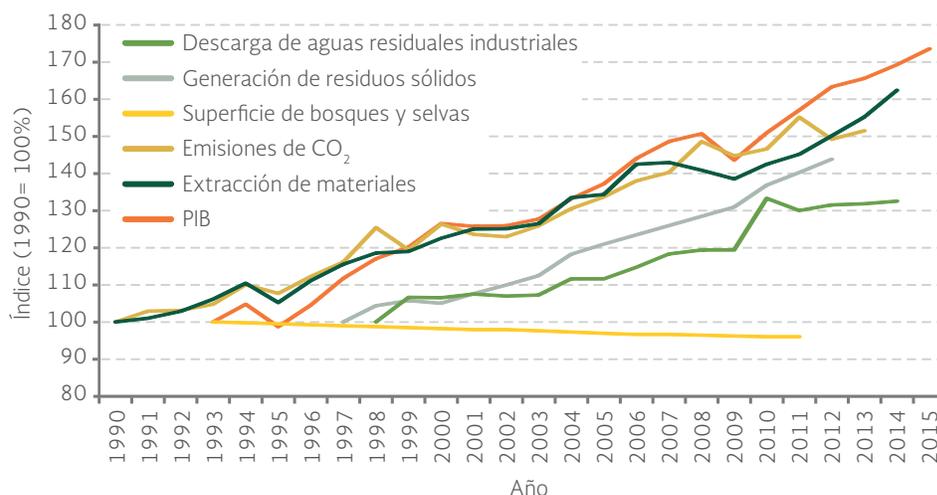
¹ Se refiere a una vivienda sin acceso a una fuente de agua mejorada, drenaje y saneamiento adecuado, materiales de construcción apropiados y/o espacio suficiente para vivir.

² La inequidad en el ingreso se mide a través del coeficiente de Gini, que toma valores entre cero y uno: entre mayor sea su valor indica una mayor concentración de los ingresos, es decir, una mayor desigualdad entre los habitantes.

³ El coeficiente ha oscilado entre valores de 0.45 y 0.48.

⁴ Éste se concibe, en una de sus definiciones más comunes, como el conjunto de recursos naturales y servicios ambientales que proveen los ecosistemas y que hacen posible la vida en la biosfera y el desarrollo humano.

Figura 1.2 | Cambio de diferentes variables ambientales y PIB, 1990 - 2015



Fuentes:

PIB:

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. INEGI. México. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibt/. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Residuos:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginales. Sedesol. México. 2013.

Bosques y selvas:

Elaboración propia con datos de:

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

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

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

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

Emisiones CO₂:

INECC, Semarnat. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC, Semarnat. México. 2015.

Aguas residuales industriales:

CNA, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ediciones 2002. CNA. México. 2003.

Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2007, 2008, 2010 y 2011. Conagua. México. 2007, 2008, 2010 y 2011.

Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ediciones 2011 - 2013. Conagua. México. 2011 - 2013.

Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2014. Conagua. México. 2014.

Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2015. Conagua. México. 2015.

Extracción de materiales:

DGEIA, Semarnat. Indicadores de Crecimiento Verde. México. Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_verdes/indicadores/02_productividad/2.1.1.html. Fecha de consulta: mayo de 2016.

crecieron lo hicieron también la emisión de contaminantes y la pérdida de la superficie de muchos ecosistemas naturales (Figura 1.2). Entre 1990 y los primeros años de la segunda década de este siglo, las emisiones de bióxido de carbono crecieron poco más del 50%⁵, la generación de residuos sólidos y aguas residuales industriales en 44%⁶ y 33%⁷, respectivamente, y se perdieron alrededor de 6.3 millones de hectáreas de bosques y selvas⁸. Por el lado de la extracción de los materiales⁹ que se incorporaron en la economía, en el mismo periodo creció cerca de 62%, en algunos casos con cifras tan relevantes como en el caso de la extracción de metales, que creció alrededor de 180% (ICV P 2.1.1).

⁵ Periodo 1990-2012.

⁶ Periodo 1997-2012.

⁷ Periodo 1998-2014.

⁸ Periodo 1993-2011.

⁹ La extracción de materiales mide el volumen, en toneladas, de la extracción efectuada en el territorio nacional de materias primas que después se insertan en la economía (no necesariamente nacional, pues muchos de ellos se exportan).



En este capítulo se presentan, primeramente, las tendencias demográficas en México, incluyendo el crecimiento de la población, su estructura y su distribución geográfica. En el segundo apartado se analiza la condición socioeconómica de la población nacional, haciendo énfasis en dos aspectos relevantes, su desarrollo humano y su situación de pobreza. Se explora también aquí la relación entre el desarrollo humano y la magnitud y el sentido de su presión sobre el ambiente. En la sección final, se ofrece una visión, tanto global como en México, de los impactos de las actividades humanas en el ambiente, esto a través de las huellas ecológica, hídrica y humana, así como por sus efectos en la economía (por medio de los costos monetarios resultado de la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales) y en la salud de la población, en este último caso, por las enfermedades cuyo origen se vincula a la degradación ambiental.

TENDENCIAS DE LA POBLACIÓN MEXICANA

Al igual que en el resto del mundo, la población mexicana mostró un importante crecimiento durante la segunda mitad del siglo pasado. A la notable caída de la población entre 1910 y 1920, debido al conflicto armado revolucionario y a las epidemias que afectaron el país, le siguió una etapa de crecimiento que alcanzó su valor máximo en los años setenta (a una tasa del 3.6% anual; Figura 1.3) y que se acompañó de un destacado crecimiento económico y desarrollo social. Las últimas décadas, en contraste, se han caracterizado por la reducción paulatina en la velocidad del crecimiento poblacional y por el periodo del llamado “bono demográfico”. Para comparar la situación nacional con la tendencias global y regional de la población, ver el recuadro [Tendencias de la población mundial](#).

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), entre 1910 y 2015 la población nacional creció casi ocho veces, pasando de alrededor de 15.2 a 119.94¹⁰ millones de personas. Por el tamaño de su población, México es el onceavo país más poblado en el mundo, y el segundo lugar en Latinoamérica, tan sólo detrás de Brasil, que en 2010 tenía una población de 195.2 millones de personas (UN, 2014).

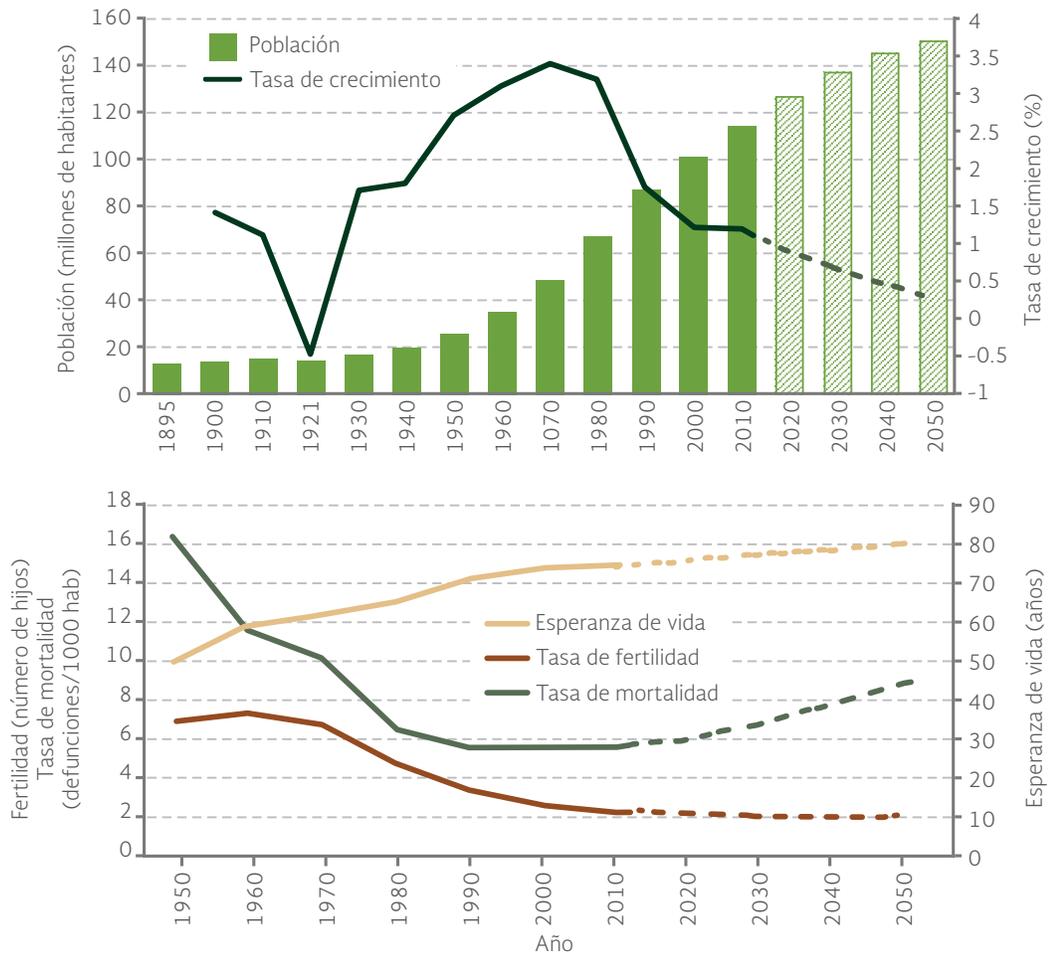
En las últimas décadas, sin embargo, la tasa del crecimiento de la población se ha reducido. Entre 2000 y 2015, pasó de 1.49 a 1.15% anual (**ICV CSE 1.1.1**; Figura 1.3). Su disminución ha sido el resultado principalmente de la reducción de la fertilidad (que pasó de 6.8 a 2.2 hijos por mujer en promedio entre 1950 y 2014) que sobrepasó el efecto positivo sobre la tasa de crecimiento ocasionada por la reducción de la tasa de mortalidad (que se redujo de poco más de 16 personas por cada mil habitantes en 1950 a solo 5.7 en 2010; Figura 1.3). De acuerdo con las proyecciones poblacionales, aún con la tasa de crecimiento a la baja, la población mexicana seguirá creciendo para alcanzar en el 2050 los 150.8 millones de habitantes (Conapo, 2013; Figura 1.3).

Con el crecimiento poblacional también vino el aumento de la densidad poblacional. En poco más de un siglo, su valor se multiplicó por un factor de ocho veces y media: mientras que en 1900 la densidad estimada era de 6.9 habitantes por kilómetro cuadrado, en 2014 alcanzó los 58.3¹¹, valor superior al promedio mundial de 51 habitantes por kilómetro cuadrado en 2010. Con base en las

¹⁰ La cifra de 2015 incluye a las 407.7 mil personas sin residencia o con residencia colectiva del Servicio Exterior Mexicano.

¹¹ En México, uno de los municipios más densamente poblados es el de Ecatepec, en el estado de México, con un valor estimado de alrededor de 87 mil habitantes por kilómetro cuadrado.

Figura 1.3 | Población total y tasa de crecimiento en México, 1895 - 2050¹



Nota:
¹ Las líneas discontinuas representan proyecciones.

Fuentes:
 Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. 2013.
 Conapo. *Situación demográfica de México 2010*. Conapo. México. 2010.

proyecciones poblacionales, se espera que para 2030 la densidad alcance los 70.12 habitantes por kilómetro cuadrado y para 2050, los 76.9 (Conapo, 2013). Para este último año, la densidad estimada sería cerca de dos veces mayor que el valor latinoamericano para esa misma fecha (38 hab/km²) y un poco más alto que el valor mundial (70 hab/km²).

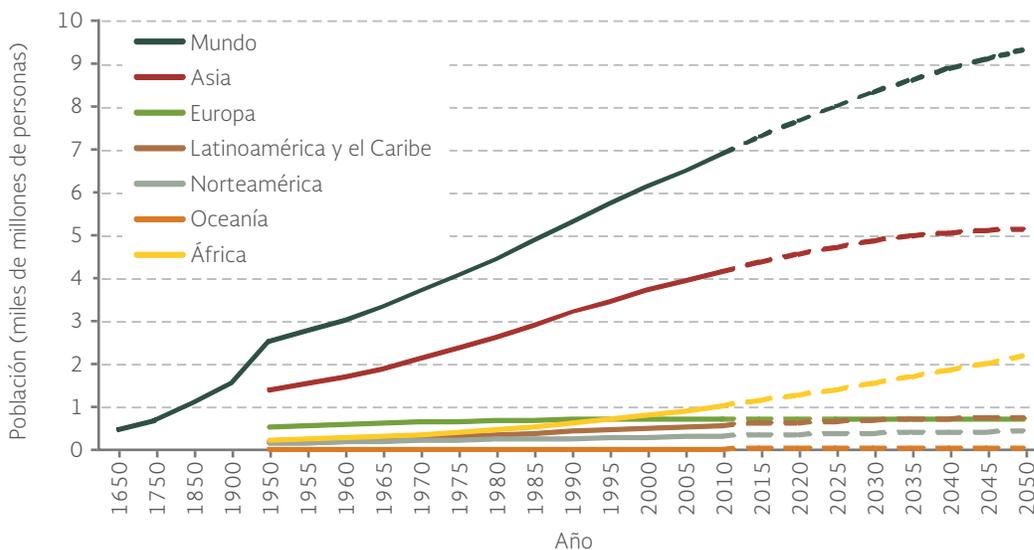
La población mexicana es, en términos generales, una población joven. Alrededor del 39% de la población es menor de 20 años (Figura 1.4). Sin embargo, en años recientes la proporción de infantes se ha reducido, mientras que la de jóvenes y adultos mayores crecieron, es decir, estamos en un periodo de envejecimiento poblacional que se prolongará por varias décadas. En 1950, la proporción de niños y niñas en edad preescolar (0-4 años) era de 15.4%, la que bajó a 9.85% en 2010; por su parte, los adultos mayores de 65 años y más, pasaron de 3.4 a 6.2% de la población en el mismo periodo. En el caso de la población en edad productiva (es decir, la que se encuentra entre los 15 y los 64 años), pasó de 59 a 62% de la población entre 2000 y 2010.

Recuadro | Tendencias de la población mundial

Uno de los rasgos más notables de la población humana en el planeta ha sido su acelerado crecimiento en el último siglo. Los registros históricos indican que en 1650 la población mundial fluctuaba entre 424 y 484 millones de personas (Figura a); para inicios del siglo XX esta cifra se habría triplicado hasta alcanzar los 1 550 millones (Caldwell y Schindlmayr, 2002); sin embargo, el crecimiento más acelerado comenzó a mediados del siglo XX, impulsado principalmente por el aumento de la natalidad y la disminución de la mortalidad en las regiones menos desarrolladas del mundo. Para finales del siglo XX se habían rebasado los seis mil millones de personas y para mediados de 2015 se estimó que en el planeta vivían alrededor de 7 350 millones de seres humanos (UN, 2015). La División de Población de las Naciones Unidas prevé que la población mundial seguirá aumentando hasta alcanzar en el año 2050 más de 9 550 millones de personas, es decir, 2 200 millones de habitantes más que en 2015 (UN, 2015).

La contribución de cada región del mundo a este crecimiento ha sido contrastante y lo será aún más en el futuro. En Asia, por ejemplo, en 1950 había 1 396 millones de personas y para 2010 la población casi se triplicó para sumar los 4 165 millones. Para 2050 se espera

Figura a | Crecimiento de la población mundial por región, 1650 - 2050¹



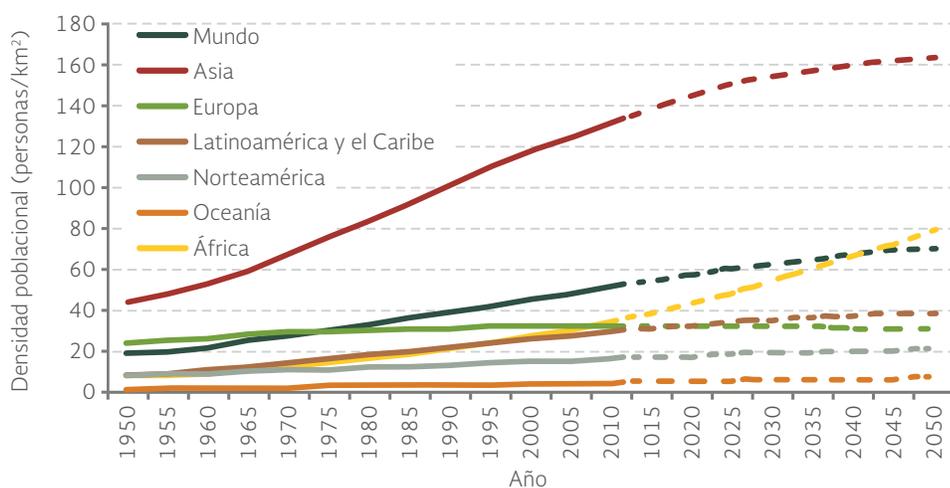
Nota:

¹ 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. *World Population Prospect: The 2010 revision*. On-line Database. Department of Economic and Social Affairs. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Disponible en: http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm. Fecha de consulta: agosto de 2015.

Figura b | Densidad poblacional mundial por región, 1950 - 2050¹



Nota:

¹ Las líneas discontinuas representan proyecciones.

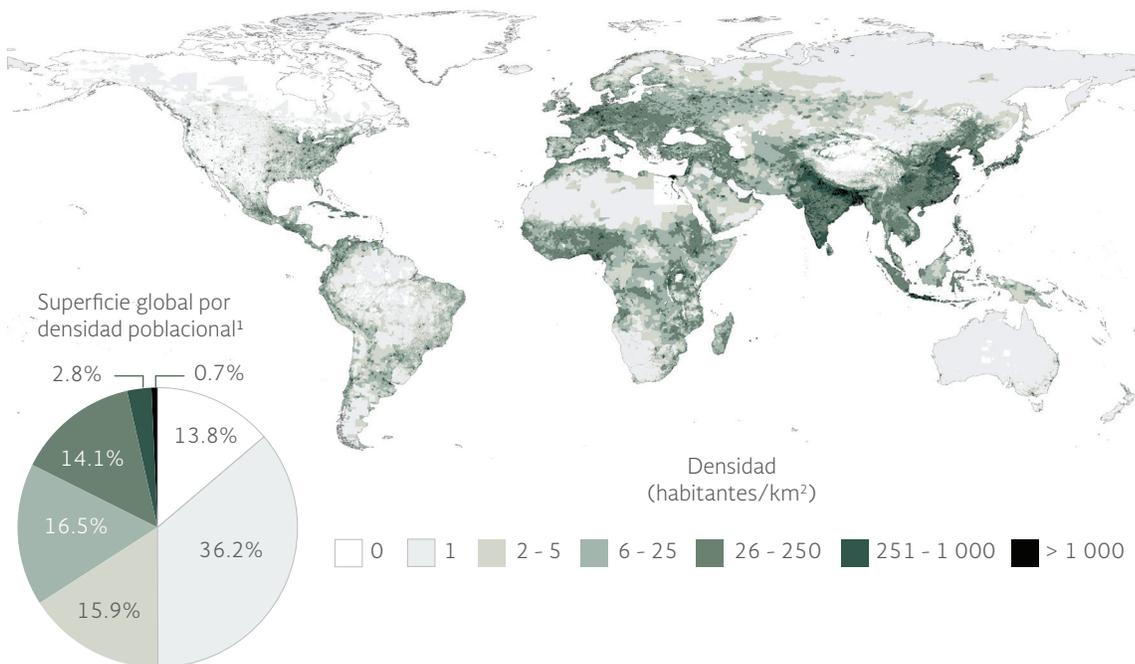
Fuentes:

Caldwell, J.C. y T. Schindlmayr. Historical population estimates: unraveling the conensus. *Population and Development Review* 28: 183-204. 2002.
 UN. *World Population Prospect: The 2010 revision*. On-line Database. Department of Economic and Social Affairs. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Disponible en: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>. Fecha de consulta: abril de 2015.

que la mitad de la población mundial habite esa región, es decir, cerca de 5 164 millones de personas. En contraste, en 1950 en Latinoamérica y el Caribe había 168 millones de habitantes y en 2010 alrededor de 596 millones (UN, 2015), es decir, casi siete veces menos habitantes que en Asia.

Como resultado del crecimiento poblacional global, la densidad también ha cambiado: entre 1950 y 2010 pasó de 19 a 51 personas por kilómetro cuadrado; se espera que en el futuro siga creciendo y que en el año 2050 alcance 70 habitantes por kilómetro cuadrado (Figura b). No obstante, existen notables diferencias en la concentración de la población sobre el planeta. En 2010, alrededor del 52% de la superficie terrestre tenía densidades menores a los 5 habitantes por kilómetro cuadrado, y tan solo el 0.7% de la superficie registraba densidades mayores a los mil habitantes (Mapa a). Concentraciones importantes de población se observan en India y la costa noreste de China, con extensas zonas con densidades mayores a los 250 habitantes por kilómetro cuadrado. Casos particulares son los de ciudades como Bombay, en India, París, Francia o Nueva York, Estados Unidos, en los que las densidades oscilan entre los 45 y 49 mil habitantes por kilómetro cuadrado. Sanghai, en China, es un caso extremo, en 2010 su densidad se estimaba en 121 mil habitantes por kilómetro cuadrado (CIESIN, 2016). Se espera que en 2050 en Asia la densidad poblacional promedie hasta 163 habitantes por

Mapa a | Densidad poblacional mundial, 2010



Nota:

¹ La superficie global considerada fue de 212.56 millones de km²

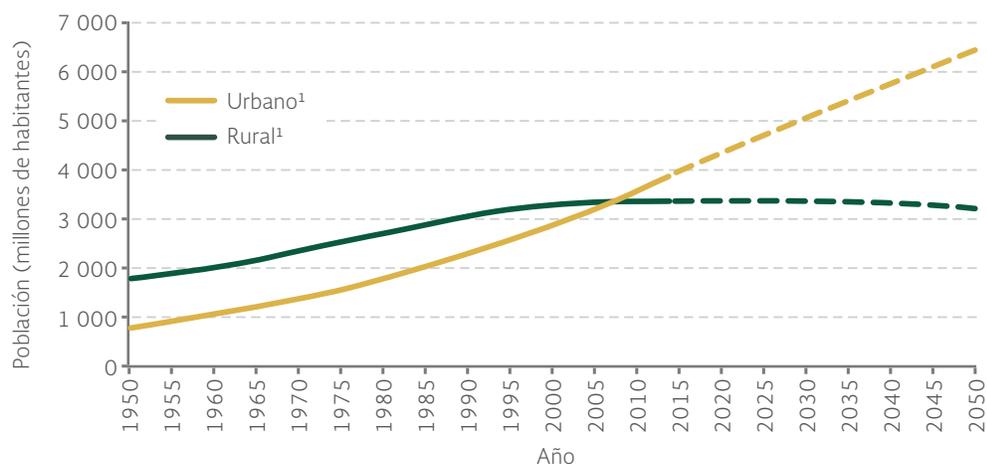
Fuente:

Elaboración propia con datos de: CIESIN, Columbia University. 2016. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4). Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4>. Fecha de consulta: junio de 2016.

kilómetro cuadrado; en Latinoamérica y el Caribe podría alcanzar 38 habitantes por kilómetro cuadrado en 2050, es decir, cuatro veces menos que la región asiática (Figura b).

Además de su crecimiento acelerado, otro rasgo sobresaliente de la población humana es su concentración en zonas urbanas. Las ciudades son los centros en los que se dirige el desarrollo económico y social de los países, ello principalmente debido a que son los concentradores de las actividades comerciales, de comunicación, transporte y asiento de los gobiernos (UN, 2014). Mientras que en 1950 el 30% de la población global (alrededor de 700 millones de personas) habitaba zonas urbanas, en 2014 esta cifra se multiplicó por un factor de poco más de cinco para alcanzar los 3 900 millones, esto es, el 54% de la población (Figura c). En 2014, las regiones más urbanizadas eran Norteamérica (82%) y Latinoamérica y el Caribe (80%); en contraste, África y Asia permanecían predominantemente rurales, con 40 y 48% de sus poblaciones en zonas urbanas, respectivamente (UN, 2014). Para 2050 se estima que el 66% de la población global (6 300 millones de personas) habite zonas urbanas.

Figura c | Población global urbana y rural, 1950 - 2050



Nota:

¹ Las líneas punteadas corresponden a proyecciones.

Fuente:

UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. UN. 2014.

Referencias:

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

CIESIN, Columbia University. *Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4)*. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). 2016. Disponible en: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4>. Fecha de consulta: junio de 2016.

UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. UN. 2014.

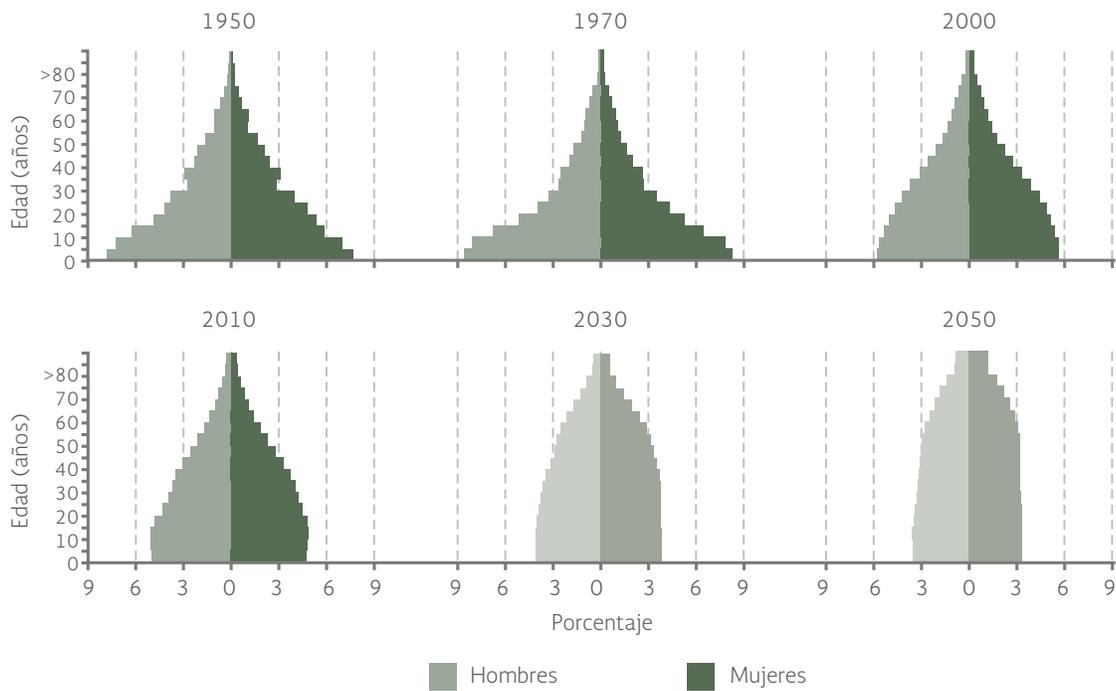
UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2015 Revision*. UN. Disponible en: <https://esa.org.unpd/wpp/>. Fecha de consulta: julio de 2016.

El envejecimiento o rejuvenecimiento de la población puede tener consecuencias económicas y sociales importantes; la llamada “razón de dependencia” muestra el esfuerzo relativo teórico que la población en edad productiva debería realizar para sostener las necesidades y la calidad de vida de la población más vulnerable que no labora en un momento particular¹². Dicho de otro modo, es la relación entre los que “dependen” y los que “producen”. En 1970, el número de personas dependientes era de 99.7 por cada 100 productivas, y para 2010 se calculaba en 55.8 (Figura 1.5; **ICV 1.1.5**). Se considera que la reducción de dicha razón puede ser benéfica para la economía en virtud de que posibilita el incremento en el consumo e incrementa la capacidad de ahorro de la población, entre otros efectos. Si se analiza por separado la dependencia infantil y la de adultos mayores, se observa que la infantil ha seguido una tendencia decreciente, en contraste con la de los de adultos mayores, que pasó de 7.43 a 9.63 por cada 100 personas en edad productiva entre los años 1990 y 2010.



¹² La razón de dependencia refleja la relación entre el número de personas que por su edad no se encuentran activas en términos económicos (0-14 años y 65 y más años) y las que sí lo están (entre 15 y 64 años). A mayor valor de este cociente, mayor será la carga para la población activa. Es importante considerar que esta medida muestra una relación teórica entre la población dependiente y la población en edad productiva. En realidad no todas las personas menores a 15 años o mayores de 65 años se encuentran inactivas, ni todas las que pertenecen a la población en edad productiva se encuentran laborando en un momento particular.

Figura 1.4 | Estructura de edades de la población en México, 1950 - 2050¹



Nota:

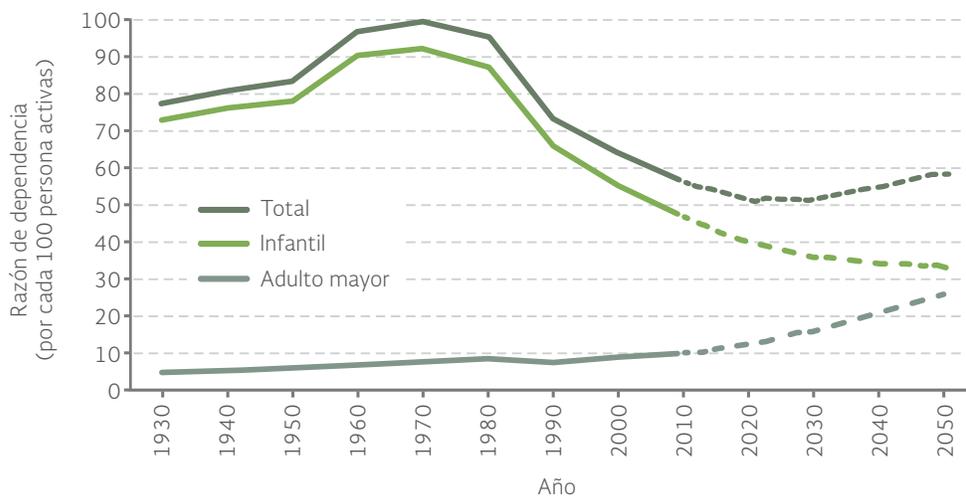
¹ Los datos de 2030 y 2050 representan proyecciones.

Fuentes:

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*. INEGI. México.

Figura 1.5 | Razón de dependencia infantil, adulto mayor y total en México, 1930 - 2050¹



Nota:

¹ A partir de 2010, los valores representan proyecciones poblacionales.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conapo. *Diagnóstico socio-demográfico del envejecimiento en México*. Serie de Documentos Técnicos. Conapo. México. 2011.

Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. Abril de 2013.

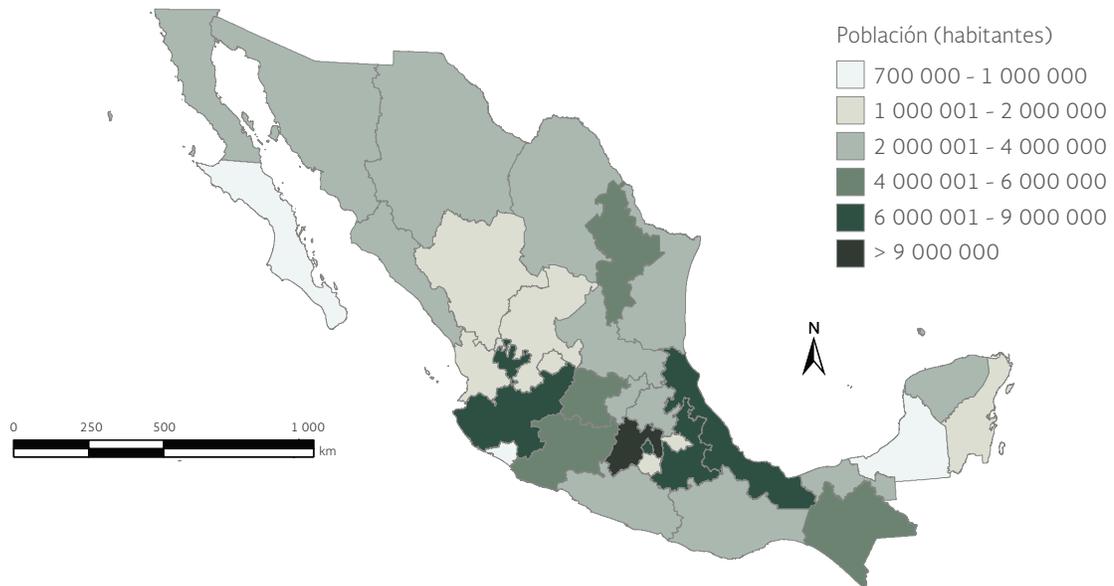
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA POBLACIÓN EN MÉXICO

La colonización histórica de ciertas regiones del país favorecidas por su clima y disponibilidad de recursos naturales, sumado a su crecimiento poblacional posterior, han contribuido a crear un mosaico heterogéneo en la distribución geográfica de la población nacional. Aunado a ello, fenómenos económicos y sociales que empezaron en la segunda mitad del siglo pasado y que continúan hasta la fecha, como por ejemplo el de la urbanización y la migración, han contribuido a intensificar este patrón.

La población del país se concentra en la zona central del territorio (Mapa 1.1). En 2015, en tan solo siete entidades del centro del país (Distrito Federal, Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala), que suman el 5% del territorio, habitaban 39.3 millones de habitantes, es decir, el 32.9% de la población nacional. En ese año, las entidades con mayor población fueron el estado de México (16.2 millones de habitantes, 13.5% de la población nacional), el Distrito Federal (8.9 millones, 7.5%), Veracruz (8.1 millones; 6.8%) y Jalisco (7.8 millones; 6.6%). Las entidades con menor población fueron Colima (711 mil habitantes; 0.6%), Baja California Sur (712 mil; 0.6%) y Campeche (poco menos de 900 mil; 0.8%).

En 2010, la población de México se distribuía en poco más de 192 mil localidades, de las que aproximadamente 189 mil eran de tipo rural¹³, poco más de 3 mil del tipo mixto o de transición y 630 urbanas¹⁴ (Figura 1.6). La mayor densidad de localidades se encuentra en el centro del país,

Mapa 1.1 | Población total por entidad federativa, 2015

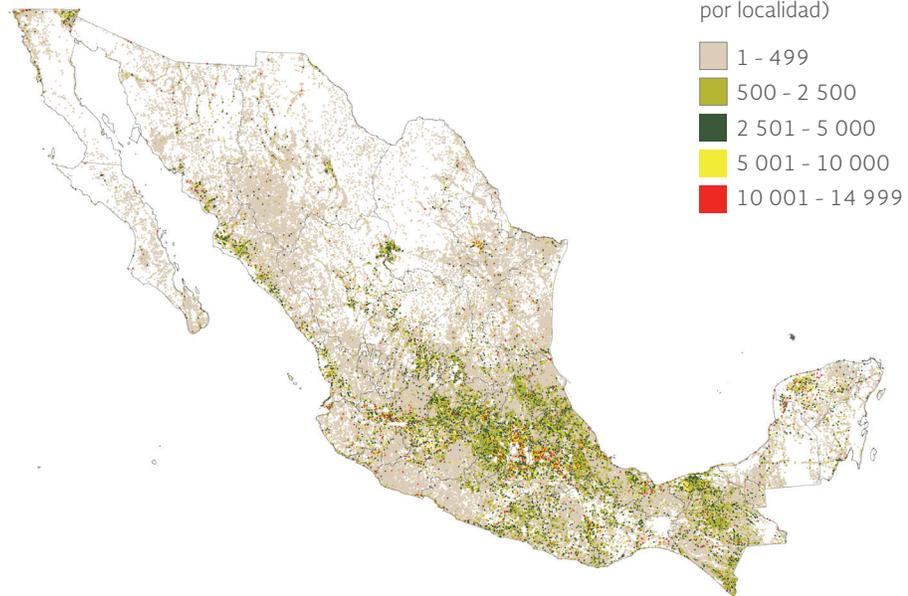


Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. INEGI. México. 2015.

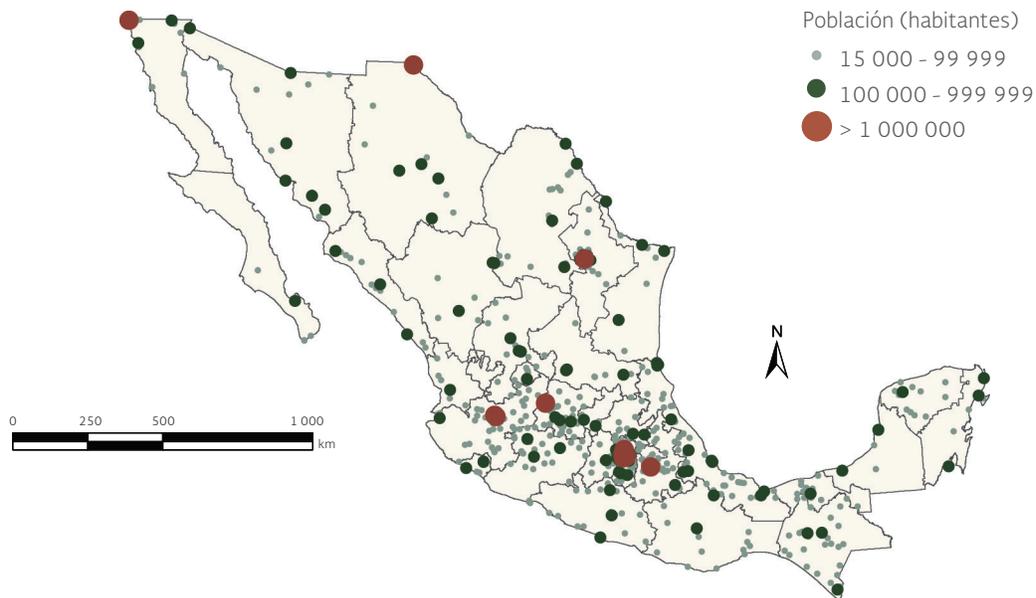
¹³ El 16% de ellas mostraban escasa comunicación con otros centros poblacionales al estar alejadas por al menos un kilómetro de distancia de cualquier carretera.
¹⁴ Para el INEGI, las localidades rurales son aquellas con menos de 2 500 habitantes, las localidades mixtas o en transición son aquellas con una población entre 2 500 y 14 999 habitantes, y las localidades urbanas poseen 15 000 o más habitantes.

Figura 1.6 | Distribución de las localidades rurales, en transición y urbanas en México, 2010

Localidades rurales y en transición



Localidades urbanas

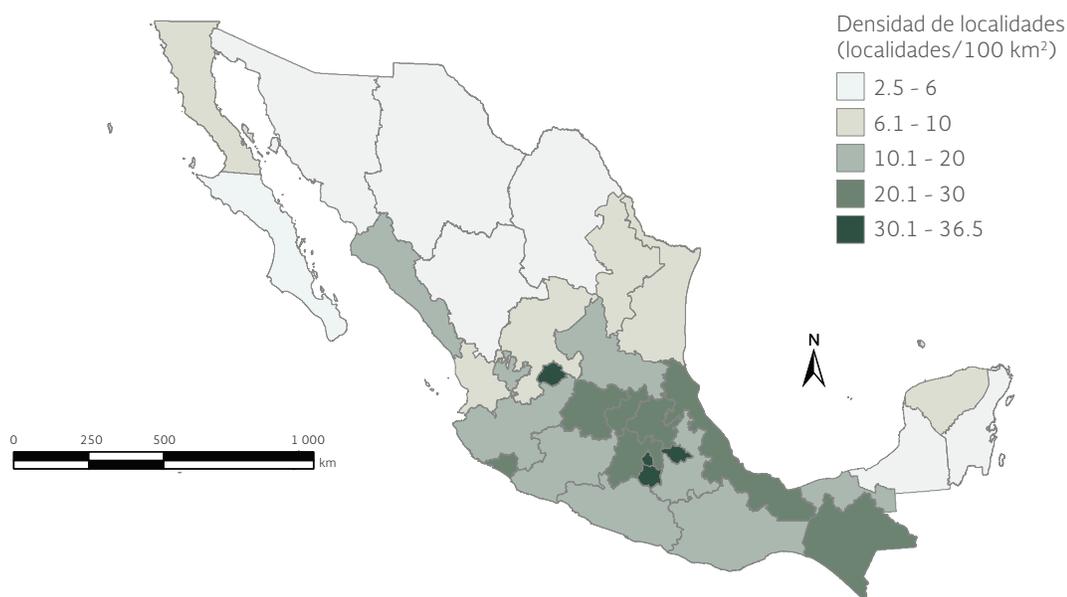


Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. México 2011.

en estados como Aguascalientes, que en 2010 promediaba 35.6 localidades¹⁵ por cada cien kilómetros cuadrados de territorio, seguido por Tlaxcala (33.1), Morelos (30.4), Guanajuato (29.4) y Veracruz (28.6; Mapa 1.2). En contraste, los estados del norte del país, con los mayores territorios y con una ocupación histórica significativamente menor a la del centro del país,

¹⁵ Incluye localidades rurales, mixtas o en transición y urbanas. La media nacional es de 9.7 localidades por cada cien kilómetros cuadrados.

Mapa 1.2 | Densidad de localidades por entidad federativa, 2010



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

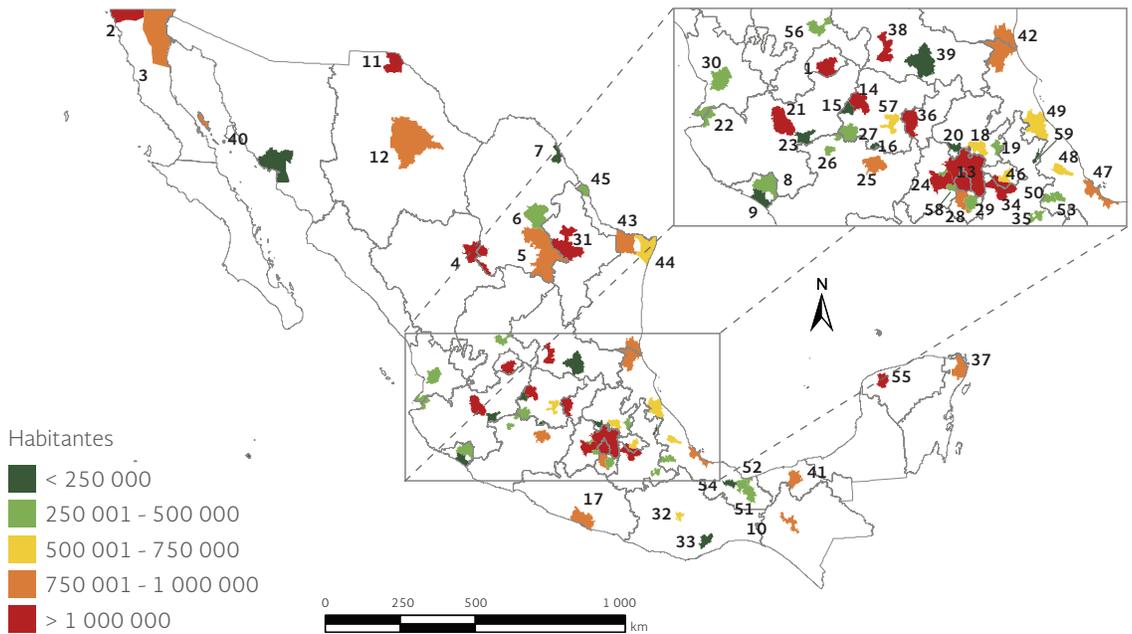
registraban en el mismo año la menor densidad de localidades: Coahuila (2.5 localidades/100 km²), Baja California Sur y Sonora (cada una con 3.9) y Quintana Roo (3.86).

Aun cuando la mayor parte de las localidades en el país son rurales, la población mexicana, al igual que la población global, ha tendido a la urbanización. En 2015, las 59 zonas metropolitanas albergaban 68.1 millones de personas (56.98% de la población nacional), siendo la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) la más poblada, con 20.8 millones de habitantes (30.6% del total de las zonas metropolitanas; Mapa 1.3). En segundo y tercer lugar se encontraban las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey, con 4.8 y 4.5 millones de habitantes (ambas con alrededor del 14% del total de la población viviendo en zonas metropolitanas, respectivamente).

Se espera que para 2020 las zonas metropolitanas alberguen 72.4 millones de personas, lo que equivaldría al 57% de la población. De acuerdo con las proyecciones poblacionales del Conapo, a las once zonas metropolitanas con un millón o más de habitantes que existían en el país en 2010¹⁶ se les sumarán en 2020 las zonas metropolitanas de Aguascalientes, Cuernavaca, Mérida y Mexicali, y en 2030 las zonas metropolitanas de Cancún, Chihuahua, Tampico y Saltillo (Figura 1.7).

¹⁶ Corresponden a las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro y San Luis Potosí.

Mapa 1.3 | Zonas metropolitanas y su población en México, 2015



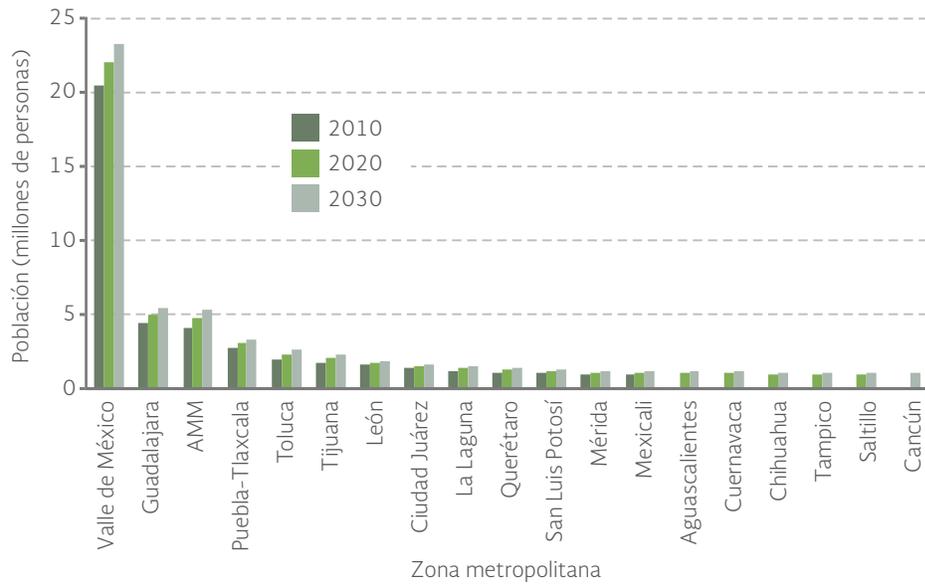
1 Aguascalientes	17 Acapulco	33 Tehuantepec	46 Tlaxcala-Apizaco
2 Tijuana	18 Pachuca	34 Puebla-Tlaxcala	47 Veracruz
3 Mexicali	19 Tulancingo	35 Tehuacán	48 Xalapa
4 La Laguna	20 Tula	36 Querétaro	49 Poza Rica
5 Saltillo	21 Guadalajara	37 Cancún	50 Orizaba
6 Monclova-Frontera	22 Puerto Vallarta	38 San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez	51 Minatitlán
7 Piedras Negras	23 Ocotlán	39 Rioverde-Ciudad Fernández	52 Coatzacoalcos
8 Colima-Villa de Álvarez	24 Toluca	40 Guaymas	53 Córdoba
9 Tecmán	25 Morelia	41 Villahermosa	54 Acayucan
10 Tuxtla Gutiérrez	26 Zamora-Jacona	42 Tampico	55 Mérida
11 Ciudad Juárez	27 La Piedad-Pénjamo	43 Reynosa-Río Bravo	56 Zacatecas- Guadalupe
12 Chihuahua	28 Cuernavaca	44 Matamoros	57 Celaya
13 Valle de México	29 Cautla	45 Nuevo Laredo	58 Tianguistenco
14 León	30 Tepic		59 Teziutlán
15 San Francisco del Rincón	31 Monterrey		
16 Morelón-Uriangato	32 Oaxaca		

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. INEGI. México. 2015.
 INEGI. *Marco Geoestadístico Nacional*. INEGI. México. 2010.
 Sedesol, Conapo e INEGI. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. Sedesol, Conapo e INEGI. México. 2012.

El crecimiento poblacional y fenómenos como la urbanización y la migración han contribuido a incrementar la densidad poblacional de manera asimétrica en el territorio. La mayor parte de la población se concentra en la zona central del país. De acuerdo con el INEGI, en 2015 las entidades federativas con mayor densidad de población eran el Distrito Federal (5 950 hab/km²), seguido por el estado de México (754 hab/km²), Morelos (385 hab/km²), Tlaxcala (325 hab/km²) y Aguascalientes (235 hab/km²; Mapa 1.4). Por el contrario, los estados con menor densidad poblacional en ese mismo año eran Baja California Sur (10 hab/km²), Durango y Chihuahua (14 hab/km²) y Sonora (15 hab/km²).

Figura 1.7 | Evolución poblacional de las zonas metropolitanas de más de un millón de habitantes, 2010 - 2030¹



Nota:

¹ En la figura sólo aparecen las barras de aquellas ciudades que han alcanzado o se estima que alcanzarán más de un millón de habitantes.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conapo. *Proyecciones de la población de los municipios de México, 2010-2030*. Conapo. Disponible en: www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010. Fecha de consulta: agosto de 2016.

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

Mapa 1.4 | Densidad poblacional por entidad federativa, 2015



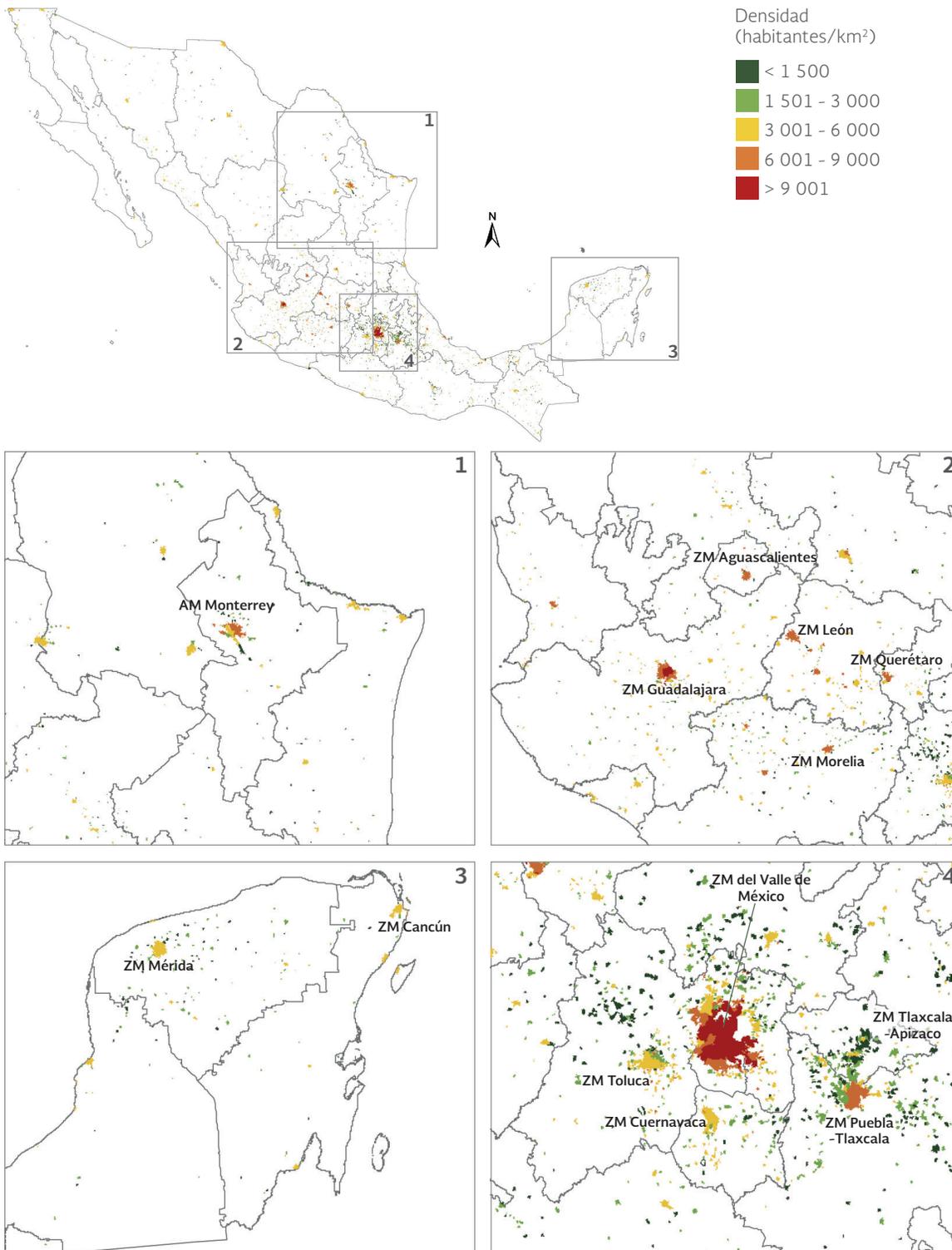
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. INEGI. México. 2015.

INEGI. *Marco Geoestadístico Nacional*. INEGI. México. 2010.

Figura 1.8 | Densidad poblacional en zonas metropolitanas en México, 2015

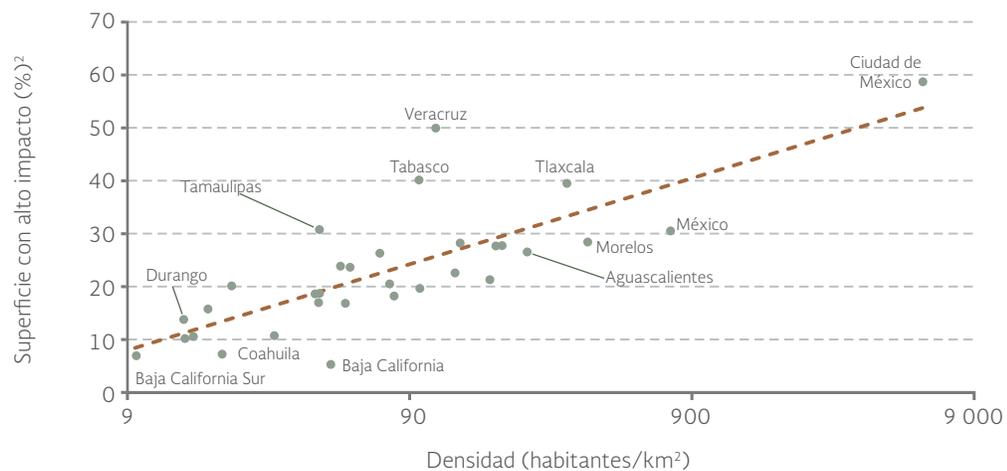


Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. Censo de Población y Vivienda, INEGI. México. 2010.
 INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, INEGI. México. 2010.

Observado con un mayor nivel de detalle, las densidades poblacionales más altas se encuentran en las zonas urbanas, y en particular dentro de las zonas metropolitanas (Figura 1.8). Las zonas metropolitanas con la mayor densidad poblacional en 2015 fueron la Zona Metropolitana del Valle de México (2 669 hab/km²), Guadalajara (1 769 hab/km²), Puebla-Tlaxcala (1 240 hab/km²), Oaxaca (1 088 hab/km²), León (1 015 hab/km²) y la Zona Metropolitana de Toluca (993 hab/km²).

La concentración de la población en ciertas zonas del país está relacionada con la degradación ambiental que puede observarse en ellas. La recurrencia, acumulación y la extensión de las actividades humanas (reflejo en muchos casos del crecimiento de la densidad poblacional) produce impactos significativos sobre el medio ambiente (Theobald, 2013; González-Abraham *et al.*, 2015). Si se calcula la proporción del territorio de las entidades federativas con huellas humanas altas, es decir, con zonas en donde existen afectaciones importantes por actividades agropecuarias, acuícolas, mineras o por la presencia de zonas urbanas e infraestructura (ver la sección **La huella humana**, al final de este capítulo, para mayores detalles respecto a su cálculo), se observa que guardan una relación positiva con su densidad poblacional (Figura 1.9). Entidades con bajas densidades poblacionales, como Baja California Sur, Coahuila, Sonora y Durango, muestran porcentajes reducidos de sus territorios con huellas humanas altas. Mención aparte merece la Ciudad de México, la entidad con la mayor densidad poblacional del país y en donde el 60% de su superficie muestra huellas humanas altas.

Figura 1.9 | Huella humana y densidad poblacional por entidad federativa, 2015



Notas:

¹ El impacto ambiental considera la presencia de actividades productivas (por ejemplo, agricultura, ganadería, acuicultura, plantaciones forestales o minería a cielo abierto), la presencia de zonas urbanas (incluyendo zonas industriales e instalaciones de generación de energía) y de infraestructura (vías de comunicación, presas, aeropuertos, canales, líneas de transmisión eléctrica, sitios de disposición de residuos sólidos y las plantas de tratamiento, entre otras).

² Se refiere a la cantidad de superficie, expresada en porcentaje del total, de la entidad federativa que ha sido impactada por las actividades productivas, la presencia de zonas urbanas y de infraestructura.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Semarnat. México. 2010.
 Conagua. PTAR (plantas de tratamiento de aguas), Residuos (a cielo abierto, controlados y rellenos sanitarios), Salinas artificiales, Minas y otras ubicaciones geológicas, escala 1: 50,000 y 1: 250,000. Conagua. México. 2010.
 DGP/ARS. Acuicultura, año 2010, escala 1: 250 000. Semarnat. México. 2010.
 INAH. Rasgos Arqueológicos (INAH_ARQUE50): Escala 1: 50,000. INAH. México. 2010.
 INEGI, SCT e IMT. Red Nacional de Caminos (RED): escala 1: 50,000. INEGI, SCT e IMT. México. 2010.
 INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, 1: 50 000: ITER_2010, TOPO_Urbano, TOPO_Industria, TOPO_Energía. 2010, TOPO_Vías_Férreas. INEGI. México. 2010.
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.
 INEGI. Encuesta Intercensal 2015. INEGI. México. 2015.
 INEGI. Marco Geoestadístico Nacional. 2010 - 2015. INEGI. México. 2015.

| SOCIOECONOMÍA DE LA POBLACIÓN MEXICANA Y AMBIENTE

La relación causal entre la condición socioeconómica y el deterioro ambiental ha sido un tema de amplio debate por muchos años. Desde el Informe Brundtland (1987) se sugería que la degradación ambiental estaba relacionada, en el caso de los países no desarrollados, con la pobreza de su población, mientras que en el caso de los países desarrollados, con sobreconsumo. Otros estudios empíricos han demostrado que la mejora de la condición económica de la sociedad puede actuar en uno u otro sentido sobre el estado del ambiente, es decir, con impactos altos o bajos, según sea el caso que se estudie (UNDP, 2011).

La condición socioeconómica de la población no solo debe analizarse y considerarse desde la perspectiva de una causa que afecta al ambiente, sino también del otro lado de la moneda: la calidad ambiental repercute en el bienestar de la población, disminuyendo y retrasando, en muchos casos, sus oportunidades de desarrollarse plenamente. Actualmente es reconocido que la degradación ambiental afecta relativamente más a los pobres y a los más desfavorecidos (UNDP, 2011). En el caso de la salud, solo por mencionar un ejemplo, muchas comunidades en condiciones desfavorables no tienen acceso a agua potable, sus habitantes están expuestos a la inhalación del humo que se genera por la quema de los combustibles sólidos que se emplean para calentar las viviendas o cocinar y sus viviendas son vulnerables a deslaves de tierras en cuencas donde se ha afectado la cubierta forestal.

En esta sección se examina, primeramente, la condición socioeconómica de la población mexicana, aproximada a través de dos indicadores importantes: el índice de desarrollo humano (IDH) y la situación de pobreza. Finalmente, se ha incluido información respecto a la presión que puede ejercer la condición socioeconómica sobre el ambiente.

CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN MEXICANA

Evaluar la condición socioeconómica de la población no ha sido una tarea fácil, ni en México ni en el mundo. Los indicadores propuestos para hacerlo han evolucionado desde aquellos que se basaban exclusivamente en el monto de los ingresos, a otros “multidimensionales” que incluyen aspectos tan importantes para el bienestar humano como son la salud y la educación. Detrás de esta lógica está la noción de que alcanzar el desarrollo humano no se basa tan solo en percibir cierto nivel de ingreso económico, sino que se obtiene a través de acceder a un más amplio grupo de satisfactores. En nuestro país, los indicadores más ampliamente utilizados para caracterizar la condición socioeconómica de la población son los índices de desarrollo humano y los de pobreza¹⁷.

Además del desarrollo humano o la pobreza, la desigualdad¹⁸ de los ingresos puede tener repercusiones económicas y sociales importantes en cualquier sociedad. Desde el punto de

¹⁷ En México el Conapo también calcula el índice de marginación, que clasifica a la población a partir de sus carencias en cuanto a educación, vivienda, ingresos y distribución. De este informe se ha omitido, pero puede consultarse dentro del Capítulo 1 del Informe en su Edición 2012 (<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001623.pdf>).

¹⁸ Actualmente, la equidad se refiere principalmente a la justicia distributiva, esto es, se orienta a remediar las injustas desigualdades entre las personas (UNDP, 2011).

vista ambiental, existe evidencia de que la desigualdad tiene un vínculo importante con la pérdida de biodiversidad, el consumo de agua y generación de residuos, entre otras variables (Nazrul, 2015). Para medir la desigualdad se emplea el coeficiente de Gini, que se trata más adelante en esta sección y se estudian sus vínculos con algunas variables de presión sobre el medio ambiente.

El Índice de Desarrollo Humano

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) fue propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con el objeto de medir el desarrollo de la población en tres dimensiones básicas: salud (considerando la esperanza de vida al nacer), educación (años promedio de escolaridad y años esperados de escolarización) e ingreso (empleando el ingreso nacional bruto per cápita). Se mide desde el año 1990 y toma valores entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a la unidad indicativos de una mejor condición de desarrollo (PNUD, 2011).

En México, el reporte nacional más reciente señala que el IDH para 2014 fue de 0.756, que aunque representó una ligera mejoría con respecto al valor de 2013 (0.755), significó la caída del lugar 73 al 74 en la lista de los países con mayor valor del índice. El valor del IDH lo clasifica dentro de los países de alto desarrollo humano, arriba de países de la región latinoamericana como Brasil, Perú o Ecuador, pero debajo de otros como Cuba, Costa Rica y Venezuela (para mayores detalles respecto a la posición de México respecto a otros países, consultar el recuadro [El desarrollo humano en el mundo](#)).

Sin embargo, el valor nacional de IDH enmascara importantes diferencias regionales. Si se desagrega por entidad federativa, en 2012¹⁹ el Distrito Federal (0.830), Nuevo León (0.790) y Sonora (0.799; PNUD, 2014) registraron los valores más altos del índice, con los cuales se clasificarían como entidades de muy alto desarrollo humano. En el otro extremo, Chiapas (0.667), Guerrero (0.679) y Oaxaca (0.6814) se ubicaron en el mismo año en la categoría de IDH medio con los valores más bajos a nivel nacional (Mapa 1.5). Entre 2010 y 2012, 29 entidades federativas mejoraron su valor del IDH (Figura 1.10); los mayores avances los tuvieron Chihuahua, Campeche y Sonora; tres entidades, Nayarit, Baja California y Nuevo León tuvieron retrocesos en su grado de desarrollo humano.

El examen a nivel municipal del IDH, aunque confirma la imagen general de los valores estatales, permite apreciar aún más la heterogeneidad de la condición de desarrollo humano (Mapa 1.6). Pueden observarse municipios con valores cercanos a los de algunos de los países más desarrollados del mundo (por ejemplo, la delegación Benito Juárez, del Distrito Federal, presentó el mismo valor que Suiza en 2013: 0.917). En contraste, los siete municipios ubicados al final del cuartil del IDH bajo (Cochoapa el Grande, en Guerrero; San Miguel Santa Flor, San Simón Zahuatlán, Santa Ana Ateixtlahuaca, Coicoyán de las Flores y San Martín Peras en Oaxaca, y Batopilas, en Chihuahua), presentaron valores menores a 0.4, similares a los registrados en países del África subsahariana como Eritrea, Sierra Leona, Burkina Faso o Guinea-Bissau (PNUD-México, 2014; PNUD, 2014).

¹⁹ Los datos más recientes sobre el IDH a nivel nacional, estatal y municipal no corresponden a los mismos años: el IDH nacional más reciente corresponde a 2014 y los de entidad federativa y municipal a 2012 y 2010, respectivamente.

Recuadro | El desarrollo humano en el mundo

En 2014, el Índice de Desarrollo Humano (IDH) a nivel mundial se ubicó en 0.711, esto es, 0.25% por arriba de su valor de 2012 (0.707) y cerca de 11% por arriba del valor de 1990 (0.641). El valor de IDH de 2014 resulta de una expectativa de vida global de 71.5 años, una media de 7.9 años de escolaridad y 14.3 mil dólares de ingresos per cápita (UNDP, 2015). El país con mayor IDH en 2014 fue Noruega (0.944), seguido por Australia (0.935) y Suiza (0.93; Mapa a). Un total de 49 países mostraron un muy alto nivel de desarrollo humano (IDH>0.8), promediando 79.9 años de expectativa de vida, 11.2 años de escolaridad y un ingreso de 41.6 mil dólares. De este grupo, Hong Kong, en la posición 12, mantiene la mayor expectativa de vida (84 años); tanto Australia como Reino Unido mantienen los mayores niveles de escolaridad (13 años) y Qatar es la economía de mayor ingreso per cápita (123 mil dólares).

Cincuenta y seis países integran el grupo con alto nivel de desarrollo humano (es decir, con un IDH mayor a 0.7 pero menor a 0.8), los cuales promediaron 74.4 años de expectativa de vida, 9.3 años de escolaridad y 14 mil dólares de ingreso per cápita. En este grupo, Costa Rica y Cuba destacan por la mayor expectativa de vida (79.4 años); Palau tuvo el mayor nivel de escolaridad (12.3 años) y Omán el mayor ingreso per cápita, con 34.8 mil dólares. México (0.756) se ubicó en este grupo, ocupando el lugar 25 entre las economías de desarrollo alto (para mayores detalles sobre la condición de desarrollo nacional, remitirse al texto principal).

En el caso del grupo de países con un IDH medio (IDH mayor a 0.55 y menor a 0.7) se constituyó por 39 naciones: promediaron 68.4 años de expectativa de vida, 7.1 años de escolaridad y 6.9

Mapa a | Índice de desarrollo humano (IDH), 2014



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
UNDP. Human Development Report 2015. Work for Human Development. UNDP. New York. 2015.

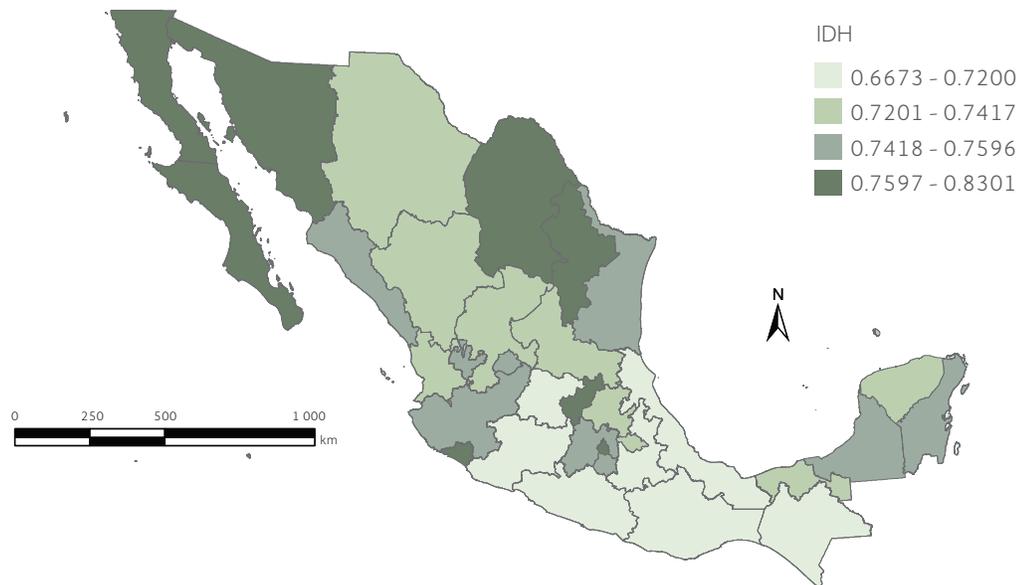
mil dólares per cápita de ingreso. Destacaron Vietnam con la mayor expectativa de vida (75.8 años); Moldavia con el mayor nivel de escolaridad (11.2 años); Guinea Ecuatorial con el mayor ingreso per cápita (21 mil dólares).

Cuarenta y cuatro países se clasifican con menor desarrollo humano (menor a 0.55). Los países con los IDH más bajos fueron Nigeria (0.348), la República Centroafricana (0.35) y Eritrea (0.391). Promedian 59.6 años de expectativa de vida (esto es, cerca de 12 años menos que el promedio mundial), 4.1 años de escolaridad (casi 4 años menos que el valor global) y 2.2 mil dólares per cápita de ingreso (equivalente al 15% del ingreso promedio mundial). De este grupo, el desempeño más bajo en expectativa de vida fue Suazilandia (49 años); el menor nivel de escolaridad aconteció en Burkina Faso (1.4 años) y el menor ingreso per cápita lo obtuvo la República Centroafricana (581 dólares). Si se compara la distancia que existía en 2014 entre este grupo y el de IDH más alto se observa que este último tiene un IDH mayor en 1.77 veces, 1.32 veces en su expectativa de vida, 2.7 veces en años de escolaridad y los ingresos per cápita son 13.5 mayores.

Referencia:

UNDP. *Human Development Report 2015. Work for Human Development*. New York. 2015.

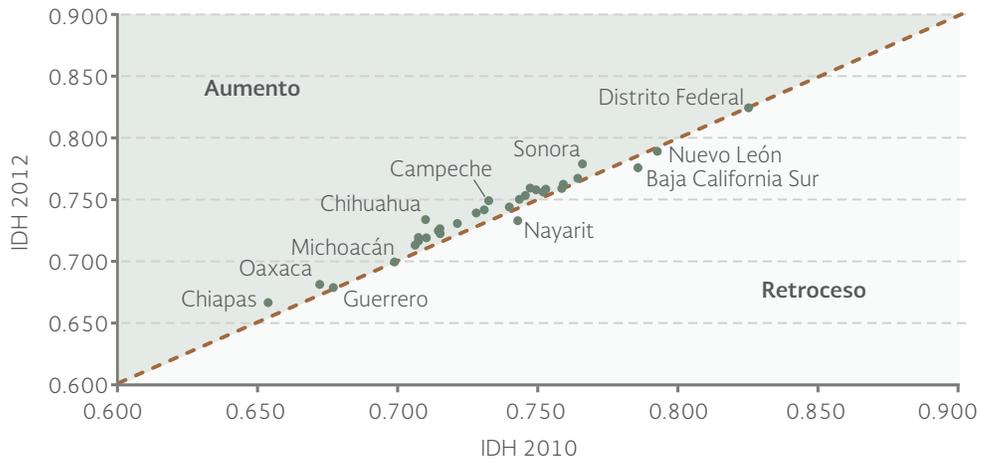
Mapa 1.5 | Índice de Desarrollo Humano (IDH) por entidad federativa, 2012



Fuente:
PNUD. 2015. *Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015*. PNUD. México.

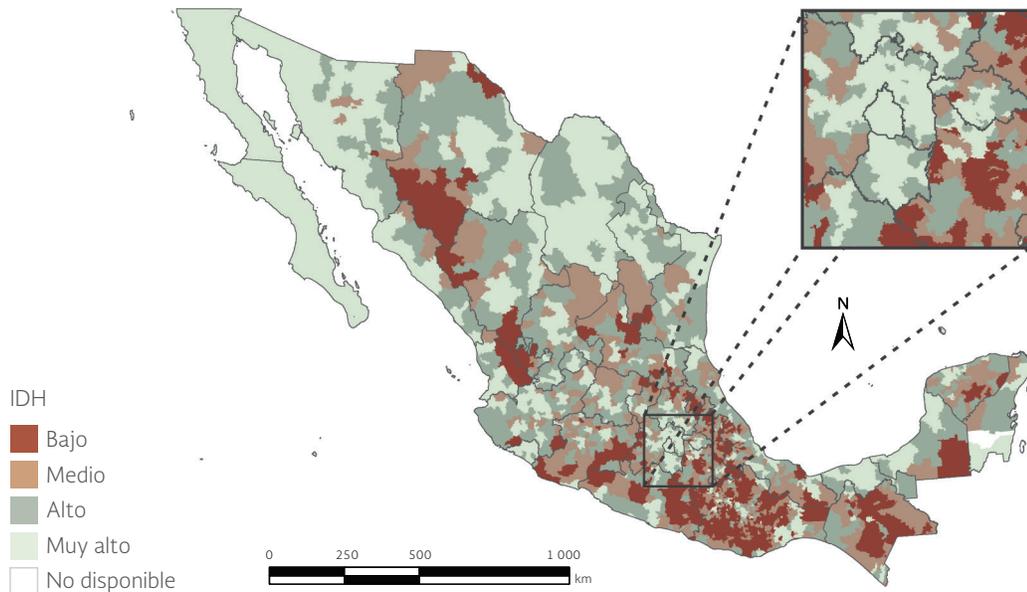
En 2010, Oaxaca fue la entidad con el mayor número de municipios con IDH bajo (299, 52.5% del total de municipios del estado), seguida por Chiapas (59, 50%; Figura 1.11). En contraste, Baja

Figura 1.10 | Cambio en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) por entidad federativa, 2010 - 2012



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
PNUD-México. Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015. PNUD-México. México. 2015.

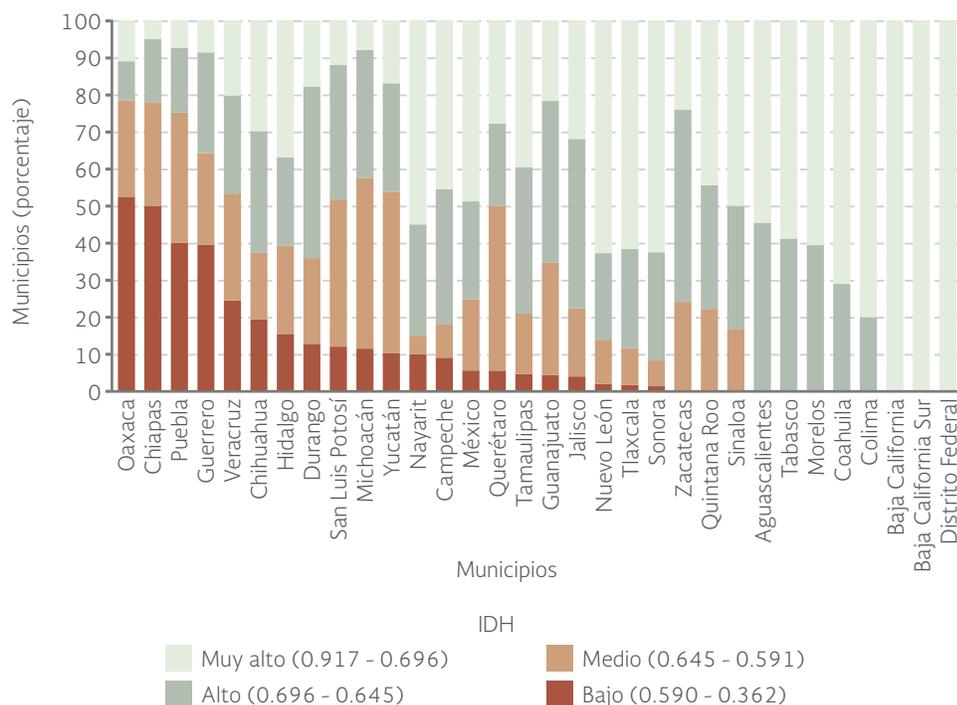
Mapa 1.6 | Índice de Desarrollo Humano (IDH) por municipio, 2010



Fuente:
PNUD. Índice de Desarrollo Humano municipal en México: nueva metodología. PNUD. México. 2014.

California, Baja California Sur y el Distrito Federal no solo no tuvieron municipios y delegaciones, respectivamente, dentro de esta categoría, sino que la totalidad de sus demarcaciones se ubicaron en el cuartil de IDH muy alto (PNUD-México 2014).

Figura 1.11 | Distribución de los municipios según categoría de Índice de Desarrollo Humano (IDH) por entidad federativa, 2010



Fuente: PNUD. Índice de Desarrollo Humano municipal en México: nueva metodología. PNUD. México. 2014.

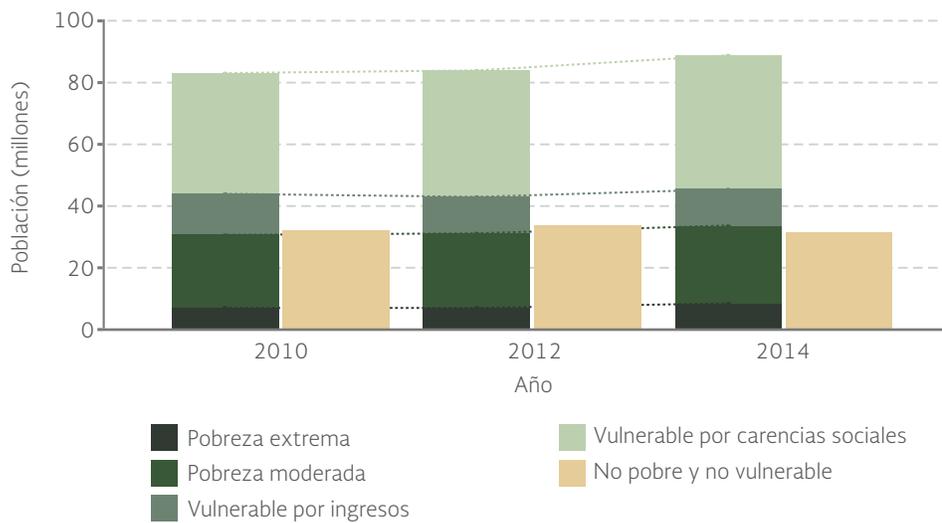
Índice de pobreza

En nuestro país, la evaluación de la condición de pobreza siguió la tendencia global: pasó de un enfoque unidimensional basado en el ingreso a otro de carácter multidimensional. En este último, y con base en lo que señala la Ley General de Desarrollo Social, su medición debe incluir dos grandes rubros: 1) el ingreso de los hogares, y 2) las carencias sociales en materia de educación, acceso a los servicios de salud y seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, acceso a servicios básicos en la vivienda, acceso a la alimentación y grado de cohesión social. De esta manera, las personas se ubican en situación de pobreza cuando no tienen 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 requieren para satisfacer sus necesidades. En el caso de la pobreza extrema, un individuo se encuentra en esta situación cuando padece tres o más carencias sociales y sus ingresos son inferiores a la línea de bienestar mínimo²⁰ (Coneval, 2013).

Según el índice de pobreza, en 2014 en el país había 55.34 millones de pobres, es decir, el 46.2% de la población de ese año (Figura 1.12). Esta cifra es 1.99 millones de personas mayor que la cifra de 2012, que alcanzaba 53.35 millones. De los habitantes en situación de pobreza en

²⁰ La línea de bienestar delimita el monto de recursos que son suficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere un individuo para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias. En el caso de la línea de bienestar mínimo, identifica el ingreso que equivale al valor de la canasta alimentaria por persona al mes, es decir, la canasta que le permite cubrir sus necesidades alimentarias (Coneval, 2014).

Figura 1.12 | Población según condición de pobreza y vulnerabilidad en México, 2010 - 2014



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Coneval. *Anexo Estadístico de Pobreza en México*. Coneval. México. 2015. Disponible en: www.coneval.gob.mx/. Fecha de consulta: julio de 2015.

2014, 11.44 millones se consideraban en pobreza extrema, es decir, el 9.5% de los mexicanos. En ese mismo año, 39.95 millones de personas en el país se consideraban vulnerables (31.48 millones por carencias sociales y 8.48 millones por ingresos) y 24.58 millones no eran ni pobres ni vulnerables. Para conocer el estado de la pobreza en el mundo, ver el recuadro **La pobreza en el mundo**.

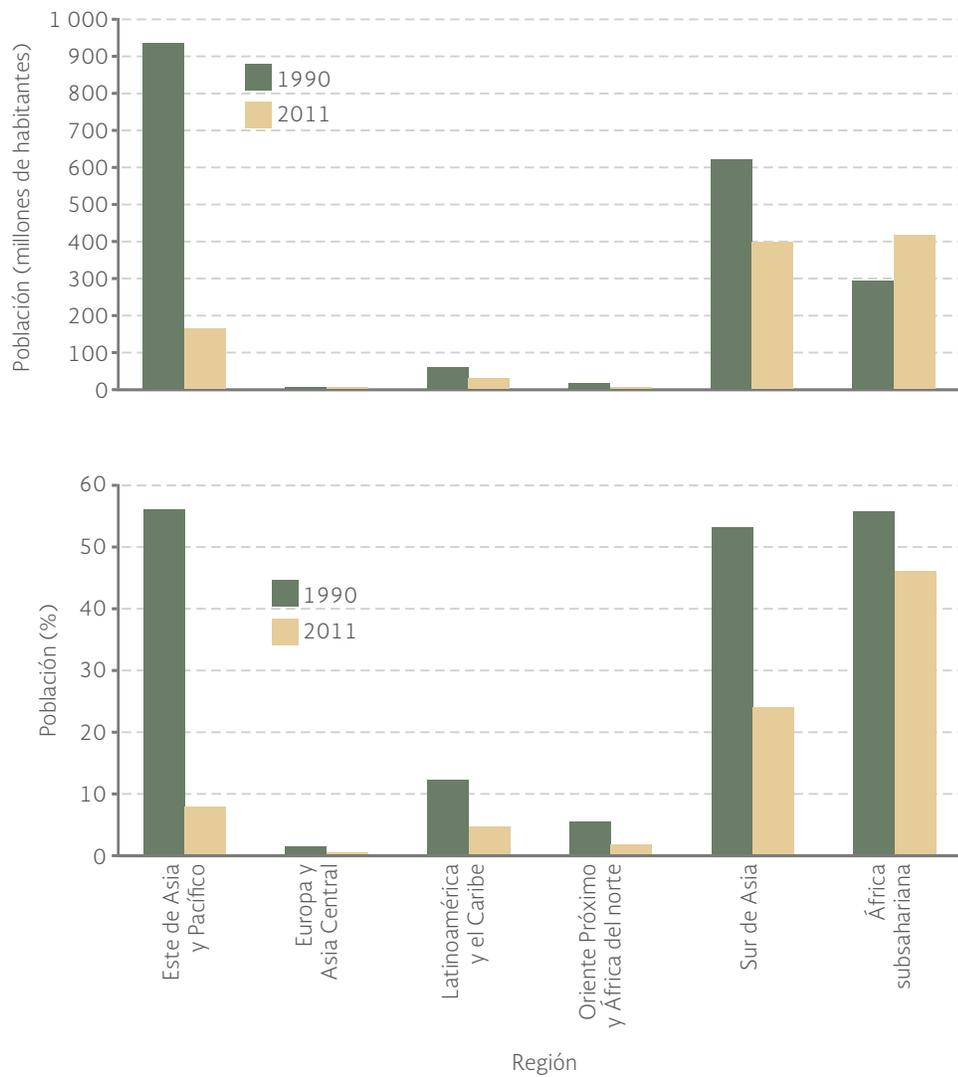
En 2014, el mayor número de mexicanos en condición de pobreza se encontraba en las zonas urbanas, donde su número, además, ha crecido más rápidamente que en las zonas rurales (Figura 1.13). Alrededor de 38.4 millones de personas en esta condición habitaban dichas zonas, en comparación con los 17 millones de las zonas rurales. En ambas zonas el número de personas en condición de pobreza aumentó entre 2012 y 2014: alrededor de 300 mil personas en el caso de la población rural y cerca de 1.8 millones en las zonas urbanas.

Al igual que en el caso del IDH, la pobreza también se distribuye heterogéneamente en el país. En 2014, Chiapas tenía 3.97 millones de personas en condición de pobreza, es decir, el 76.2% de su población; de ellas, 1.65 millones de personas se encontraban en condiciones de pobreza extrema (31.8% de la población; Mapa 1.7). En el otro extremo, en Nuevo León en el mismo año había alrededor de un millón de personas en pobreza (20.4% de su población), con alrededor de 66.7 miles de personas en pobreza extrema (1.3% de la población).

Si se quiere desagregar aún con más detalle la información de la pobreza multidimensional a nivel geográfico, el cálculo más reciente a nivel municipal corresponde a 2010 (Figura 1.14). En ese

A nivel internacional los principales indicadores relacionados con la medición de la pobreza tienen como base un umbral por debajo del cual un individuo es considerado pobre. De acuerdo al estándar más generalizado, esta línea de pobreza se ha situado en los 1.25 dólares diarios, lo que se traduce en que una persona que viva con menos de esta cantidad es considerada en situación de pobreza.

Figura a | *Habitantes y porcentaje de la población en situación de pobreza extrema por región, 1990 y 2011*



Fuente:
UN. The Millenium Development Goals Report 2014. New York: UN Press. 2014.

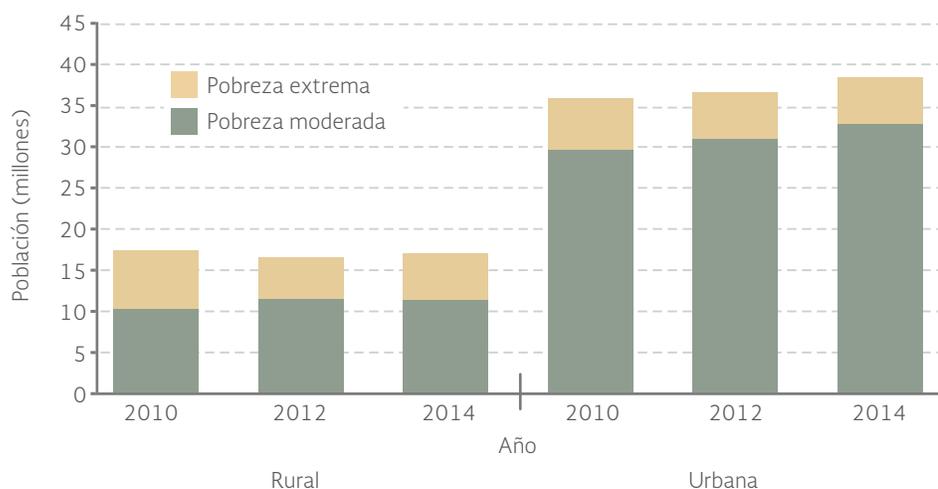
El mundo ha hecho un progreso resaltable en la reducción de la pobreza extrema. Mientras que en 1990 cerca de la mitad de las personas en las regiones en desarrollo vivía con menos de 1.25 dólares al día, este porcentaje se había reducido al 22% en el año 2011 (Figura a; UN, 2014). Esto significa que el mundo alcanzó la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de reducir a la mitad la proporción de personas que vivían en extrema pobreza cuatro años antes de la fecha límite de 2015 (UN, 2014). No obstante, aunque algunas regiones, como el este y el sureste de Asia, han alcanzado la meta de reducir a la mitad la tasa de pobreza extrema, otras como el África subsahariana (donde aumentó el número absoluto de personas en situación de pobreza extrema) y Asia meridional siguen a la zaga.

La mayoría de las personas que en 2010 vivían con menos de 1.25 dólares al día pertenecían a dos regiones: Asia y África subsahariana. En ese año, un tercio de los 1.2 mil millones de pobres extremos vivía en India. China, a pesar de grandes progresos en la reducción de la pobreza, ocupó el segundo lugar, y fue el hogar de alrededor del 13 por ciento de los pobres. Nigeria (9%), Bangladesh (5%) y la República Democrática del Congo (5%), junto con China e India, son el hogar de dos tercios de todos los pobres del mundo (UN, 2014).

Referencia:

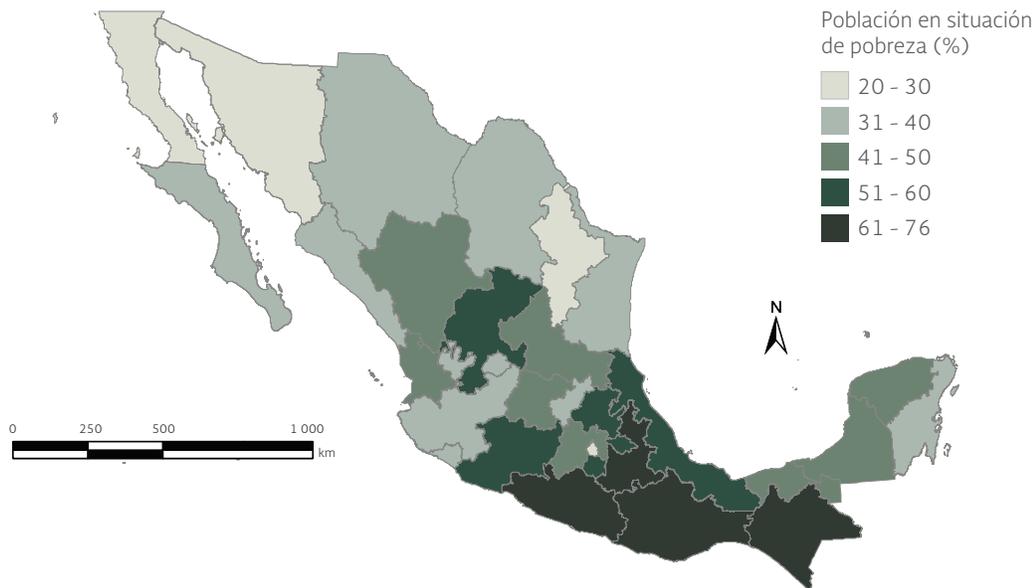
UN. *The Millenium Development Goals Report 2014*. New York: UN Press. 2014.

Figura 1.13 | Población rural y urbana en situación de pobreza en México, 2010 - 2014



Fuente: Coneval. *Medición de la pobreza en México 2014. Anexo estadístico*. Coneval. México. 2015. Disponible en: www.coneval.gob.mx. Fecha de consulta: agosto de 2015.

Mapa 1.7 | Población en pobreza por entidad federativa, 2014



Notas:

¹ Se considera a toda la población en situación de pobreza moderada y extrema hasta el año 2014, de acuerdo a datos de Coneval (2015).

² La población total por entidad federativa se obtuvo de las proyecciones de la población 2010-2030 de Conapo para el año 2014.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conapo. *Proyecciones de población 2010-2030*. Conapo. México. Disponible en: www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos. Fecha de consulta: agosto de 2016.

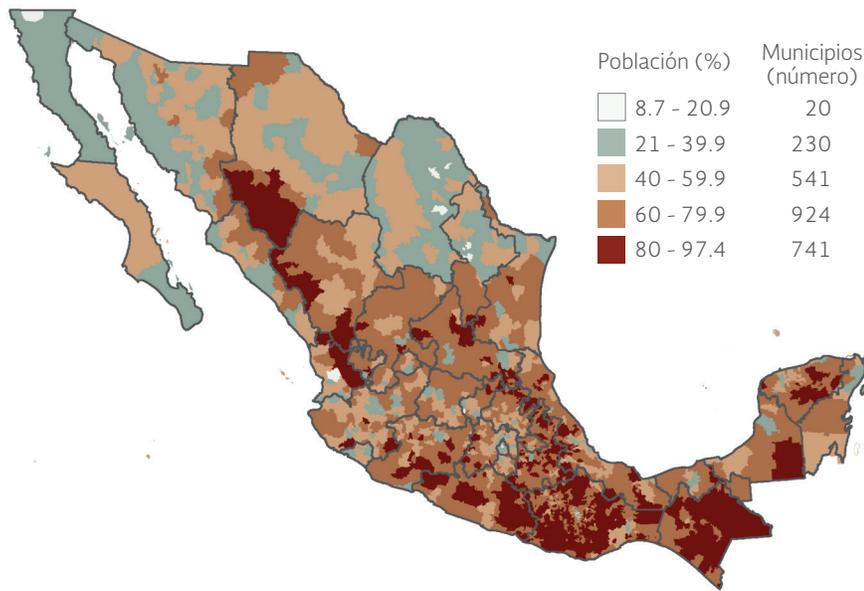
Coneval. *Medición de la pobreza. Anexo estadístico*. Coneval. México. Disponible en: www.coneval.gob.mx. Fecha de consulta: julio de 2015.

año existían 741 municipios con 80% o más de su población en condición de pobreza, lo que representa alrededor del 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).

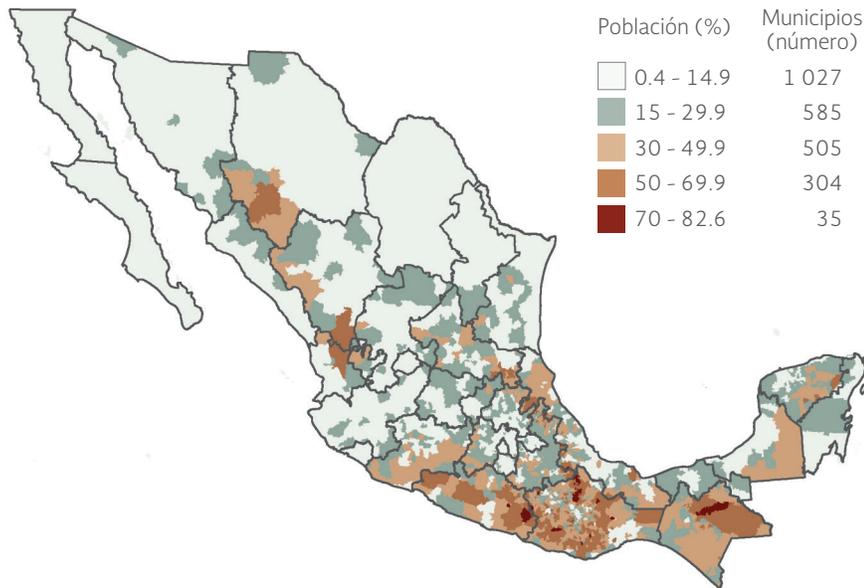
Considerando la pobreza extrema, en 2010 había 35 municipios con más de 70% de su población viviendo en esta condición (Mapa 1.9). Entre éstos sobresale Cochoapa el Grande, en Guerrero, con 82.6% de su población en pobreza extrema y el cual ocupó el último lugar municipal a nivel nacional en el índice de desarrollo humano. Sus condiciones de retraso contrastan con las de 1 027 municipios y delegaciones con menos de 15% de su población en pobreza extrema; en diez de estos municipios menos del uno por ciento de sus habitantes vivía en pobreza extrema, como en los casos de las delegaciones Benito Juárez y Miguel Hidalgo, en el Distrito Federal, y los municipios de San Pedro Garza García, San Nicolás de los Garza y Guadalupe, en Nuevo León. La pobreza guarda una estrecha relación con el desarrollo humano (Figura 1.15). Los municipios del país con los menores IDH tienen también los mayores porcentajes de su población en situación de pobreza extrema.

Figura 1.14 | Población en pobreza y pobreza extrema por municipio, 2010¹

a) Pobreza²



b) Pobreza extrema³



Notas:

¹ Mediciones realizadas bajo el enfoque multidimensional.

² 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.

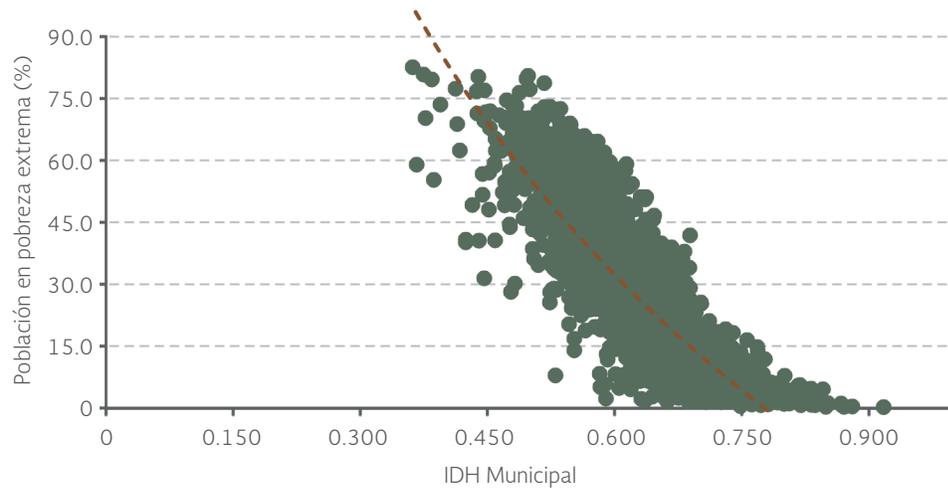
³ Pobreza extrema: cuando una persona es carente en tres o más de los indicadores relativos a los derechos sociales y sus ingresos son inferiores a la línea de bienestar mínimo.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Coneval. *Medición de la pobreza municipal 2010*. Coneval. México. 2011. Base electrónica de datos. Fecha de consulta: agosto de 2015.

Figura 1.15 | Índice de Desarrollo Humano (IDH) y pobreza extrema por municipio en México, 2010



Fuentes:

Coneval. *Anexo estadístico de medición de la pobreza en los municipios de México 2010*. Coneval. México. 2011. Disponible en: www.coneval.gob.mx. Fecha de consulta: mayo de 2015.

PNUD. *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología*. PNUD. México. 2014.

Inequidad en el ingreso

Comúnmente se emplea a nivel nacional e internacional el coeficiente de Gini para estimar la magnitud de la desigualdad en el ingreso en la población. El indicador puede tomar valores entre cero y uno; conforme el coeficiente se acerca al valor de la unidad, mayor es la desigualdad en el ingreso, denotando una alta concentración en ciertos segmentos de la población, mientras que valores tendientes a cero denotan condiciones de equidad en la distribución.

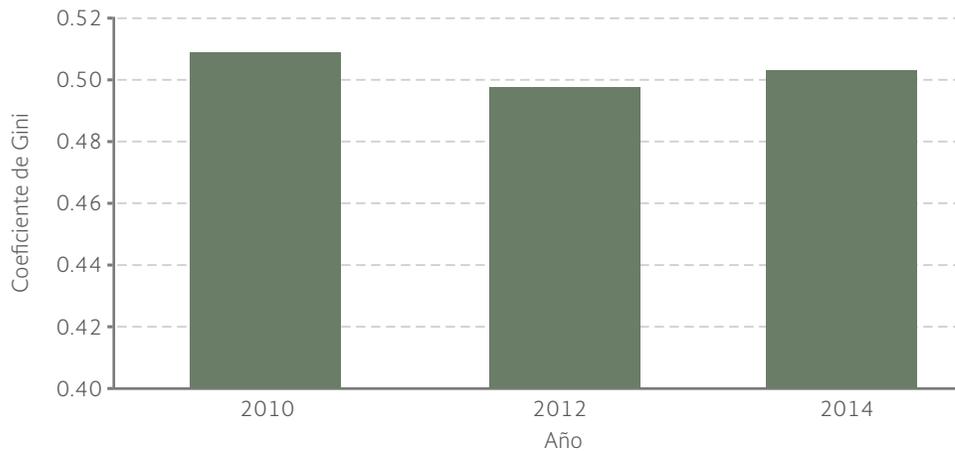
Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), el coeficiente de Gini en México entre 2010 y 2014 pasó de 0.509 a 0.503 (Figura 1.16). Según las estimaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), México era en 2014, tan solo por arriba de Chile²¹, el país con la mayor inequidad en el ingreso de la Organización. A nivel de Latinoamérica y el Caribe, según datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), México²² junto con Bolivia tienen el mismo valor de desigualdad de la región (0.491) y se encuentra por arriba de países como Costa Rica (0.505), Chile (0.509) y Honduras (0.564), pero por debajo de países menos inequitativos como Venezuela (0.407) o Uruguay (0.379).

A nivel de entidad federativa, Puebla registró el mayor valor de desigualdad o concentración de la riqueza (0.572), seguida por Chiapas y Oaxaca, con 0.517 y 0.513, respectivamente. En el otro extremo, los de menor valor del coeficiente, que se interpreta como menor inequidad

²¹ Considerando su estimado para 2013.

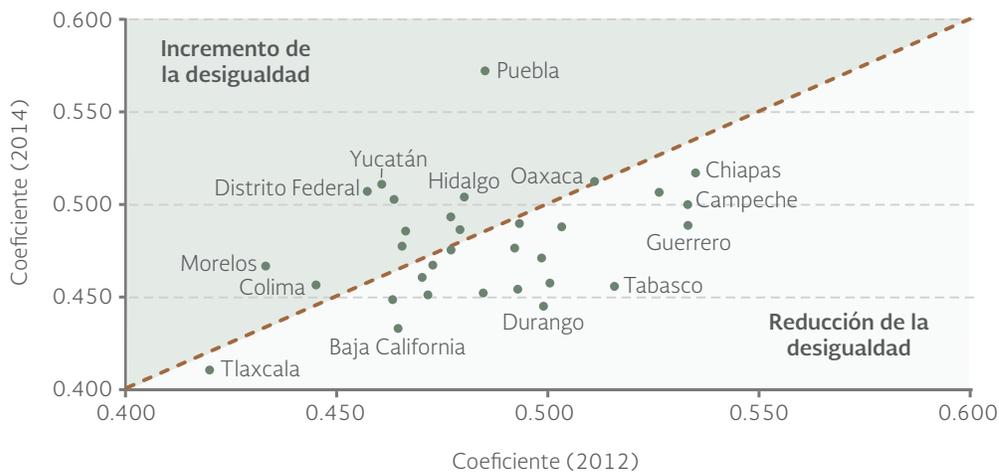
²² Con datos de 2013.

Figura 1.16 | *Coefficiente de Gini en México, 2010 - 2014*



Fuente:
Coneval. *Anexo Estadístico de Pobreza en México 2014*. Coneval. México. Disponible en: www.coneval.gob.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx. Fecha de consulta: agosto de 2016.

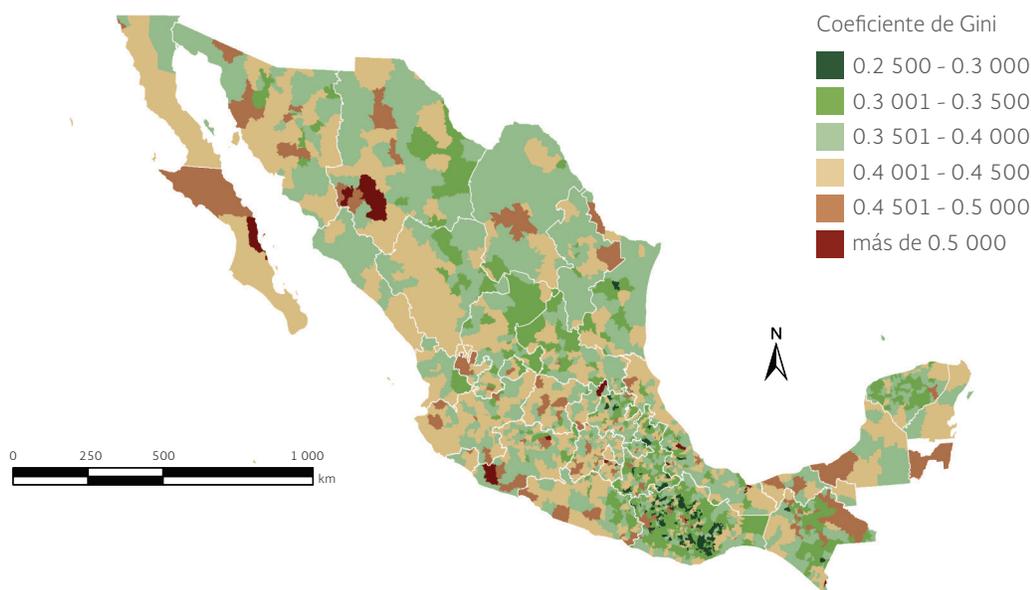
Figura 1.17 | *Cambio en el coeficiente de Gini por entidad federativa, 2012 - 2014*



Fuente:
Coneval. *Anexo estadístico de pobreza en México 2014*. Coneval. México. Disponible en: www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2014.aspx. Fecha de consulta: agosto de 2016.

en la distribución del ingreso, fueron Tlaxcala con 0.411, Baja California con 0.434 y Durango con 0.446. Los progresos en la reducción de la desigualdad en el ingreso entre 2012 y 2014 se muestran en la Figura 1.17. En total, 20 estados redujeron la brecha de su desigualdad, registrándose los mayores progresos en Tabasco (con un cambio de 0.06 unidades), Durango (0.05) y Guerrero (0.04). Por el contrario, Puebla, Yucatán y el Distrito Federal aumentaron el valor de su coeficiente, es decir, aumentaron la inequidad en la distribución del ingreso en 0.086, 0.05 y 0.049, respectivamente.

Mapa 1.8 | *Coeficiente de Gini por municipio, 2010*



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Coneval. *Medición de la pobreza. Evolución de las dimensiones de la pobreza a 1990-2012. Sección Evolución de la pobreza por ingresos estatal y municipal.* Coneval. México. Disponible en: www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Evolucion-de-las-dimensiones-de-la-pobreza-1990-2010.aspx. Fecha de consulta: febrero de 2015.

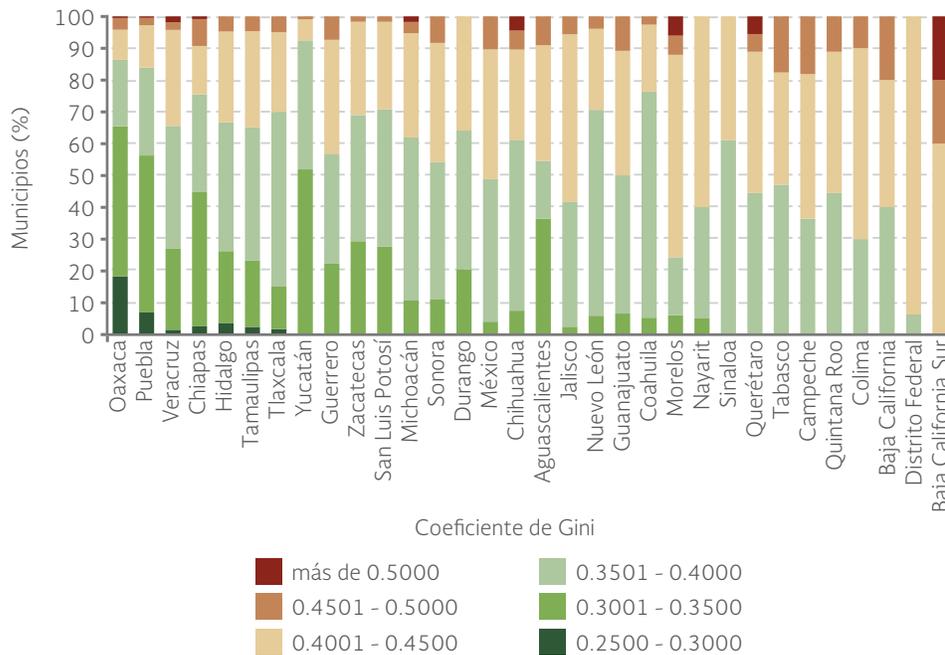
Dentro de los municipios, la medición más reciente del coeficiente de Gini corresponde al año 2010 (Mapa 1.8). El municipio con el valor del coeficiente más alto fue Atlatlahucan, Morelos, con 0.565; el valor más bajo fue San Antonio Acutla, Oaxaca, con 0.252. En la Figura 1.18 se observa, por entidad federativa, la distribución de los municipios de acuerdo a su valor en el coeficiente de Gini.

Desarrollo humano, degradación ambiental y consumo de recursos naturales

Diversos estudios empíricos han mostrado que la condición socioeconómica de la población puede tener un impacto relevante en el uso de los recursos naturales y en la degradación ambiental. Aunque desde la publicación del trabajo de Grossman y Kruger (1991) se estableció la idea de que la degradación ambiental podría crecer y llegar a cierto límite y entonces disminuir con el aumento del ingreso per cápita²³, 25 años después se sabe que el impacto ambiental no sigue necesariamente la tradicional “U” invertida, sino que puede crecer monótonicamente con el ingreso, como por ejemplo, en los casos de la producción de residuos y en la emisión de gases de efecto invernadero (Stern, 2015). Este reconocimiento ha tenido consecuencias importantes, entre ellas y quizá la más importante, la de cuestionar la idea seguida por décadas por muchos países (muchos de ellos, países en desarrollo) que suponía un modelo en el cual la priorización del crecimiento económico a costa del deterioro ambiental podría ser una estrategia adecuada para generar la riqueza que permitiera el desarrollo social, y a mediano plazo, contar con los recursos económicos para atender la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales.

²³ Su propuesta corresponde a la que la literatura reconoce comúnmente como Curva Ambiental de Kuznets (EKZ, por su acrónimo en inglés).

Figura 1.18 | Distribución de los municipios según coeficiente de Gini por entidad federativa, 2010



Fuente: Elaboración propia con datos de: Coneval. *Medición de la pobreza. Evolución de las dimensiones de la pobreza 1990-2012. Sección Evolución de la pobreza por ingresos estatal y municipal.* Disponible en: www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Evolución-de-las-dimensiones-de-la-pobreza-1990-2010_.aspx. Fecha de consulta: febrero de 2015.

En el caso de México, cuando se relaciona el índice de desarrollo humano (IDH), que incluye otras medidas de bienestar además del ingreso, con la magnitud del impacto en el territorio (medido a través de la llamada “huella humana”²⁴), se aprecia que las entidades con niveles mayores de desarrollo humano presentan una mayor degradación ambiental en el territorio (Figura 1.19). Entidades como el DF, con el valor de IDH más alto del país (0.830), muestran también los valores promedio más altos de huella humana en el territorio. Guerrero, por el contrario, con el segundo valor más bajo de IDH en el país (0.679) tiene valores relativamente menores de impacto humano. La condición socioeconómica no debe considerarse como el factor causal más importante para explicar el grado de deterioro en el país, ya que deben sumarse otros factores asociados con cuestiones históricas, ambientales, económicas y políticas que se reconoce que han tenido importantes efectos en la degradación que se observa en el país hoy día.

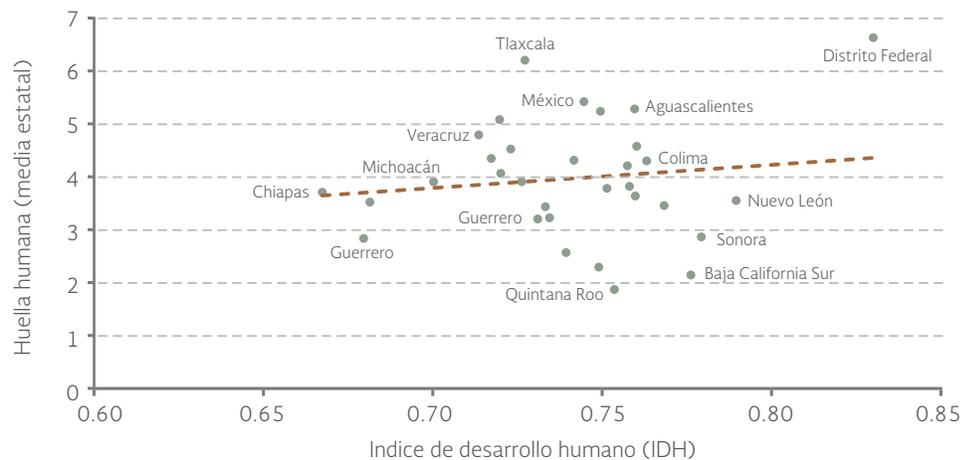
La relación entre el desarrollo humano y otras variables útiles para medir la presión sobre los recursos naturales sugieren que la mejoría en la condición de desarrollo puede conducir a una mayor presión sobre los recursos naturales. En el caso de los recursos hídricos, entre las entidades

²⁴ Consultar la sección de la huella humana en México para mayores detalles respecto a su cálculo. En términos generales, este índice mide las afectaciones al territorio causadas por las actividades agropecuarias, acuícolas, mineras o por la presencia de zonas urbanas e infraestructura.

del país se observa que a una mejor condición de desarrollo humano el consumo diario de agua per cápita también se incrementa (Figura 1.20). Por ejemplo, un habitante de una entidad con un IDH relativamente alto, como Sonora (IDH 0.779), consumió en 2014 un volumen diario del líquido (480 l/hab/día) cerca de cuatro veces mayor al de un habitante de Oaxaca (113 l/hab/día; IDH 0.681)²⁵. En algunos casos, al efecto que puede tener sobre el consumo de agua la condición de desarrollo, debe sumarse la condición ambiental que domina en algunas de las entidades, la cual puede favorecer un mayor requerimiento de líquido, como en los casos de las entidades del norte del país. Del análisis de la Figura 1.20 también puede desprenderse que si bien los habitantes de algunas de las entidades con mayores IDH consumen más líquido diariamente, el mayor efecto neto de presión sobre los recursos hídricos nacionales no proviene de ellas, sino más bien de entidades con valores de desarrollo humano menores en comparación pero con tamaños poblacionales mayores, como por ejemplo, el estado de México, Veracruz y Puebla.

El consumo de energía eléctrica sigue un patrón muy similar al del consumo de agua: los mayores consumos que se observan a nivel nacional ocurren en algunos de los estados con el mayor nivel de desarrollo humano (Figura 1.21). Un habitante de Nuevo León (IDH 0.789) consumió en 2014 alrededor de seis veces más energía al año que un habitante de Chiapas (IDH 0.667), esto es 3.5 versus 0.56 mW. Al igual que en el caso del agua, los factores climáticos también podrían influir sobre este patrón: los estados del norte, con climas secos y cálidos, con uso mayor de climas artificiales, consumen mayores cantidades de energía eléctrica.

Figura 1.19 | Índice de desarrollo humano (IDH) y huella humana en México¹



Nota:

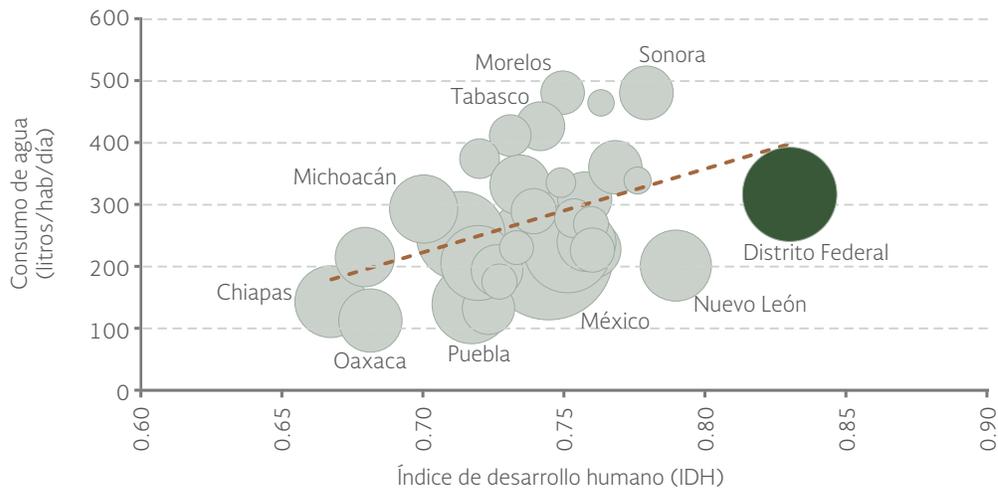
¹ La huella humana considera la presencia de actividades productivas (por ejemplo, agricultura, ganadería, acuicultura, plantaciones forestales o minería a cielo abierto), la presencia de zonas urbanas (incluyendo zonas industriales e instalaciones de generación de energía) y de infraestructura (vías de comunicación, presas, aeropuertos, canales, líneas de transmisión eléctrica, sitios de disposición de residuos sólidos y las plantas de tratamiento, entre otras).

Fuente:

Elaboración propia con datos de las fuentes señaladas en el mapa 1.10.

²⁵ La media nacional de consumo diario de agua en 2014 fue de 278 litros por habitante.

Figura 1.20 | Índice de desarrollo humano (IDH) y consumo de agua en México^{1,2}



Notas:

¹ Los datos de IDH corresponden al año 2012 y los de consumo de agua a 2014.

² El tamaño de los círculos es proporcional a la población de la entidad federativa correspondiente.

Fuentes:

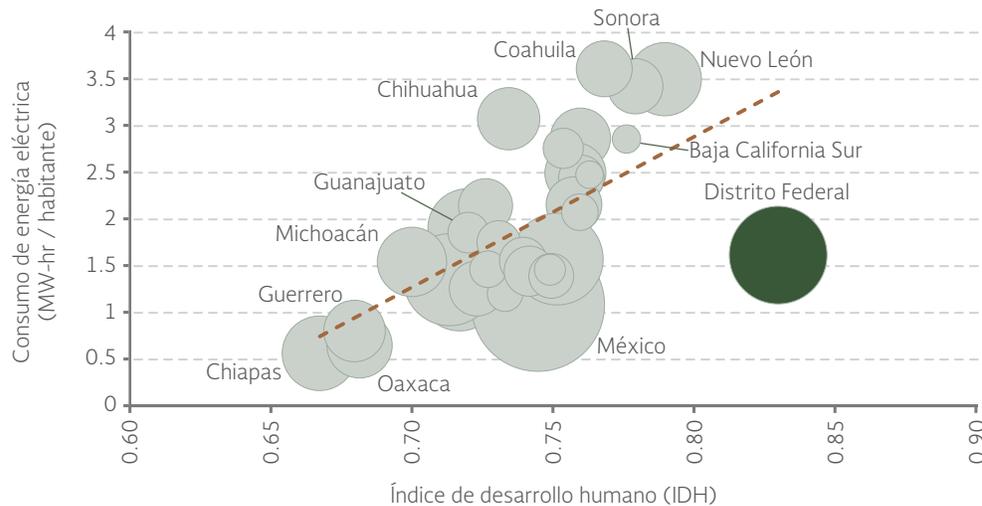
Elaboración propia con datos de:

Cálculos de la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano (OIDH). *Índice de desarrollo humano municipal*. PNUD. México. 2014.

INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. INEGI. México. 2015.

Semarnat, Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2015*. Semarnat-Conagua. México. 2015.

Figura 1.21 | Índice de Desarrollo Humano (IDH) y consumo de electricidad en México^{1,2}



Notas:

¹ Los datos de IDH corresponden al año 2012 y los de consumo de energía eléctrica a 2014.

² El tamaño de los círculos es proporcional a la población de la entidad federativa correspondiente.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Cálculos de la Oficina de Investigación en Desarrollo Humano (OIDH). 2014. *Índice de desarrollo humano municipal*. PNUD México.

INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. INEGI. México. 2015.

Sistema de Información Energética con información de CFE, incluye información de la extinta LyFC.

IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS EN EL AMBIENTE: HUELLAS, COSTOS Y SALUD AMBIENTAL

La producción de bienes y servicios, así como su consumo han sido dos de las fuerzas impulsoras más importantes del cambio en la biosfera. La escala y la magnitud que sus efectos han dejado en la corteza terrestre son tan evidentes y pueden ser tan duraderas que incluso se ha propuesto que se distinga este periodo como una nueva era geológica y se le llame “antropoceno” (Steffen *et al.*, 2007).

Las modificaciones antropogénicas al sistema planetario son evidentes en el cambio climático; en la pérdida de los ecosistemas naturales y su biodiversidad; la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la acidificación de los océanos y la degradación de la capa de ozono (MEA, 2005; IPCC, 2014; Steffen *et al.*, 2015). Muchos de los graves problemas ambientales actuales han trascendido la esfera ambiental para repercutir en las sociedades y economías globales. Incluso en la esfera de la salud humana podemos apreciar las consecuencias de los cambios inducidos en la biosfera (WHO, 2015).

Ahora se reconoce la dependencia del sistema socioeconómico de la integridad del sistema planetario. De ahí la necesidad de generar información que permita no solo conocer con mayor detalle la magnitud y el sentido de los efectos que las actividades humanas tienen en su conjunto sobre el sistema planetario y los ecosistemas; sino que también permita evaluar los avances hacia la sustentabilidad. La información necesaria para hacerlo no solo comprende los flujos de materia y energía entre los sistemas socioeconómico y ambiental, sino también respecto a la valoración económica de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas y de los costos en los que incurren las “fallas del mercado” en el ambiente.

En esta sección se abordan algunos de los índices e indicadores más comúnmente empleados para medir el impacto de las actividades humanas en el ambiente y en algunos de sus elementos. Se analizan también los costos ambientales que la sociedad y economía mexicanas tienen, en materia de degradación y agotamiento de los recursos naturales, sobre el ambiente nacional. Finalmente, se muestran algunos indicadores que relacionan la degradación del ambiente nacional con la salud humana, un tema que a la fecha aún no se ha explorado con el detalle que amerita.

LAS HUELLAS HUMANAS

La huella ecológica

Uno de los indicadores más empleados para medir la presión de la sociedad global, los países o los individuos sobre el ambiente es la llamada “huella ecológica”. Puede ser interpretada como la demanda humana, en términos de superficie, que se necesita para generar tanto los recursos que consume (fundamentalmente productos agropecuarios, forestales y pesqueros), como la necesaria para albergar los asentamientos humanos y la infraestructura y la requerida para absorber el bióxido de carbono liberado por la quema de combustibles fósiles²⁶ (WWF, 2014). La huella ecológica se

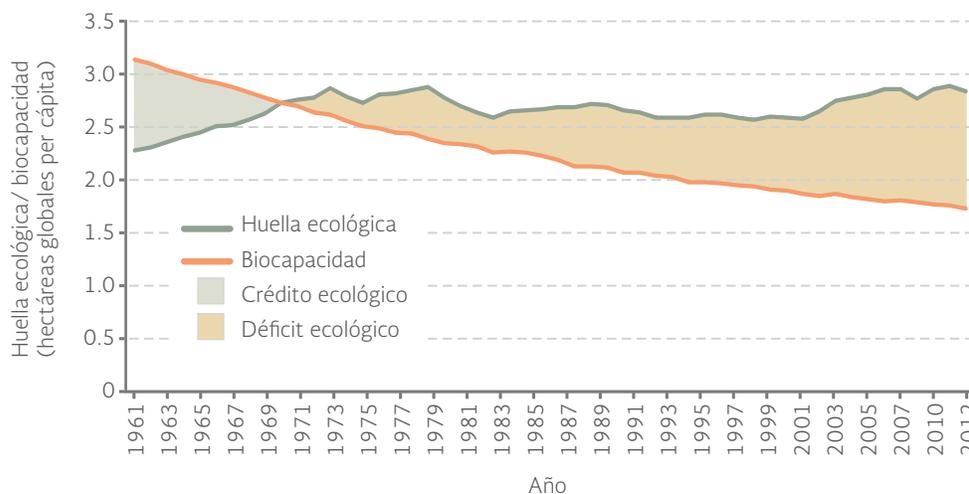
²⁶ La medición de la huella ecológica no incluye el consumo de agua dulce debido a que su demanda y uso no se pueden expresar en términos de superficie; no obstante, actualmente se calcula, a través de una propuesta similar llamada “huella hídrica” (ver páginas más adelante).

contrasta con la biocapacidad de los ecosistemas naturales y manejados de un territorio, es decir, del área biológicamente productiva de tierras agrícolas, ecosistemas y zonas pesqueras²⁷ (WWF, 2014). Tanto la huella ecológica como la biocapacidad de un país o a nivel global se expresan en términos de las denominadas hectáreas globales²⁸.

Se considera que existe un “crédito ecológico” cuando la huella ecológica no excede la biocapacidad; en contraste, se considera que existe una “deuda”, “sobregiro” o “déficit ecológico” cuando la huella calculada es mayor que su biocapacidad. A nivel global se estima que en 1961 la huella de la humanidad era de 7 522 millones de hectáreas globales (equivalente a 2.4 ha/hab), mientras que la biocapacidad ascendía a 9 736 millones de hectáreas globales (3.2 ha/hab); esto significaba que la humanidad tenía un crédito ecológico de 2 214 millones de hectáreas globales (0.8 ha/hab; Figura 1.22). Nueve años después, en 1970, las magnitudes de la huella y de la biocapacidad se igualaron en 2.8 hectáreas por persona, debido tanto al incremento de la huella ecológica como al decremento de la biocapacidad global.

En 2012, la huella ecológica alcanzó 20 107 millones de hectáreas globales (2.8 ha/hab), mientras que la biocapacidad sumaba 12 249 millones (1.7 ha/hab); esto resultaba en un déficit ecológico de 7 859 millones de hectáreas (1.1 ha/hab). Lo anterior se interpreta como que la humanidad rebasó, en alrededor del 64%, la capacidad del planeta para mantenerla de forma

Figura 1.22 | Huella ecológica y biocapacidad global per cápita, 1961 - 2012



Fuente: Global Footprint Network. *National Footprint Accounts*, 2016 Edition. Disponible en: www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public_data_package. Fecha de consulta: agosto de 2016.

²⁷ 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.

²⁸ La hectárea global es una hectárea con la capacidad biológica para producir recursos y absorber desechos sin importar el país donde se encuentre o si está ocupada por cualquier ecosistema o por hielos perpetuos (WWF, 2014).

Figura 1.23 | Huella ecológica global y en México por componente, 2012



Fuente: Global Footprint Network. *National Footprint Accounts*, 2016 Edition. Disponible en: www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public_data_package. Fecha de consulta: agosto de 2016.

sustentable. En otros términos, sería equivalente a decir que para el año 2012 se necesitaban 1.6 planetas con una biocapacidad como la del nuestro para sostener los patrones de consumo de la sociedad humana en ese año.

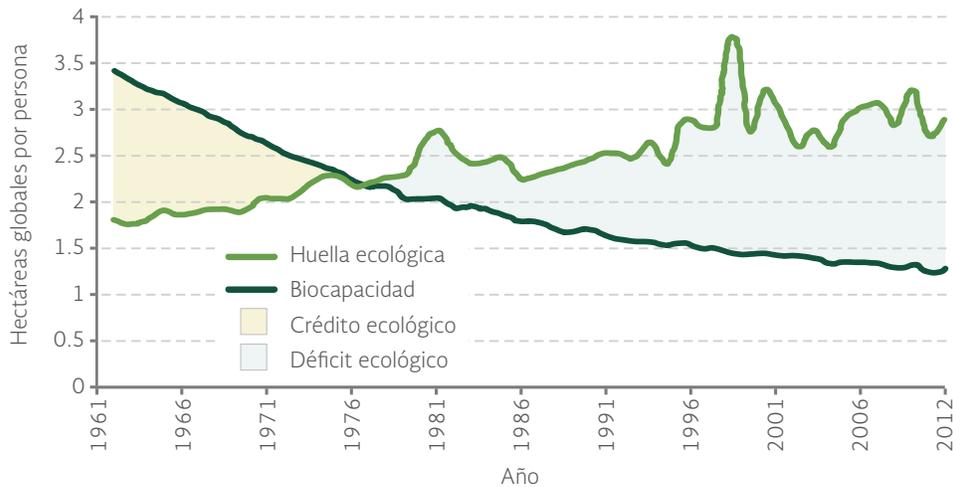
De los componentes de la huella ecológica per cápita en el mundo en 2012 (2.8 ha/hab), 20.5% correspondía a la superficie para cubrir las necesidades de pesquerías, tierras de pastoreo, madera y asentamientos humanos, y 20% a la superficie para obtener productos agrícolas (Figura 1.23). El 59.5% restante (1.69 ha/hab) de la huella correspondía a la superficie necesaria para absorber el CO₂ emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles.

En el caso de México, en 1961 la huella ecológica estimada era de alrededor de 2 hectáreas globales por persona, que para 2012 había crecido hasta alcanzar un valor de 2.9 hectáreas globales. En el mismo periodo, la biocapacidad descendió de alrededor de 4 hectáreas globales por persona a 1.3 (Figura 1.24). Esto significa que en 50 años cada mexicano pasó de tener un crédito ecológico de alrededor de 2 hectáreas globales a un déficit de 1.6 hectáreas globales.

Al igual que la mayor parte de los países del mundo, en México el componente que mayor peso tiene en la huella ecológica es la superficie requerida para absorber el CO₂ producto de la quema de combustibles fósiles. En 2012 representó el 60.2% de la huella ecológica per cápita (1.74 ha/hab, un valor muy similar a la biocapacidad nacional actual), mientras que la categoría de menor impacto fue la de los asentamientos humanos con 1.7% de la huella ecológica (0.05 ha/hab).

Si se relaciona la huella ecológica con el Índice de Desarrollo Humano (IDH), se observa que todos los países con muy alto desarrollo humano (es decir, un IDH mayor a 0.8) tienen huellas ecológicas por arriba de la biocapacidad promedio mundial (1.73 ha/hab en 2012), es decir, están en condición de déficit ecológico (Figura 1.25). Esto parecería apoyar la noción de que el alcance de dicha condición y el estilo de vida actual de sus ciudadanos no han seguido consideraciones de sostenibilidad.

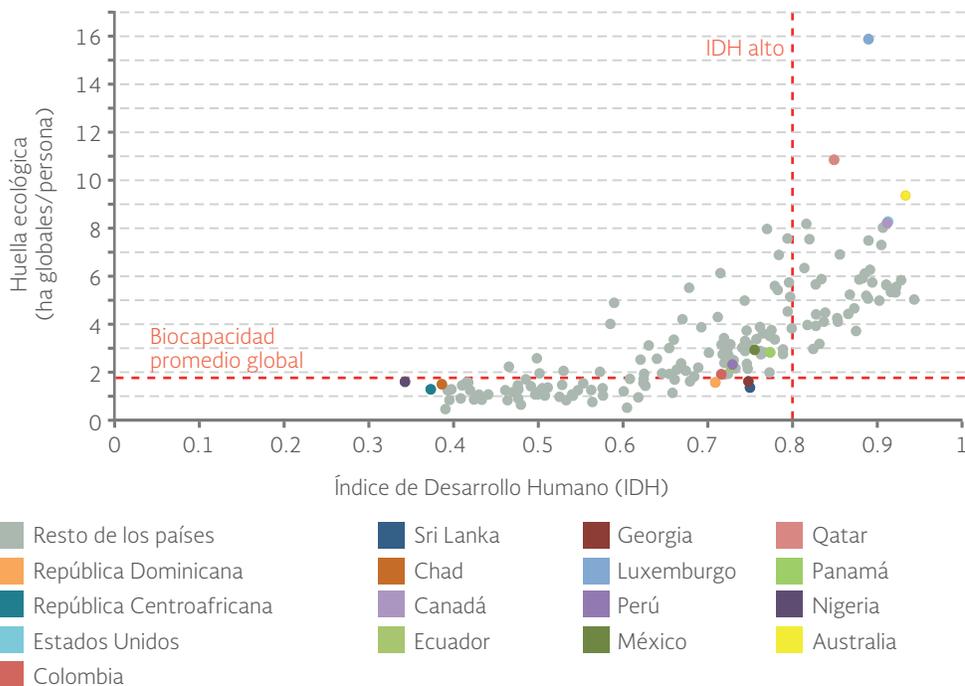
Figura 1.24 | Huella ecológica y biocapacidad per cápita en México, 1961 - 2012



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 WWF. Informe Planeta Vivo 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. WWF, Global Footprint Network y ZSL Living Conservation. 2014.
 WWF. Informe Planeta Vivo 2014. Especies y espacios, personas y lugares. WWF, Global Footprint Network y ZSL Living Conservation. 2014.
 Global Footprint Network. National Footprint Account Results (2015 Edition). Disponible en: http://footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public_data_package. Fecha de consulta: abril de 2015.

Figura 1.25 | Índice de Desarrollo Humano (IDH) y huella ecológica para algunos países del mundo, 2012



Fuente:

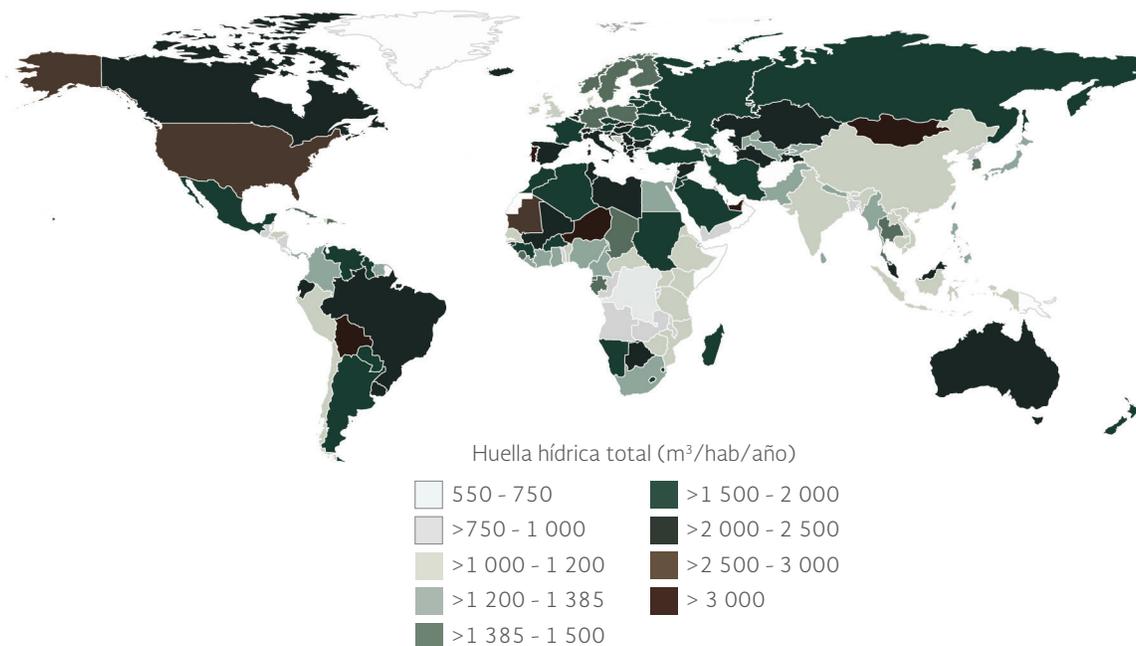
Global Footprint Network. National Footprint Accounts, 2016 Edition. Please contact Global Footprint Network. Disponible en: www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public_data_package. Fecha de consulta: agosto de 2016.

La huella hídrica es una medida de la apropiación de los recursos hídricos, y se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país, aunque también puede utilizarse para empresas o productos particulares (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 (por ejemplo, el volumen de extracción) de uso del líquido por los diferentes sectores y de la población en general.

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 aquellas que son producto de las actividades industriales y agropecuarias (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

El cálculo disponible para la huella hídrica corresponde al periodo 1996–2005 (Mekonnen y Hoekstra, 2011). En ese periodo, la huella hídrica promedio per cápita a nivel mundial era de 1 385 metros cúbicos por año, con grandes diferencias entre países y regiones (Mapa 1.9). Los

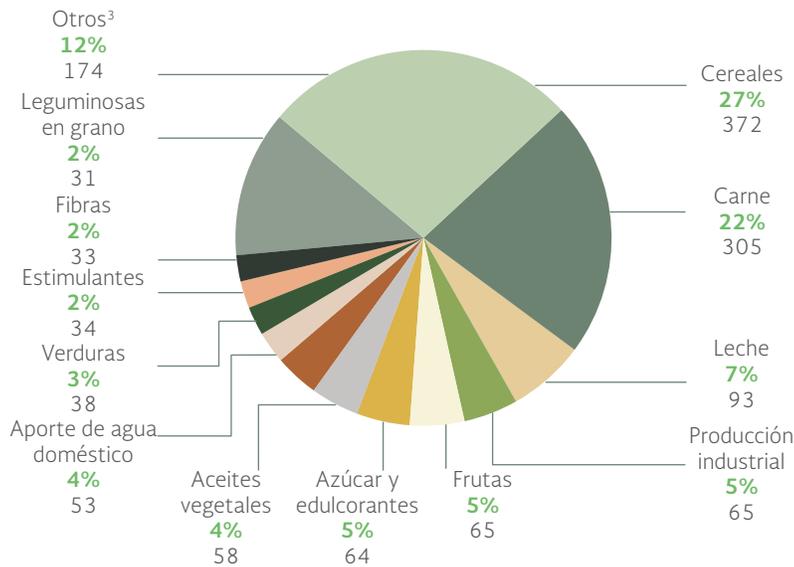
Mapa 1.9 | Huella hídrica total per cápita, 1996 - 2005



Fuente:

Mekonnen, N.N. 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, Delft the Netherlands. 2011.

Figura 1.26 | Huella hídrica per cápita global según producto, 1996 - 2005^{1,2}



Notas:

¹ Huella hídrica per cápita mundial: 1 385 m³/año.

² Las cifras se reportan en metros cúbicos/habitante/año y porcentaje.

³ Otros incluye: grasas animales, caucho, nueces, especias, tabaco, huesos, entre otros productos.

Fuente:

Mekonnen, N.N. y A.Y. Hoekstra. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Volumen 1: Main Report. Value of Water Research Report Series No. 50 UNESCO-IHE. 2011.

países industrializados alcanzaron una huella hídrica per cápita de entre 1 258 y 2 842 metros cúbicos por año, con el Reino Unido en el extremo inferior del intervalo y Estados Unidos en el extremo superior. Sin embargo, un alto uso de los recursos hídricos no es particular a los países industrializados: varios países en vías de desarrollo registraron huellas hídricas per cápita altas, principalmente como resultado de una baja eficiencia en el uso del agua y de las condiciones y tipos de cultivo. Entre ellos se encuentran Mongolia (3 775 m³/hab/año), Níger (3 519 m³/hab/año) y Bolivia (3 468 m³/hab/año).

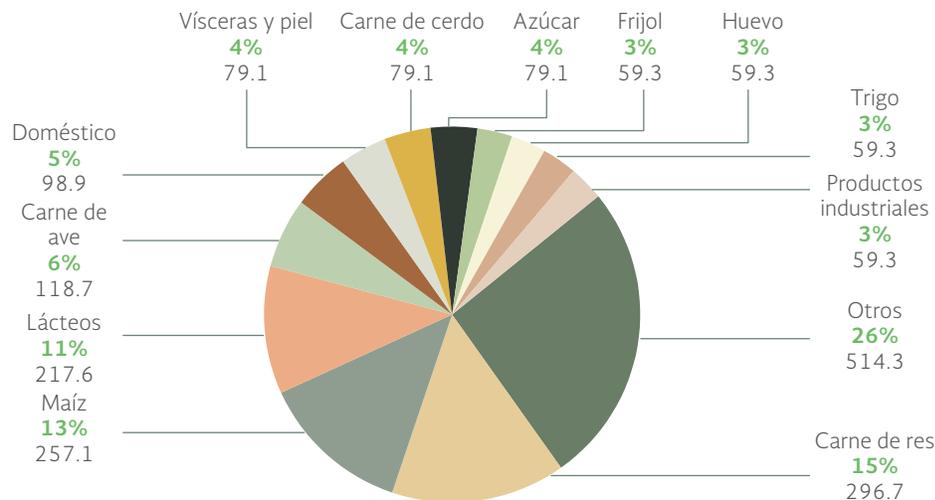
La producción de alimentos es la actividad que más consume agua en el mundo, muy por arriba de las actividades industriales. De la huella hídrica per cápita mundial, casi 49% correspondió a la producción de cereales y carne (27% para los cereales y 22% para la carne), mientras que las que menos consumieron (por debajo del 5%) fueron las leguminosas en grano y las fibras (Figura 1.26). La producción industrial global contribuyó con tan solo el 5% a la huella per cápita global.

En México, la huella hídrica per cápita registrada entre 1996 y 2005 fue la número 49 en el mundo, con 1 978 metros cúbicos por año. Esto representa 42% más que el promedio mundial (1 385 m³/año). El 92% de la huella per cápita del país (1 820 m³/año) se debió, al igual que en el caso mundial, al consumo de productos agropecuarios, el 5% al consumo doméstico y el resto a productos industriales (3%; Figura 1.27).

La huella hídrica de la producción²⁹ en México se estimó en 148 527 hectómetros cúbicos por año³⁰, ubicándolo en el onceavo lugar a nivel mundial. La producción agrícola fue el componente mayoritario con 108 372 hectómetros cúbicos anuales, equivalente al 73.4% de la huella, seguido del sector pecuario con 25 916 hectómetros. El resto se dividió entre el consumo doméstico (7%; 10 380 hm³/año), la producción industrial (1.9%; 2 864 hm³/año) y el consumo pecuario (0.7%; 995 hm³/año). Si se divide la huella hídrica de la producción en sus componentes, la mayor parte de la huella verde y azul está asociada a la actividad agrícola (76 y 84%, respectivamente); mientras que en la gris dominan el uso industrial y doméstico (Figura 1.28).

Con respecto a la huella hídrica del consumo³¹, México ocupa la octava posición en el mundo con 197 425 hectómetros cúbicos por año. Del total del consumo mexicano, 2.7% se debe a productos industriales y 5.3% al consumo doméstico; la mayoría (92%) se atribuye a productos agropecuarios. Al considerar los diferentes grupos de productos consumidos, México es un gran importador de agua a través de la actividad agropecuaria (44% es huella externa³²) e industrial (67%). Considerando el origen de la huella hídrica del consumo, 57.5% es interna³³, y el restante 42.5%, externa, siendo el componente verde el que ocupa la mayor proporción en ambas huellas (Figura 1.29).

Figura 1.27 | Huella hídrica per cápita en México según producto, 1996 - 2005



Notas:

¹ Huella hídrica per cápita nacional: 1 978 m³/habitante/año.

² Las cifras se reportan en metros cúbicos/habitante/año y porcentaje de la huella hídrica per cápita.

Fuente:

Mekonnen, N.N. y A.Y. Hoekstra. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. Vol. 2: Appendices. *Value of Water*. Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE. 2011.

²⁹ La huella hídrica de la producción es el volumen de agua de extracción local empleado para producir bienes, servicios y productos, tanto para consumo interno como para exportación. Esta medida permite conocer el estrés ocasionado sobre los recursos hídricos, y se obtiene de sumar el agua verde, azul, y gris en todos los procesos productivos agropecuarios, así como el agua azul y gris de los industriales y domésticos (Vázquez del Mercado Arribas y Buenfil Rodríguez, 2012; WWF et al., 2012).

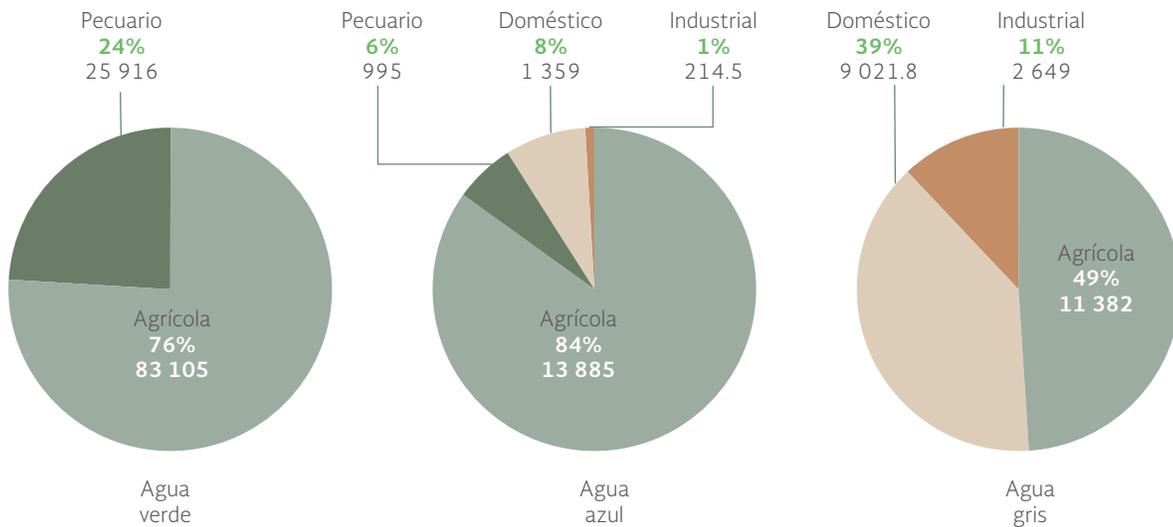
³⁰ Un hectómetro cúbico (hm³) = 1 millón de metros cúbicos.

³¹ Se define como la cantidad total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de una nación.

³² El componente de la huella hídrica que se denomina "huella externa" impacta y se produce fuera de la nación e implica la apropiación de los recursos hídricos de otros países para la producción de bienes y servicios que se importan y consumen en el país considerado. La huella hídrica externa es una manera de reducir la presión sobre los recursos hídricos propios (Vázquez del Mercado Arribas y Buenfil Rodríguez, 2012).

³³ El componente de la huella hídrica que se denomina "huella interna" es la que impacta y se genera dentro de la nación, es decir, es la apropiación de los recursos hídricos nacionales.

Figura 1.28 | Huella hídrica de la producción en México¹ según producto y componente, 1996 - 2005²



Notas:

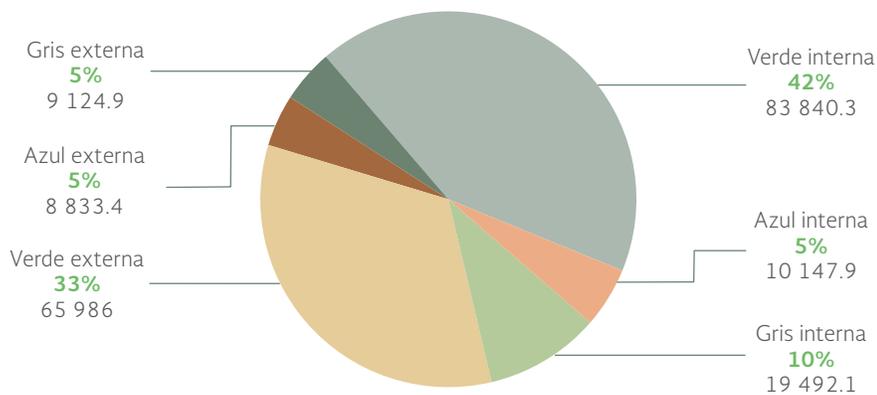
¹ Huella hídrica de la producción en México: 148 527 hm³/año.

² Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

Fuente:

Mekonnen, N.N. y A.Y. Hoekstra. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Vol. 2: Appendices. Value of Water. Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE. 2011.

Figura 1.29 | Huella hídrica del consumo¹ en México según origen y componente, 1996 - 2005²



Notas:

¹ Huella hídrica del consumo nacional: 197 425 hm³/año

² Las cifras se reportan en Mm³/año y porcentaje de la huella hídrica del consumo.

Fuente:

Mekonnen, N.N. y A.Y. Hoekstra. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Vol. 2: Appendices. Value of Water. Research Report Series No. 50. UNESCO-IHE. 2011.

Otra aproximación para evaluar el impacto de las actividades humanas en el ambiente terrestre se basa en el cálculo de la llamada “huella humana” (HH), definida como la transformación de los ambientes físicos y de los ecosistemas que sostienen por efecto de las actividades humanas (Theobald, 2013)³⁴. Existen distintos métodos para estimar la HH, basados fundamentalmente en el análisis de información geoespacial detallada y en el supuesto de que la intensidad de la influencia humana sobre el ambiente es el resultado del tipo de actividad realizada, de la superficie que ocupa esa actividad y de la acumulación de actividades a través del tiempo y del espacio ocupado (González-Abraham *et al.*, 2015).

En un estudio reciente, Venter y colaboradores (2016) calcularon la huella humana global para los años 1993 y 2009 empleando ocho variables que medían, directa o indirectamente, la presión humana sobre el ambiente terrestre³⁵. El valor promedio de la huella humana³⁶ creció 9% entre 1993 y 2009, pasando de 5.67 a 6.16. Según el estudio, alrededor del 75% de la superficie terrestre mostraba en 2009 algún grado de impacto por el hombre (Figura 1.30a). Las regiones con los mayores impactos se ubicaron en los bosques templados del oeste europeo, el este de los Estados Unidos y China, en los bosques secos tropicales de India y parte de Brasil y en los bosques tropicales húmedos del sureste de Asia (Figura 1.30a).

El cambio en la huella humana calculado para el periodo 1993–2009, observado a través de las ecorregiones en las que se divide al planeta, puede apreciarse en la Figura 1.30b. De las 823 ecorregiones consideradas, en 523 los autores observaron incrementos en los valores promedio de su huella, algunas en zonas caracterizadas por la presencia de una alta biodiversidad, como en el caso de la costa atlántica brasileña y las islas del sureste asiático. En contraste, en 223 ecorregiones se pudieron identificar reducciones en los valores promedio de la huella, principalmente en las regiones templadas de Norteamérica y el oeste europeo.

Para el caso de México, un ejercicio similar ha permitido calcular la huella humana para el año 2011³⁷. Para este caso, el valor de la huella humana de una zona puede oscilar entre -1 y 10, donde 10 denota ambientes con el mayor impacto posible y -1 ambientes sin evidencia de perturbación³⁸. Los resultados del análisis mostraron que, en 2011, el valor promedio de la huella ecológica en el país fue de 1.87, lo que correspondería a un impacto bajo (0.1 a 2; Mapa 1.10). Esto se explica en que una proporción importante del país conserva aún su cubierta de vegetación natural (sea en

³⁴ El primer trabajo que propuso la huella humana fue el de Sanderson y colaboradores (2002), que evaluó el impacto de las actividades humanas en la superficie terrestre considerando cuatro variables: densidad poblacional, accesibilidad, cambio de uso del suelo e infraestructura eléctrica.

³⁵ Las ocho variables fueron: 1) extensión de ambientes construidos, 2) tierras agrícolas, 3) tierras pecuarias, 4) densidad poblacional, 5) iluminación nocturna, 6) vías férreas, 7) caminos y 8) vías navegables.

³⁶ El valor de la huella calculado en este trabajo oscila entre 0 y 50, con valores crecientes denotando mayor impacto humano.

³⁷ Para la estimación de la huella humana se siguió la metodología propuesta por Sanderson y colaboradores (2002), González-Abraham y colaboradores (2015) y Theobald (2013). Los impactos de las actividades humanas consideraron tanto la intensidad de la modificación de los ecosistemas a partir de su condición original, como la extensión del impacto, es decir, la superficie modificada por las distintas actividades. Las actividades productivas consideradas fueron la agricultura, ganadería, acuicultura, plantaciones forestales o minería a cielo abierto, la presencia de zonas urbanas (incluyendo zonas industriales e instalaciones de generación de energía) y de infraestructura (vías de comunicación, presas, aeropuertos, canales, líneas de transmisión eléctrica, sitios de disposición de residuos sólidos y las plantas de tratamiento, entre otras).

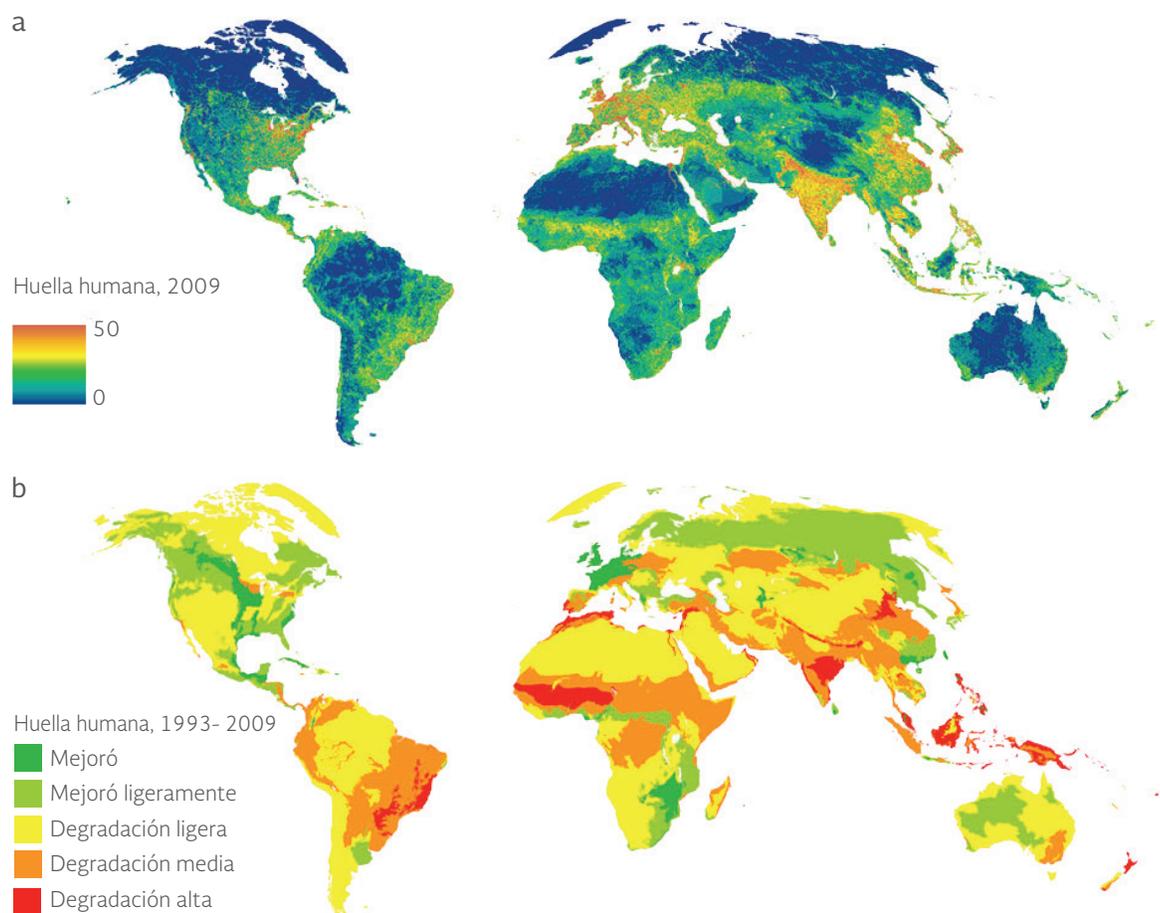
³⁸ Las categorías de impacto o de huella humana (HH) corresponden a la siguiente clasificación: no transformada (-1 a 0), bajo (0.1 a 2.0), medio (2.1 a 4.0), alto (4.1 a 7.0) y muy alto (7.1 a 10).

condición primaria o secundaria; en 2011 la vegetación natural cubría 71.7% del territorio). Para mayores detalles respecto a la cubierta y a su condición ver el capítulo de **Ecosistemas terrestres**). Ahora bien, si tan solo se consideran las áreas con evidencia de impacto, el promedio de la huella humana en el país es de 3.74, lo que lo ubicaría en la categoría de impacto medio (2.1 a 4).

En términos de superficie, en el 53% de la superficie nacional no había o no era detectable el impacto de las actividades humanas (Mapa 1.10). En contraste, el 11% del territorio tiene un nivel muy alto de huella humana (7.1 a 10), el cual se concentra en zonas de los estados del centro, sureste y en la zona costera del noreste frente al Golfo de California.

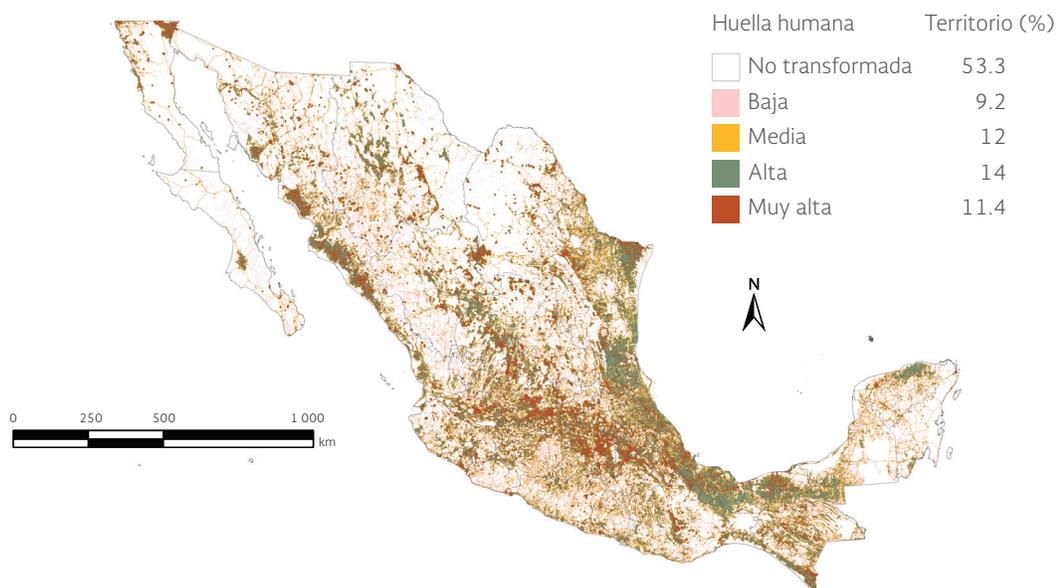
Los estados con mayores niveles de huella humana en esa fecha fueron la Ciudad de México (con el 59% de su territorio con muy alto impacto, el mayor de todas las entidades del país), Guanajuato, estado de México, Morelos, Tabasco, Tlaxcala y Veracruz (Figura 1.31a). Por el contrario, los estados con menor huella humana fueron Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Quintana Roo y Sonora (Figura 1.31b), los cuales conservan más del 65% de su superficie con cobertura vegetal.

Figura 1.30 | Huella humana global y su cambio, 1993 y 2009



Fuente:
 Tomado de:
 Venter et al., Sixteen year of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*. DOI: 10.1038/ncomms 12558.2016.

Mapa 1.10 | Huella humana en México, 2011



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Semarnat. México. 2010.
 Conagua. PTAR (plantas de tratamiento de aguas), Residuos (a cielo abierto, controlados y rellenos sanitarios), Salinas artificiales, Minas y otras ubicaciones geológicas, escala 1: 50,000 y 1: 250,000. Conagua. México. 2010.
 DGPAIRS. Acuicultura, año 2010, escala 1: 250 000. Semarnat. México. 2010.
 INAH. Rasgos Arqueológicos (INAH_ARQUE50): Escala 1: 50,000. INAH. México. 2010.
 INEGI, SCT e IMT. Red Nacional de Caminos (RED): escala 1: 50,000. INEGI, SCT e IMT. México. 2010.
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013
 INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, 1: 50 000: ITER_2010, TOPO_Urbano, TOPO_Industria, TOPO_Energía. 2010, TOPO_Vías_Férreas. INEGI. México. 2010.

COSTOS ECONÓMICOS DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL

La producción y el consumo de bienes y servicios, motores del desarrollo económico de los países, generan efectos negativos en la sociedad y el ambiente que frecuentemente no se incorporan en los precios con los que se comercian en el mercado (conocidos como “externalidades negativas” o “fallas de mercado”). La degradación ambiental, la contaminación del aire, el agua y los suelos, y la emisión de los gases de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, son algunos de las “fallas del mercado” más relevantes.

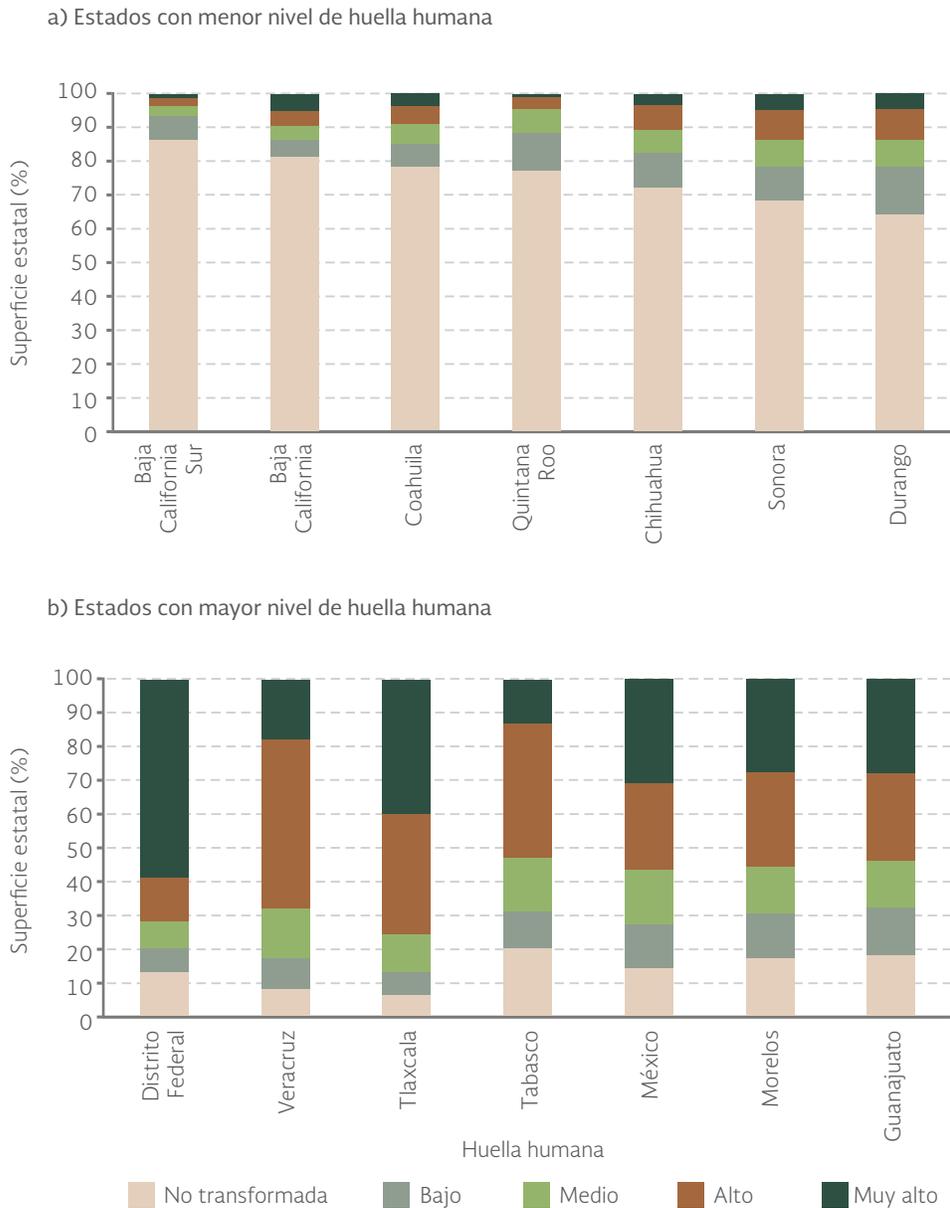
Debido a que el crecimiento económico es uno de los componentes del desarrollo sustentable y que la degradación ambiental tiene un impacto directo en el crecimiento sostenido de la economía, se cuenta con información que permite hacer un balance objetivo de los costos de la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales, así como de lo que se invierte en acciones de protección y uso sustentable de los recursos naturales. Ambos aspectos se abordarán en la presente sección.

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), como parte del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM), calcula desde 1985³⁹, los llamados Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental (CTADA). Dichos costos representan las

³⁹ A pesar de que se dispone de información para los CTADA desde 1985, debido al cambio de año base de las cuentas nacionales y otros ajustes metodológicos, no existe una serie unificada en valores monetarios que permita hacer comparaciones más precisas de largo plazo.

erogaciones que la sociedad tendría que realizar para remediar, restituir o prevenir el agotamiento y la degradación de los recursos naturales y el medio ambiente (INEGI, 2014). Los CTADA se dividen en costos de agotamiento y costos por degradación.

Figura 1.31 | Huella humana en algunas entidades del país, 2011



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Semarnat. México. 2010.
 Conagua. PTAR (plantas de tratamiento de aguas), Residuos (a cielo abierto, controlados y rellenos sanitarios), Salinas artificiales, Minas y otras ubicaciones geológicas, escala 1: 50,000 y 1: 250,000. Conagua. México. 2010.
 DGPAIRS. Acuicultura, año 2010, escala 1: 250 000. Semarnat. México. 2010.
 INAH. Rasgos Arqueológicos (INAH_ARQUE50): Escala 1: 50,000. INAH. México. 2010.
 INEGI, SCT e IMT. Red Nacional de Caminos (RED): escala 1: 50,000. INEGI, SCT e IMT. México. 2010.
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013
 INEGI. Marco Geoestadístico Nacional, 1: 50 000: ITER_2010, TOPO_Urbano, TOPO_Industria, TOPO_Energía. 2010, TOPO_Vías_Ferreas. INEGI. México. 2010.

Figura 1.32 | Costos totales por agotamiento y degradación ambiental (CTADA) en México, 2003 - 2014¹



Nota:

¹ Cifras preliminares a partir de 2013.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

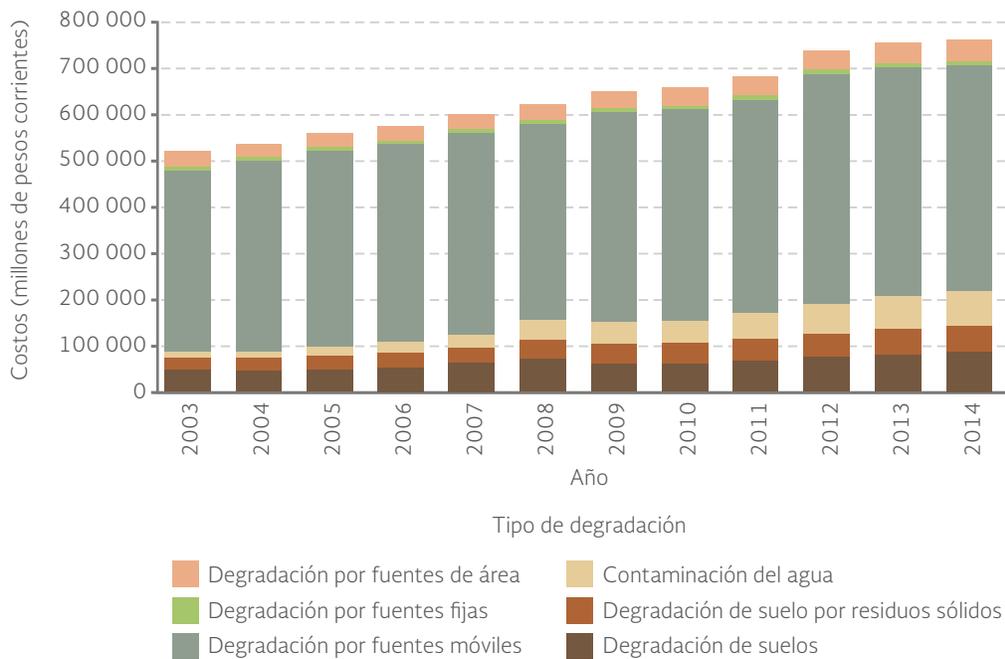
INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2014. Preliminar. Año base 2008. México. 2014.

Los datos más recientes para los CTADA corresponden al periodo 2003-2014⁴⁰. Éstos muestran que los CTADA aumentaron de 648 mil millones de pesos en 2003 a 911 mil millones en 2014, lo que significó un aumento del 40.5% (Figura 1.32; Cuadro D2_CAMBIENT02_004). Si los CTADA se comparan con el PIB, mientras que en 2003 representaban el 8.4% de este último, para 2014 esta cifra alcanzaba 5.3%. Esta reducción relativa debe interpretarse básicamente como resultado del crecimiento diferencial de ambos conceptos: en el citado periodo el PIB creció más rápidamente (al 7.59% anual considerando el periodo) que como lo hicieron los CTADA (3.14% anual).

Al interior de los CTADA, los costos por degradación (CD) representaron, en promedio, el 75% de los costos entre 2003 y 2014. En 2003 totalizaron 520 mil millones de pesos, mientras que en el año 2014 sumaron 760 mil millones de pesos (Figura 1.33). Los costos por la degradación ambiental crecieron anualmente en el citado periodo a una tasa anual de 3.5%, esto es, más rápidamente que el crecimiento de los costos por agotamiento (ver más abajo). Dentro de los CD se incluyen los asociados a la degradación del aire, suelo y agua. Entre ellos, los asociados a la degradación del aire son los que más contribuyen a la degradación ambiental, siendo el 71.3% del total en 2014, seguidos por los costos de la degradación del suelo (18.9%) y del agua (9.8%). Éstos últimos fueron, entre 2003 y 2014, los que crecieron más en términos relativos (505% al 18% anual), le siguieron los costos por la degradación causada por residuos (131%, 8% anual), erosión y degradación de suelo (77%; 5% anual) y del aire (25%; 2% anual). Si se comparan los costos relacionados a la degradación ambiental con el PIB, entre 2003 y 2014 disminuyeron de 6.7 al 4.4%, respectivamente.

⁴⁰ Los datos son calculados con 2008 como año base.

Figura 1.33 | Costos por degradación (CD) ambiental en México, 2003 - 2014¹



Nota:

¹ Cifras preliminares a partir de 2013.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2014. Preliminar. Año base 2008. México, 2014.

Figura 1.34 | Costos por agotamiento (CA) en México, 2003 - 2014¹



Nota:

¹ Cifras preliminares a partir de 2013.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2014. Preliminar. Año base 2008. México, 2014.

En el caso de los costos por agotamiento (CA), se incluyen los relativos a los hidrocarburos, recursos forestales y el agua subterránea. Como puede observarse en la Figura 1.32, su contribución a los CTADA es menor a los relacionados con los costos de la degradación ambiental: entre 2003 y 2014 su contribución promedió el 25% del total. Los CA crecieron en el citado periodo de 128.3 a 150.5 mil millones de pesos, lo que significó un crecimiento anual del 1.46% (Figura 1.34). De entre los componentes de los CA, el correspondiente a los hidrocarburos ha contribuido en mayor proporción con el costo del agotamiento total: en 2014 alcanzó el 70% y le siguieron por su valor los costos por el agotamiento del agua (20% del total de los CA) y por los recursos forestales (10%). En el caso de este último, es el único que muestra una tendencia decreciente en el tiempo: mientras que en 2003 sus costos se estimaron en 18.5 mil millones de pesos, en 2014 alcanzaron 14.7 mil millones de pesos, es decir, representaron una disminución de alrededor del 20%, la cual puede explicarse por la reducción de la pérdida de volumen de madera en los bosques resultado de la disminución de la tasa de deforestación en el país en ese periodo y las pérdidas ocasionadas por los incendios forestales (para más detalles consultar el capítulo de [Ecosistemas terrestres](#)).

Los gastos gubernamentales en protección ambiental (GPA) se definen como las erogaciones que se realizan por la sociedad en su conjunto para prevenir, controlar o disminuir el daño ambiental generado por las actividades de producción, distribución y consumo⁴¹. Una manera de medir la suficiencia del esfuerzo de los GPA es contrastar su monto erogado contra los CTADA. En 2014, los GPA representaron el 16.2% de los CTADA (Figura 1.35). No obstante que esta diferencia es importante, debe notarse que la diferencia entre los GPA y los CTADA se ha venido reduciendo desde 2003.

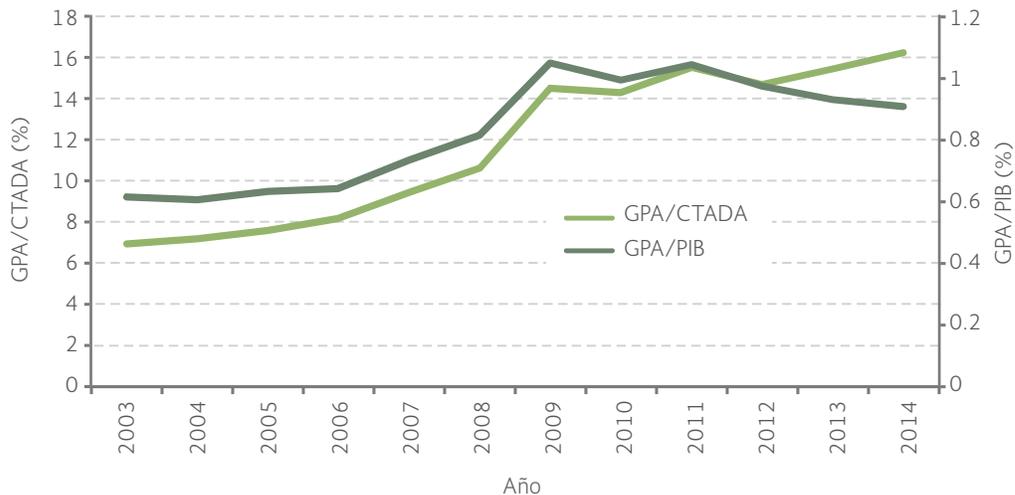
Los gastos en protección ambiental aumentaron de manera constante entre 2003 y 2014. Su mayor crecimiento se observó entre 2003 y 2011, cuando pasaron de 44.8 a 145.9 mil millones de pesos; después de ese periodo se han estabilizado alcanzando en 2014 los 147.6 mil millones de pesos. En este último año, entre las actividades principales en las que se enfocaron los GPA fueron la protección de la calidad del aire, el ambiente y el clima (15.2% del total), la gestión de las aguas residuales (15.8%) y la gestión de los residuos sólidos (6.3%; Figura 1.36a).

Desde el punto de vista administrativo, en 2014 la mayor parte de los GPA fueron cubiertos por el sector paraestatal (65 mil millones de pesos) y los gobiernos estatales (39 mil millones de pesos; Figura 1.36b). Le siguieron el nivel federal (32 mil millones de pesos), municipal (7.3 mil millones de pesos) y finalmente los hogares que destinaron un total de 3.7 mil millones de pesos.

La Figura 1.36c muestra la erogación con base en la funcionalidad de las erogaciones. Puede observarse un claro énfasis en las erogaciones destinadas a la remediación, que en 2003 representaban 20 mil millones de pesos y en 2014 alrededor de 90.9 mil millones de pesos. Es importante notar que la prevención ha registrado un crecimiento importante: mientras que en 2003 representaba el 10.2% de los GPA, en 2014 se duplicó para representar el 20%.

⁴¹ A la fecha no se dispone de los montos erogados por parte de las empresas, por lo cual los datos de protección ambiental podrían estar subestimados. Los datos recabados por el INEGI, que son los que aquí se muestran, son únicamente representativos del sector público y del manejo de los residuos en los hogares.

Figura 1.35 | Gastos en protección ambiental (GPA) respecto de los costos totales por agotamiento y degradación ambiental (CTADA) y el PIB en México, 2003 - 2014¹



Nota:
¹ Cifras preliminares a partir de 2013.

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2014. Preliminar. Año base 2008. México. 2014.

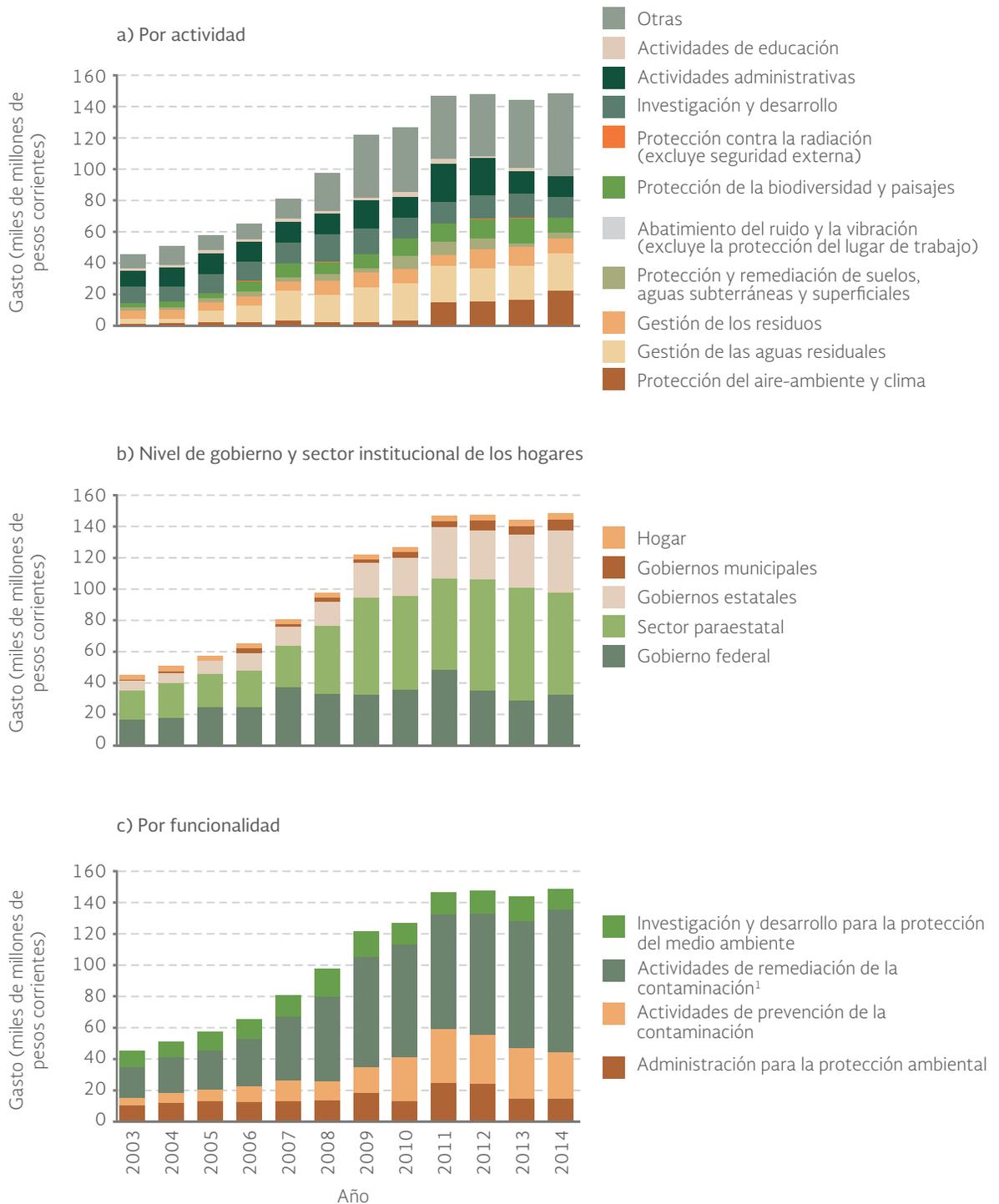
ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL

La salud ambiental es una rama de la salud pública que busca entender los aspectos del ambiente natural y humano (ya sean físicos, químicos y biológicos) que impactan la salud o alteran los balances ecológicos esenciales para su preservación y el mantenimiento de un ambiente sano. Factores ambientales relacionados con daños a la salud son, por ejemplo, la calidad del agua (que cuando no es adecuada causa enfermedades gastrointestinales) y del aire (causante de enfermedades respiratorias), el cambio climático, y los efectos asociados a las actividades agrícolas, el transporte, el ruido y el manejo de los residuos sólidos, entre algunos otros (Tabla 1.1).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), señala que aunque no hay una estimación oficial del número de personas que resultan afectadas por factores de riesgo ambientales, se sabe que tiene un peso importante en la salud pública. Entre las enfermedades prevenibles asociadas a la calidad del ambiente se encuentran diarreas, infecciones de las vías respiratorias, malaria y las ocasionadas por manejo de sustancias peligrosas, radiación y accidentes industriales o carreteros.

En esta sección se analizan, en función de la calidad y la disponibilidad de la información, las enfermedades de origen hídrico y las denominadas infecciones respiratorias agudas, vinculadas al deterioro de la calidad de aire (véanse los capítulos de [Agua](#) y [Atmósfera](#) para más detalles al respecto). Ambos grupos de enfermedades se encuentran entre las principales causas de morbilidad y mortalidad tanto en México como en el mundo.

Figura 1.36 | Gastos en protección ambiental (GPA) según actividad, origen y función en México, 2003 - 2014¹



Nota:
¹ Cifras preliminares a partir de 2013.

Fuente:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2014. Preliminar. Año base 2008. M

Tabla 1.1 | Factores de riesgo ambientales y enfermedades relacionadas según los criterios de la Organización Mundial de la Salud

Factores de riesgo	Enfermedades relacionadas
Contaminación en espacios abiertos	Infecciones respiratorias, enfermedades cardiopulmonares, cáncer de pulmón
Contaminación en espacios cerrados por quema de combustibles sólidos	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, infecciones de las vías respiratorias inferiores, cáncer de pulmón
Plomo	Retraso mental temprano y enfermedades cardiovasculares
Agua, saneamiento e higiene	Enfermedades diarreicas, tricomoniasis, esquistosomiasis, ascariasis, trichuriasis, etc.
Cambio climático	Enfermedades diarreicas, malaria, y otras afecciones
Factores ocupacionales como ruido, contacto con carcinogénicos, partículas suspendidas, y estresores ergonómicos	Pérdida de oído, cánceres, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, dolores musculares y lumbares

Fuente:

Tomado de:

Prüss-Ustün A. y C. Corvalán. *Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease*. Geneva. WHO. 2006.

Enfermedades de origen hídrico

Cuando el agua no reúne los requisitos de calidad para el consumo humano puede ser vehículo de bacterias, virus o protozoarios entéricos que causan afecciones conocidas genéricamente como “enfermedades de origen hídrico” (EOH). Entre las principales se encuentran las enfermedades diarreicas, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea, la amebiasis y la hepatitis A (Mazari *et al.*, 2010). Su presencia en la población está relacionada con agua contaminada, saneamiento inadecuado y malos hábitos de higiene.

Las enfermedades de origen hídrico son una causa importante de mortalidad infantil en el mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo. En México, en 2014 las EOH figuraban entre las primeras 20 enfermedades con más casos registrados (DGE, Salud, 2015), siendo una de sus principales causas el uso de aguas residuales sin tratamiento para el riego de alimentos que se consumen crudos (Mazari *et al.*, 2010).

La morbilidad atribuible a las EOH en el país presenta, en términos generales y a pesar de un repunte entre 2009 y 2012, una tendencia a la baja entre el año 2000 y el 2014 (Figura 1.37). Pasó de 7.13 millones de casos totales en el año 2000 (con una tasa de 7 068 casos/100 mil hab) a 5.58 millones de casos (4 663 casos/100 mil hab) en 2014 (DGE, Salud, 2015). La mayor proporción de los casos de EOH registrados en ese periodo se debió a infecciones intestinales (en 2014 representó 88.5% de los casos); mientras que enfermedades con menor incidencia fueron el dengue clásico y hemorrágico, la fiebre tifoidea y la hepatitis A (todas con menos del 1% de los casos anuales).

La mortalidad por infecciones intestinales es un indicador complementario a la morbilidad, y ayuda a entender el peso de las condiciones sanitarias hídricas del país en esta variable demográfica. Para el grupo de menores de cinco años, la mortalidad pasó de 21.8 por cada 100 mil habitantes en 2000

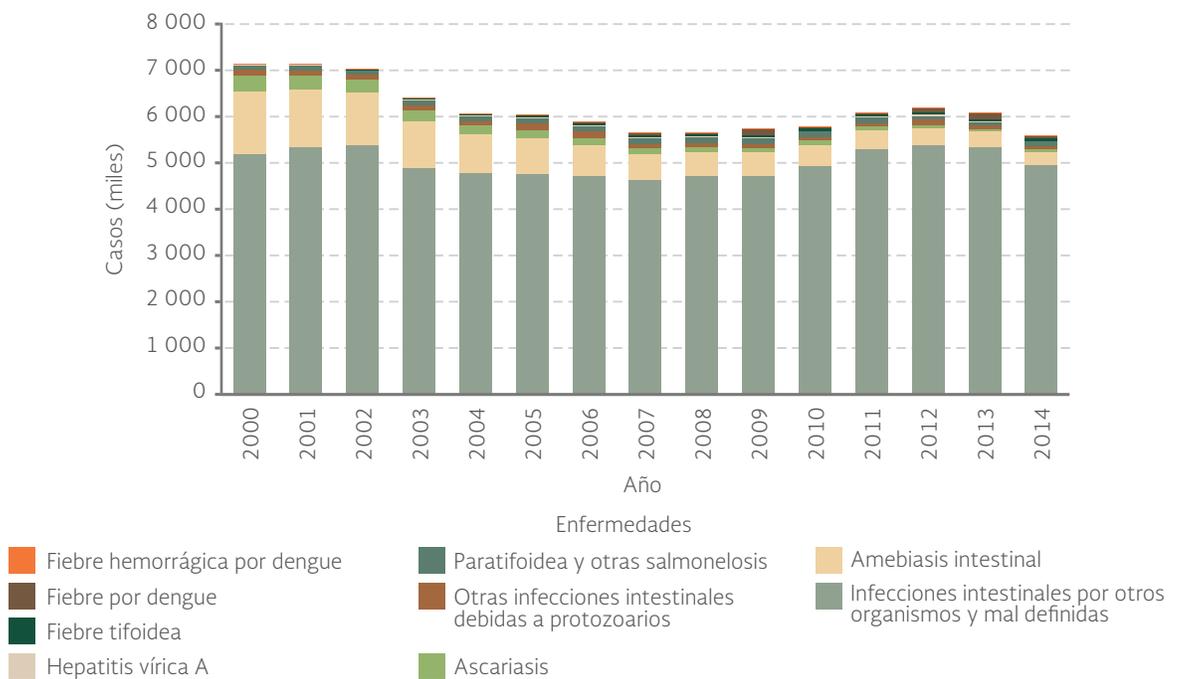
a 9.1 en 2011. En este último año, las tasas de mortalidad más altas para este grupo de edad se registraron en Chiapas (30.8 decesos/100 mil hab), Oaxaca (16.7 decesos/100 mil hab) y Puebla (14.3 decesos/100 mil hab), mientras que en Colima no se presentó ningún deceso por esta causa (Mapa 1.11; DGE, SALUD, 2015).

Infecciones respiratorias agudas

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son un conjunto de padecimientos del aparato respiratorio causadas principalmente por bacterias y virus, que evolucionan en tiempos menores a quince días, en algunos casos incapacitantes y cuando no son tratadas a tiempo o adecuadamente, mortales. Se transmiten de persona a persona y aunque generalmente son de origen infeccioso, los factores de riesgo ambientales como la contaminación atmosférica pueden afectar su evolución y gravedad (OMS, s/a). Ejemplos de IRA son el resfriado común, faringoamigdalitis, otitis, sinusitis, influenza y neumonía grave, entre otras. Se estima que el 42% de las enfermedades crónicas pulmonares se debe a factores de riesgo ambientales relacionados con exposición laboral a polvo y químicos, así como la contaminación del aire en espacios cerrados por la quema de combustibles sólidos (como en el caso del uso de leña) para cocinar o como calefacción (Prüss-Üstün, A. y Corvalan, 2006).

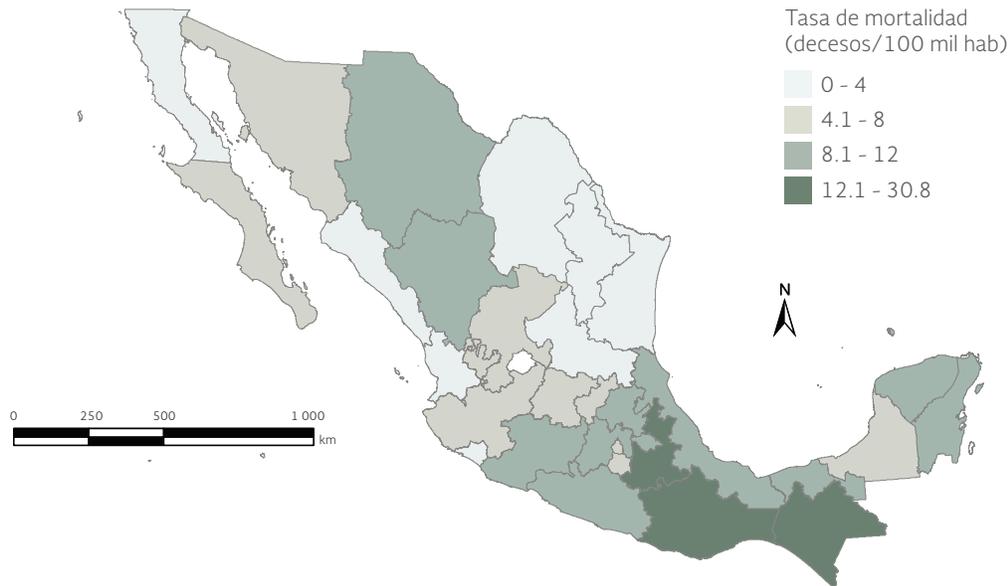
En México entre 2000 y 2014, el promedio de la tasa de morbilidad por IRA fue de 25.12 miles de casos por cada 100 mil habitantes (Figura 1.38). El repunte observado en 2009 se relacionó con la pandemia de influenza A/H1N1 que se presentó en el país ese año. Si se analiza por entidad

Figura 1.37 | Morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico en México, 2000 - 2014



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Dirección General de Epidemiología, Salud. Información Epidemiológica de morbilidad. Anuario Ejecutivo 2011. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud. México. 2013.
 Dirección General de Epidemiología, Salud. Anuarios de Morbilidad. Información Epidemiológica. Compendio 1984-2014. Disponible en: www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/anuarios.html. Fecha de consulta: agosto de 2015.

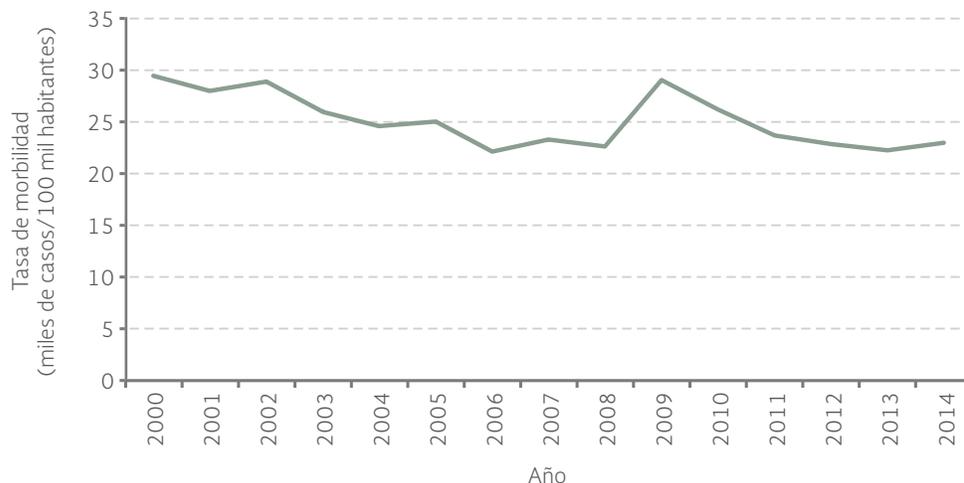
Mapa 1.11 | Mortalidad por enfermedades infecciosas intestinales en menores de cinco años por entidad federativa, 2011



Fuente: SINAVE, DGE, Salud. *Panorama Epidemiológico y Estadístico de la Mortalidad*. SINAVE, DGE, Salud. México. 2010.

federativa, en 2014 las que registraron las menores tasas de morbilidad fueron Chiapas (12 816 casos/100 mil hab), Veracruz (15 142 casos/100 mil hab) y Baja California (15 964 casos/100 mil hab; Mapa 1.12). En contraste, Aguascalientes, Zacatecas y Durango presentaron los mayores números con 44 636, 38 485 y 34 082 casos por cada 100 mil habitantes, respectivamente (Mapa 1.12; DGE, Salud, 2015).

Figura 1.38 | Morbilidad atribuible a infecciones respiratorias agudas (IRA) en México, 2000 - 2014



Fuentes: Elaboración propia con datos de: Dirección General de Epidemiología, Salud. *Anuarios de Morbilidad. Información Epidemiológica. Compendio 1984-2013. Incidencia de infecciones respiratorias agudas (J00-J06, J20, J21 excepto J02.0, J03.0) por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2013. Población General*. Disponible en: epidemiologia.salud.gob.mx/anuarios/html/anuarios.html. Fecha de consulta: agosto de 2015. Dirección General de Epidemiología, Salud. *Información Epidemiológica de Morbilidad. Anuario Ejecutivo 2012. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica*, Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud. México. 2013.

Mapa 1.12 | Incidencia de infecciones respiratorias agudas por entidad federativa, 2014



Fuente:

Elaboración propia con datos de: Dirección General de Epidemiología, Salud. *Anuarios de morbilidad, Información Epidemiológica. Compendio 1984-2014. Incidencia de Enfermedades respiratorias agudas (J00-J06, J20, J21 excepto J02.0, J03.0) por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2014. Población General.* Disponible en: www.epidemiologia.salud.gob.mx. Fecha de consulta: agosto de 2015.

REFERENCIAS

Chapagain, A. y A. Hoekstra. *Water Footprints of Nations. Volume 1: Main Report.* UNESCO-IHE. The Netherlands. Value of Water Research Report Series No. 16. 2004.

Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009.* México. Abril 2013. Disponible en: www.conapo.gob.mx. Fecha de consulta: julio de 2015.

Coneval. *Anexo estadístico de medición de la pobreza en los municipios de México, 2010.* Coneval. México. 2011c.

Coneval. *Informe de pobreza en México 2012.* Coneval. México. 2013.

Coneval. *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México.* 2da. edición. Coneval. México. 2014.

Cortés F., O. de Olivera (Coords.). *Desigualdad social.* Tomo V de Ordorica, M., y J. Prud'homme. Los grandes problemas de México. Colmex. México. 2010.

CEPAL. *Horizontes 2030: la igualdad en el centro del desarrollo sostenible (LC/G.2660/Rev.1).* CEPAL. Santiago. 2016.

CEPAL. *Banco de Datos de Encuestas de Hogares (BADEHOG).* Disponible en: http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/Portada.asp. Fecha de consulta: agosto de 2016.

De Sherbinin, A., D. Carr, S. Cassels y L. Jiang. *Population and Environment. Annual Review of Environment and Resources* 32: 345-373. 2007.

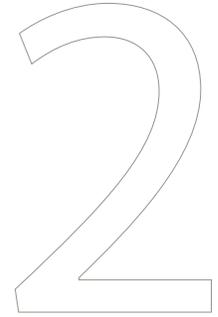
DGE, Salud. *Panorama epidemiológico y estadístico de la mortalidad en México 2011.* DGE, Salud. México. 2015.

Ehrlich, P. y J. Holdren. *Impact of Population Growth.* *Science* 171(3977): 1212-1217. 1971.

- González-Abraham, C., E. Ezcurra, P.P. Garcillán, A. Ortega-Rubio, M. Kolb y J.E. Bezaury. The human footprint in Mexico: physical geography and historical legacies. *PLoS ONE* 10(3). 2015.
- Grossman, G.M. y A.B. Krueger. Environmental impacts of North American Free Trade Agreement. *NBER Working Papers*. 3914. 1991.
- INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México 2013*. Preliminar. Año base 2008. México. 2014.
- IPCC. *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC. 2014.
- Mazari, M.H., A.C. Espinosa, Y. López, R. Arredondo, E. Díaz y C. Equihua. Visión integral sobre el agua y la salud. En: Jiménez C.B., M.L. Torregrasa y L. Aboites (Eds.). *El Agua en México: cauces y encauces*. AMC-Conagua. México. 2010.
- McNeill, J. Population and the Natural Environment: Trends and Challenges. *Population and Development Review* 32: 183-201. 2006.
- MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington, D. C. 2005.
- 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. The Netherlands. 2011.
- Nazrul, I.S. Inequality and Environmental Sustainability. DESA Working Paper No. 145 ST/ESA/2015/DWP/145. 2015.
- OMS. *Los efectos sobre la salud ¿Qué consecuencias sanitarias acarrea la contaminación atmosférica urbana?* s/a. OMS. Disponible en: www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/. Fecha de consulta: julio de 2015.
- PNUD. *Informe sobre desarrollo humano 2014. Sostener el Progreso Humano: reducir la vulnerabilidad y construir resiliencia*. PNUD. Estados Unidos. 2014.
- PNUD-México. *Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015*. PNUD-México. México. 2015.
- Prüss-Üstün, A. y C. Corvalán. *Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease*. Geneva. WHO. 2006.
- Sanderson, E.W., M. Jaiteh, M.A. Levy, K.H. Redford, A.V. Wannebo y G. Woolmer. The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52(10): 891-904. 2002.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockstrom, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223). 2015.
- Stern, D.I. *The Environmental Kuznets Curve After 25 Years*. CCEP Working Paper 1514. Crawford School of Public Policy, The Australian National University. 2015.
- Theobald, D.M. A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology* 28: 1859-1874. 2013.
- UN. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. CD-ROM Edition. UN. 2014.
- UNDP. *Informe sobre Desarrollo Humano 2011. Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos*. PNUD. 2011.
- Vázquez del Mercado Arribas, R. y M.O. Buenfil Rodríguez. Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC* 1: 41-48. 2012.
- Venter, O., E.W. Sanderson, A. Magrath, et al. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*. DOI: 10.1038/ncomms12558. 2016.
- World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford University Press. England. 1987.
- WHO, CBD. *Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health*. A State of Knowledge Review. Ginebra. 2015.
- WWF, Global Footprint Network, Water Footprint Network, ZSL Living conservation. *Living Planet Report 2014. Species and spaces, people and places*. Switzerland. 2014.
- WWF, AgroDer, SabMiller. *Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. México. 2012.
- York, R., E. Rosa y T. Dietz. STIRPAT, IPAT and ImpACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics* 46: 351-365. 2003.



Ecosistemas terrestres



La ubicación geográfica de México, su variedad de climas, topografía e historia geológica han producido una gran diversidad biológica. Esta diversidad se muestra en la riqueza de especies de flora y fauna, y la diversidad genética que los acompaña, que integran a una gran variedad de comunidades en el territorio continental e insular. Estas comunidades van desde la pradera de alta montaña, hasta las dunas costeras y los humedales, pasando por bosques templados, bosques mesófilos de montaña, selvas, matorrales xerófilos y pastizales naturales.

Los ecosistemas en general, y los terrestres en particular, han sido el sustento de las poblaciones humanas desde los inicios de su historia, y las han provisto de bienes como alimentos (carnes, frutas, verduras y aceites), madera y fibras para la construcción, leña como fuente de energía, y pulpa de madera para papel, entre otros. Además de estos bienes, los ecosistemas ofrecen servicios ambientales - no evidentes pero sí vitales para el desarrollo de cualquier sociedad humana - como son la purificación del aire y agua, la generación y conservación de los suelos, la descomposición y reciclaje de los desechos, el movimiento de nutrimentos, la protección del suelo ante la erosión por viento y agua, la regulación del clima y el amortiguamiento de los efectos de eventos meteorológicos extremos, entre otros.

El crecimiento y la expansión de la población humana durante el siglo XX, acompañada por el desarrollo industrial y urbano, trajeron consigo la mayor transformación de los ecosistemas terrestres por causa del humano. De acuerdo con el *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), para el año 2000, 42% de los bosques mundiales, 18% de las zonas áridas y 17% de los ecosistemas insulares habían sido transformados. Los cambios fueron principalmente a favor de zonas de cultivos y pastizales para ganadería, o bien para el establecimiento y desarrollo de poblados, ciudades y de infraestructura en vías de comunicación, tendido eléctrico y almacenamiento de productos, entre otros.

México, debido a diferentes fenómenos sociales y económicos, ha sufrido de un proceso sostenido de degradación y pérdida de sus ecosistemas terrestres. Una proporción muy importante de su territorio se ha transformado en campos agrícolas, pastizales inducidos y zonas urbanas. Los ecosistemas que aún persisten muestran, en mayor o menor medida, signos de alteración. En este capítulo se hace una descripción del estado actual de los ecosistemas terrestres del país, con particular énfasis en los procesos y factores que han promovido su transformación y alteración

en las décadas recientes. También se ha incluido una sección con los aspectos relacionados a su uso, en particular, lo referente a la explotación de productos forestales maderables y no maderables. El capítulo finaliza con una sección que describe algunas de las políticas públicas dirigidas hacia la conservación de la cubierta vegetal natural remanente, así como las dirigidas hacia la recuperación y el uso sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas.

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”. En México, la evaluación más reciente del uso del suelo corresponde a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (escala 1: 250 000), elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Esta carta describe 69 usos del suelo existente en el año 2011. Para facilitar su análisis, los diferentes usos han sido agrupados siguiendo diversos criterios, que van desde los que consideran la composición florística-fisonómica del sitio, hasta los que eligen su utilidad para algún sector particular. En la presente obra se agrupó o clasificó a la vegetación siguiendo el criterio fisonómico, como se muestra en la Tabla 2.1. Para más detalle de los principales tipos de vegetación natural ver recuadro [La Vegetación de México](#).

Tabla 2.1 | *Uso del suelo y vegetación en México*

<i>Formación vegetal/Usos del suelo</i>	<i>Tipo de vegetación/Cobertura</i>	<i>Superficie (ha)</i>	
Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	1 853 453	
	Bosque de ayarín	40 041	
	Bosque de cedro	2 446	
	Bosque de encino	11 190 254	
	Bosque de encino-pino	4 305 124	
	Bosque templado	Bosque de oyamel	149 458
		Bosque de pino	7 601 900
		Bosque de pino-encino	8 640 138
		Bosque de tascate	338 805
		Matorral de coníferas	262
Selva húmeda	Selva alta perennifolia	3 259 372	
	Selva alta subperennifolia	169 067	
	Selva baja perennifolia	41 738	
	Selva baja subperennifolia	99 747	
	Selva mediana subperennifolia	5 597 430	
	Selva mediana perennifolia	636	
Selva subhúmeda	Matorral subtropical	1 297 855	
	Selva baja caducifolia	14 217 361	
	Selva baja subcaducifolia	50 002	
	Selva mediana caducifolia	1 057 673	
	Selva mediana subcaducifolia	4 194 904	
	Selva baja espinosa caducifolia	639 528	
	Selva baja espinosa subperennifolia	1 088 154	
Manglar	Manglar	939 584	

Tabla 2.1 | Uso del suelo y vegetación en México (conclusión)

Formación vegetal/Usó del suelo	Tipo de vegetación/Cobertura	Superficie (ha)
Matorral xerófilo	Matorral crasicale	1 519 615
	Matorral desértico micrófilo	21 231 172
	Matorral desértico rosetófilo	10 669 420
	Matorral espinoso tamaulipeco	3 308 451
	Matorral rosetófilo costero	447 071
	Matorral sarcocale	5 256 483
	Matorral sarcocrasicaule	2 301 213
	Matorral sarcocrasicaule de neblina	566 002
	Matorral submontano	2 701 964
	Vegetación de desiertos arenosos	2 152 645
Otra vegetación hidrófila	Vegetación de galería	150 175
	Popal	141 901
	Tular	918 607
	Bosque de galería	23 055
	Selva de galería	5 387
	Petén	46 082
Pastizal natural	Vegetación halófila hidrófila	366 043
	Pastizal natural	9 777 038
Vegetación halófila y gipsófila	Pradera de alta montaña	16 505
	Pastizal gipsófilo	40 559
	Pastizal halófilo	1 839 970
	Vegetación gipsófila	45 402
Otros tipos de vegetación	Vegetación halófila	2 572 069
	Área sin vegetación aparente	970 568
	Chaparral	2 085 219
	Mezquital	2 335 236
	Bosque de mezquite	287 723
	Mezquital tropical	147 616
	Palmar	19 177
	Sabana	183 679
	Vegetación de dunas costeras	151 017
	Palmar inducido	96 359
Pastizal inducido o cultivado	Pastizal cultivado	12 947 496
	Pastizal inducido	6 034 458
	Sabanoide	125 943
Plantación forestal	Bosque cultivado	59 546
	Bosque inducido	4 717
Zonas urbanas o desprovistas de vegetación	Zona Urbana	1 180 805
	Asentamientos humanos	664 458
	Área desprovista de vegetación	38 621
Agricultura	De temporal, riego y humedad	32 702 129
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	1 430 939
Total		194 337 465

Nota:

¹ La superficie total del territorio nacional es de 196 437 500 hectáreas (INEGI, 2013). Durante el procesamiento de los datos, la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V se ajustó en su línea de costa, de aquí la diferencia entre el total registrado en esta tabla y el total nacional.

Fuente:

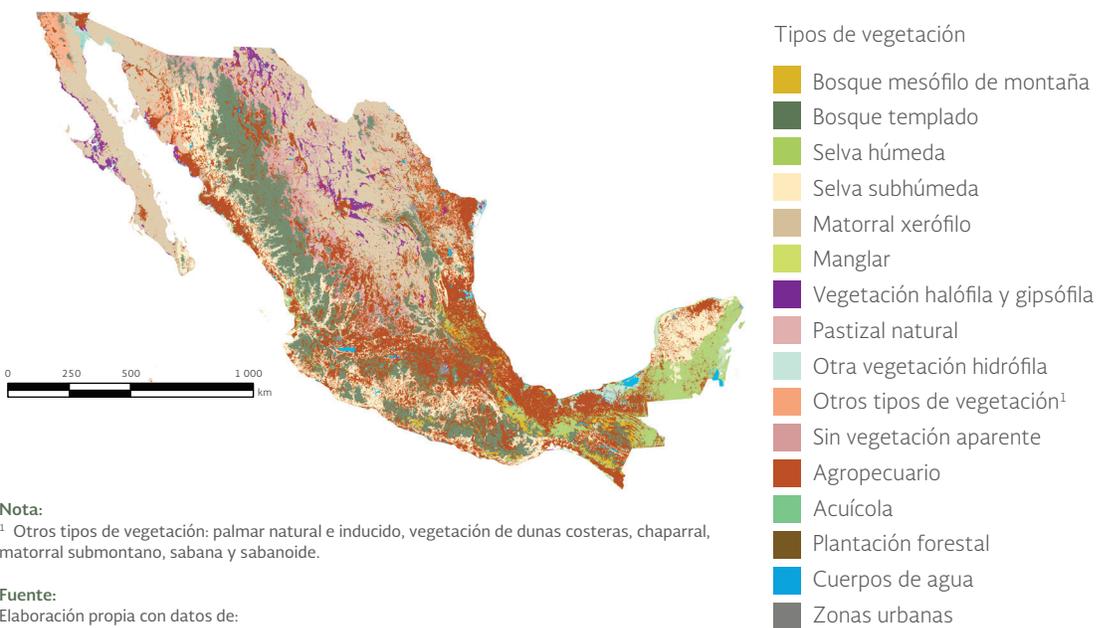
Elaboración propia con datos de:

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

Recuadro | La vegetación de México

La vegetación de nuestro país es diversa y heterogénea. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) utiliza un sistema de clasificación jerárquica que tiene en su nivel más alto a las formaciones vegetales, que son categorías representadas por rasgos fisonómicos y ecológicos (p. ej., bosque, selva, matorral, entre otros), dentro de las formaciones vegetales se incluyen los tipos de comunidad que se definen por sus rasgos fisonómicos, ecológicos y florísticos (p. ej., mesófilo de montaña, mediana, rosetófilo, sarcocaulo, entre otros) y los tipos de vegetación que combinan el nombre de la formación y el tipo de comunidad (p. ej., bosque mesófilo de montaña, selva mediana perennifolia, matorral rosetófilo, matorral sarcocaulo, entre otros). En esta publicación, con base en el criterio fisonómico, los tipos de vegetación se han agrupado en las siguientes categorías (Mapa a):

Mapa a. | Vegetación y uso del suelo en México, 2011



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 más. Es común observar la presencia de pinos y encinos. Una de sus características más importantes es la afinidad entre especies vegetales templadas y tropicales que pueblan el dosel y el sotobosque. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. Esta vegetación se desarrolla en altitudes donde se

forman bancos de niebla. El bosque es complejo en su estructura vertical, con gran cantidad de helechos y lianas, así como de plantas que crecen sobre los árboles (epífitas). Una parte importante de la flora del bosque mesófilo en México es endémica. Superficies importantes de este bosque se han desmontado para establecer cultivos, y en algunas regiones se siembra café bajo la copa de los árboles.

Bosque templado: esta categoría incluye tres tipos de vegetación: 1) los bosques de coníferas dominados por árboles perennifolios donde sobresalen los pinos (*Pinus*) y los oyameles (*Abies*); también son importantes los enebros (*Juniperus*), el ayarín (*Pseudotsuga*) y los cedros (*Cupressus*). Este tipo de vegetación suele presentarse en climas templados y fríos de las partes altas de las sierras; 2) los bosques de encinos, dominados por árboles de hoja ancha, principalmente encinos (*Quercus*), la mayoría caducifolios. Se les encuentra en climas templados sobre las montañas o también en climas cálidos, con frecuencia por debajo del nivel altitudinal de las coníferas. El bosque de encino es aprovechado para producir leña, carbón y en actividades silvopastoriles debido a la fertilidad de su suelo, estos bosques también son utilizados para la agricultura; y finalmente, 3) los bosques de coníferas y encinos, en los cuales coexisten los dos grupos formando bosques mixtos (p. ej., bosque de encino-pino o bosque de pino-encino).

Selva húmeda: incluye a las selvas perennifolias y subperennifolias, dominadas por árboles de especies adaptadas a climas lluviosos y cálidos. La copa de los árboles puede sobrepasar los 40 metros de altura y conservar parte o todo su follaje durante el año. Las selvas suelen presentar varios estratos de vegetación de diferentes estaturas. Es una de las comunidades biológicas más diversas del mundo. Algunas especies arbóreas tienen un valor comercial alto, como la caoba (*Swietenia*) o el cedro rojo (*Cedrela*); de las selvas se obtienen varios productos forestales no maderables (p. ej., extractos para medicinas, alimentos y resinas).

Selva subhúmeda: agrupa a las selvas caducifolias y subcaducifolias, es un tipo de vegetación dominada por árboles de hojas que caducan en cierta época del año, esta vegetación se desarrolla en ambientes cálidos con temporadas de lluvias y secas muy marcadas. De manera similar a las selvas perennifolias, las selvas subhúmedas se dividen en medianas y bajas en función de la altura del estrato arbóreo dominante. Según la altura de las copas las selvas se dividen, en altas (vegetación arbórea de más de 30 metros), medianas (entre 20 y 30 metros) y bajas (entre 4 y 15 metros de altura). La altura promedio del dosel rara vez sobrepasa los 15 metros, no obstante, se pueden observar algunos individuos de estatura mayor a los 25 metros. La condición de subcaducifolia o caducifolia depende de la proporción de árboles que pierden sus hojas en la temporada seca. Algunos de los árboles almacenan agua en sus tallos, es el caso de los copales (*Bursera*), pochotes (*Ceiba*) y de varias cactáceas columnares. Esta vegetación suele estar presionada por la expansión de la agricultura tradicional y la ganadería extensiva. Estas actividades han degradado extensas zonas de estas selvas, por lo que son de los ecosistemas tropicales más amenazados del mundo.

Matorral xerófilo: en esta categoría están incluidos diferentes tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulales y crasicaulales, entre otros), dominados por arbustos distintivos de zonas áridas y semiáridas del país. El número de endemismos es elevado en estas zonas. Debido a la escasez de agua y a que los suelos son someros y pobres en nutrientes, la agricultura de temporal se realiza en pequeña escala, excepto donde hay los recursos económicos suficientes para instalar infraestructura de riego. En cambio la ganadería está muy extendida, lo que ha ocasionado sobrepastoreo en ciertas áreas de matorral xerófilo.

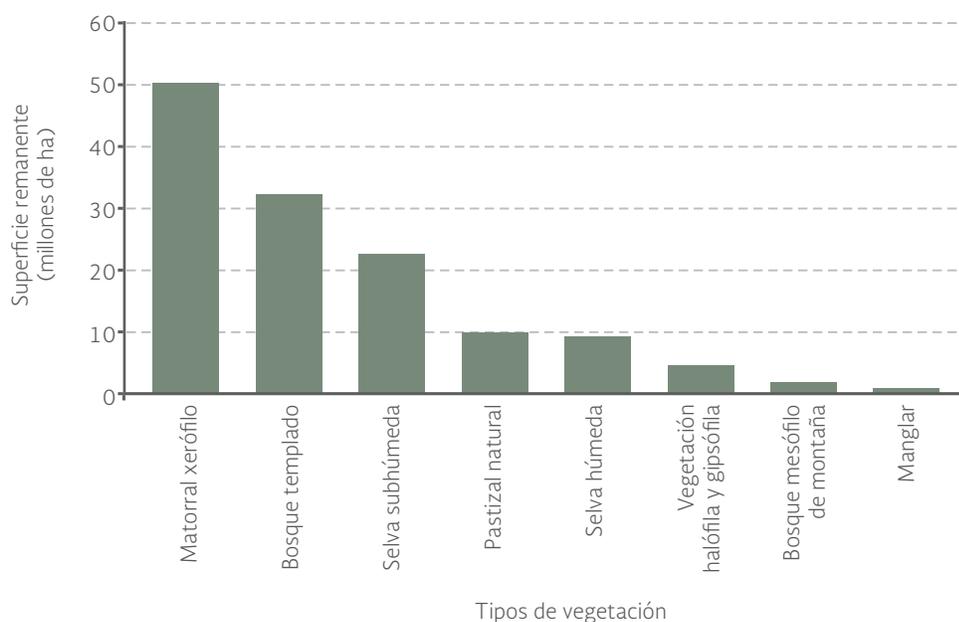
Pastizal natural: vegetación dominada por plantas del estrato herbáceo, principalmente gramíneas (pastos, zacates o graminoides) que se encuentra en cualquier clima, pero principalmente en las regiones semiáridas del norte y en las partes más altas de las montañas (por arriba de los cuatro mil metros). La mayoría de los pastizales del país se utilizan para la producción ganadera, en algunos lugares con intensidad excesiva (sobrepastoreo). Algunos pastizales se derivan de bosques o matorrales que por acción del ganado y el fuego se mantienen de forma alterada. A éstos se les denomina pastizales inducidos.

Vegetación halófila y gipsófila: estos tipos de vegetación, de baja altura, se desarrollan en suelos de cuencas cerradas con contenidos elevados de sales y yeso. Predominan los pastos que se reproducen a partir de rizomas (dominando las especies de las familias *Poaceae* y *Chenopodiaceae*), la cubierta arbustiva suele ser escasa. Esta vegetación es usada en ciertas zonas del país como alimento para el ganado, y en algunos casos, después de ser desalados, para practicar la agricultura de riego.

Manglar: este tipo de vegetación es dominada por especies arbóreas como el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Es una vegetación adaptada a variaciones en la altura de la columna de agua y en la cantidad de sales de la misma; su adaptación al agua salobre (sin ser necesariamente halófilas) les permite establecerse en las desembocaduras de ríos y lagunas costeras. Este tipo de vegetación es importante para proteger a la costa de la erosión y de los efectos de fenómenos hidrometeorológicos extremos, para la reproducción y crecimiento de varias especies de importancia ecológica y pesquera. De los manglares también se obtienen productos importantes para la industria como los taninos utilizados en la industria de la piel.

Otros tipos de vegetación como popales, tulares, palmares, petén y chaparrales se encuentran ocupando superficies menores del territorio nacional. Son tipos de vegetación adaptados a condiciones climáticas, edáficas o hidrológicas muy particulares (Figura a).

Figura a | Vegetación natural remanente en México, 2011



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000. México, 2013.

Referencia:

Modificado de:
Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2012. Semarnat. México, 2013.

De acuerdo con la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, en el 2011 el 71.7% del país (casi 140 millones de ha) estaba cubierto por comunidades vegetales naturales; la superficie restante, poco más de 55 millones de hectáreas (alrededor del 28% del territorio) había sido transformada a terrenos agropecuarios, áreas urbanas y otros usos del suelo antrópicos (para más detalles sobre la diferencia entre uso del suelo y ecosistemas ver el recuadro **Los ecosistemas terrestres, tipos de vegetación y el uso del suelo**). En 2011 los matorrales fueron la formación vegetal predominante (casi 36% de la superficie natural remanente, lo que representa cerca del 26% del territorio), por su parte, los bosques (templados y mesófilos de montaña, 34 millones de ha) y las selvas (húmedas y subhúmedas, 32 millones de ha) ocuparon cerca del 34% del territorio (Figura 2.1).

Los estados con la mayor proporción de su superficie con vegetación natural (primaria y secundaria) fueron Baja California Sur (93%), Quintana Roo (92%), Coahuila (92%), Baja California (90%), Chihuahua (88%) y Durango (86%; Mapa 2.1).

Recuadro

Los ecosistemas terrestres, tipos de vegetación y el uso del suelo

En varios medios de divulgación, formal y no formal, se ha vuelto costumbre utilizar de forma indistinta los conceptos de ecosistemas y comunidades, también es común que se utilice el concepto de cobertura vegetal como un sinónimo de uso del suelo.

Los conceptos, antes mencionados, están relacionados entre sí y en algunos casos son equivalentes, la diferencia estriba en cómo y cuándo se utilizan. El primer paso para el uso correcto de esos conceptos, es saber qué significan.

Comunidades y ecosistemas

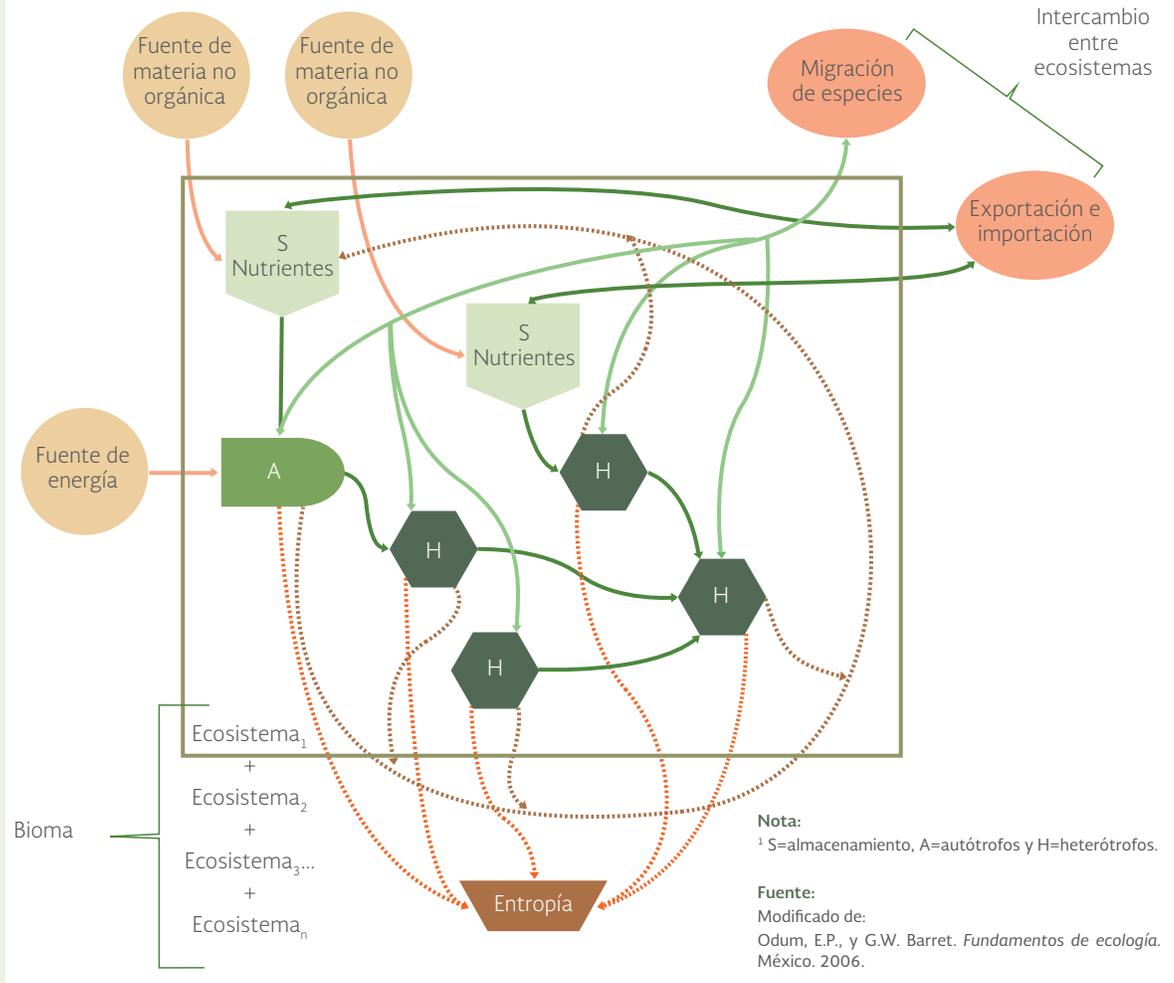
De acuerdo a Begon *et al.* (2006) en la naturaleza, en cualquier medio ambiente no vivo, se pueden encontrar ensambles de diferentes seres vivos haciendo diferentes cosas. Al medio ambiente no vivo también se le denomina componente abiótico o biotopo y a los seres vivos o especies se les nombra componente biótico o biocenosis.

La biocenosis es un ensamble de poblaciones integradas por diferentes especies, en donde cada población posee características únicas en cuanto a densidad, natalidad, mortalidad, distribución de sexos y edades, entre otras. Al conjunto de poblaciones que interactúan y se interrelacionan entre sí se le denomina comunidad. La estructura de una comunidad - que se debe en parte a las características de cada población - puede ser estudiada o comprendida a través de algunos parámetros como la abundancia, la riqueza y la diversidad de especies. Estos parámetros, también estructurales, pueden variar en el espacio y el tiempo, debido a fenómenos naturales (disturbios y perturbaciones) como las plagas y enfermedades, los incendios forestales, cambios en el clima o el proceso de sucesión ecológica, entre otros.

El concepto de comunidad puede ser un término equivalente a ecosistema si además de tomar en cuenta elementos estructurales, también considera a las redes de interrelación e interacción entre la biocenosis y el biotopo, o lo que es lo mismo, al flujo de materia y energía dentro del sistema. Este flujo, también denominado función del sistema, se refiere al reciclado de materiales, el establecimiento de cadenas tróficas, la producción primaria, la producción secundaria, la captura de carbono, la tasa de descomposición de la materia orgánica, la competencia y el mutualismo, entre otros.

En resumen, el concepto de comunidad se refiere a la estructura del sistema y al comportamiento del ensamble de poblaciones; mientras que el concepto de ecosistema, además de considerar la estructura y comportamiento, también considera al flujo de materia y energía (función del sistema); todo sucediendo en un lugar y en un tiempo determinado (Figura a).

Figura a | Modelo de un ecosistema¹



Los tipos de vegetación

El concepto de ecosistema hace referencia al tiempo y al espacio. El tiempo es un parámetro relativamente fácil de medir, pero no así el espacio. Es difícil establecer o definir los límites de un ecosistema (Begon *et al.*, 2006). Los ecosistemas son ensambles de múltiples especies que ocupan espacios con fronteras difusas, por lo que es casi imposible definir donde empieza un sistema y termina otro (Jorgensen y Muller, 2000). Estas fronteras difusas o zonas de transición entre ecosistemas y comunidades también se les denomina ecotonos, éstos pueden incluso alojar más especies que los mismos sistemas a los cuales bordean (el llamado “efecto borde”).

Una forma de establecer límites entre ecosistemas es utilizar algún elemento representativo de la estructura o función del sistema (Jorgensen y Muller, 2000), por lo general se utiliza como modelo a los productores primarios y a sus grupos de especies más importantes (Zarco-Espinosa *et al.*,

2010). En el medio ambiente terrestre son los ensambles de poblaciones de plantas o comunidades vegetales los que ayudan a definir los distintos ecosistemas terrestres (Cervantes-Núñez, 2015) y en un nivel superior - dando mayor importancia al clima - a los biomas o ecorregiones terrestres (Challenger y Soberón, 2008).

Con base en lo anterior y utilizando los trabajos de Miranda y Hernández (1963) y Rzedowski (1978, 2006), el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) organizó, de forma jerárquica, los diferentes ecosistemas terrestres. En primer orden los grupos grandes de vegetación o formaciones vegetales (ecosistemas vegetales) y en segundo orden a las comunidades o agrupaciones vegetales con afinidades ecológicas, florísticas y fisonómicas (tipos de vegetación).

Los ecosistemas terrestres de México se pueden agrupar en 10 sistemas: bosques, selvas, matorrales, manglar, otra vegetación hidrófila, otros tipos de vegetación, pastizal natural, vegetación halófila y gipsófila. Los bosque y selvas, a su vez, se pueden dividir en bosque templado, bosque mesófilo de montaña, selva subhúmeda y selva húmeda. En cuanto a los tipos de vegetación o comunidades vegetales, la Carta de Uso del Suelo y Vegetación de INEGI (2013) considera 59 tipos, los cuales son retomados en este Informe.

Los usos del suelo

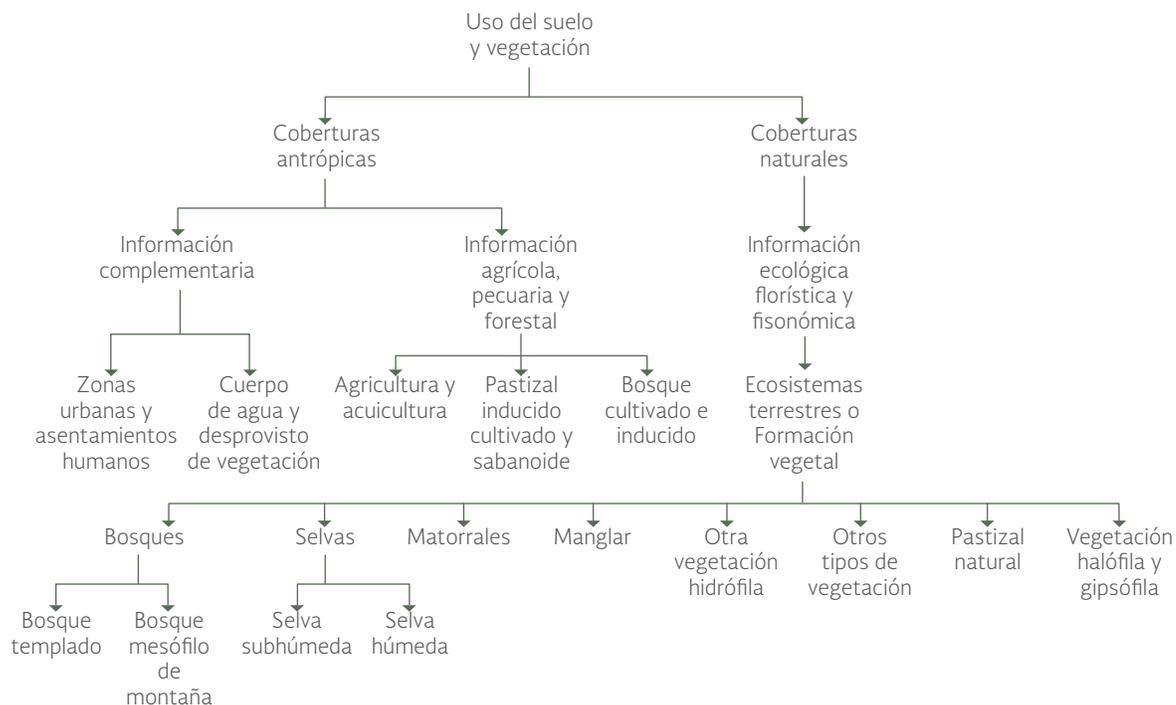
De acuerdo a Gregorio y Jansen (1998) el uso del suelo “se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra”; “el uso del suelo depende de la interacción que se establece entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente”.

El uso del suelo, entonces, incluye a los ecosistemas con su vegetación natural y su fauna, a la superficie hidrológica, los campos agropecuarios, las poblaciones humanas y su infraestructura urbana, los vestigios arqueológicos, los puertos y las presas, entre otras coberturas que han sido conservadas y/o modificadas por la actividad humana pasada y presente (FAO y UNEP, 2000).

En esta obra, el uso del suelo y vegetación fue agrupado – de acuerdo a sus afinidades y/o similitudes - en dos categorías: 1) Coberturas naturales y 2) coberturas antrópicas. La vegetación natural sería el equivalente al grupo “Información ecológica, florística y fisonómica” de la Carta de Uso del Suelo 2011 (INEGI, 2013) y coberturas antrópicas incluiría elementos de los grupos “Información agrícola, pecuaria y forestal” e “Información complementaria” de la misma Serie.

En resumen, los usos del suelo y vegetación incluyen a los sistemas antrópicos y a los ecosistemas terrestres, estos últimos contienen a los tipos de vegetación o comunidades vegetales, tal como se muestra en la figura b.

Figura b | Relación jerárquica de los usos del suelo, las coberturas antrópicas y la vegetación natural



Referencias:

Begon, M., C.R. Townsend y J.L. Harper. *Ecology from individuals to ecosystems*. 4a. edición. Blackwell Scientific Publications. USA. 2006.

Cervantes-Núñez, S., A. Challenger, C. Hernández-Hernández, C. Gay, M. de J. Ordóñez-Díaz, J.A.B. Ordóñez-Díaz, M. Gual-Díaz y M.T. Rodríguez-Zúñiga. *Ecosistemas de México*. En: *Reporte mexicano de cambio climático, Grupo II impactos, vulnerabilidad y adaptación*. UNAM/Programa de Investigación en Cambio Climático. México. 2015.

Challenger, A. y J. Soberón. *Los ecosistemas terrestres*. En: Soberón, J.G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.

Di Gregorio, A. y L.J.M. Jansen. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. For software version 1.0. GCP/RAF/287/ITA. Nairobi, Rome. 1998

FAO y UNEP. *El futuro de nuestra tierra, enfrentando el desafío*. FAO, UNEP. Roma. 2000.

INEGI. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie V*. México. 2015.

Jorgensen, S.E. y F. Muller (Ed). *Handbook of Ecosystem Theories and Management*. Lewis Publishers, Florida. 2000.

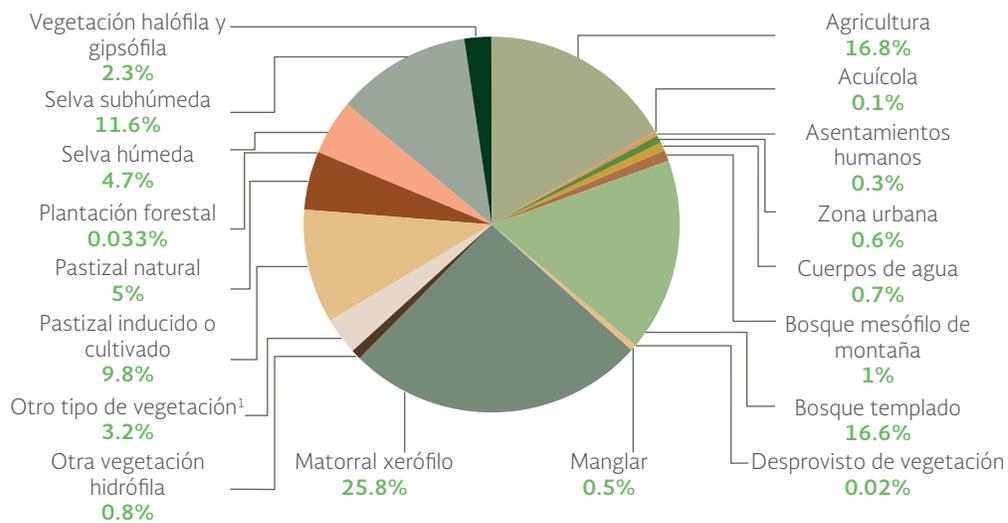
Miranda, F. y E. Hernández X. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 29: 1 - 179. 1963.

Odum, E.P y G.W. Barrett. *Fundamentos de ecología*. 5a ed. Thomson Editores. México. 2006.

Rzedowski, J. *Vegetación de México*. 1ra. edición digital. Conabio. México. 2006.

Zarco-Espinosa, V.M., J.L. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. Structure and diversity of arboreal vegetation in the Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 26(1): 1 - 17. 2010.

Figura 2.1 | Uso del suelo y vegetación en México, 2011



Nota:

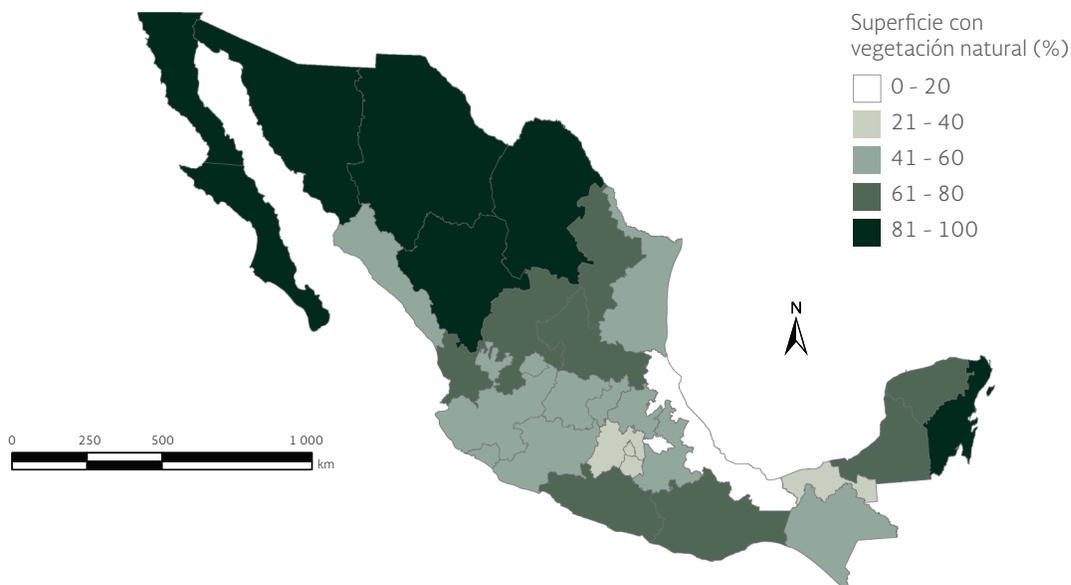
¹ Otros tipos de vegetación incluye a las áreas sin vegetación aparente, chaparral, mezquital, palmar, sabana, vegetación de dunas costeras, áreas desprovistas de vegetación y palmar inducido.

Fuente:

Elaboración propia con datos de : INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

En contraste, en los estados de Tlaxcala (19%), Veracruz (29%), Distrito Federal (29%), Tabasco (30%), México (35%) y Morelos (37%), la vegetación natural cubría menos del 40% de su superficie. De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, en 2011, sólo el 69.6% de la

Mapa 2.1 | Vegetación natural remanente por entidad federativa, 2011



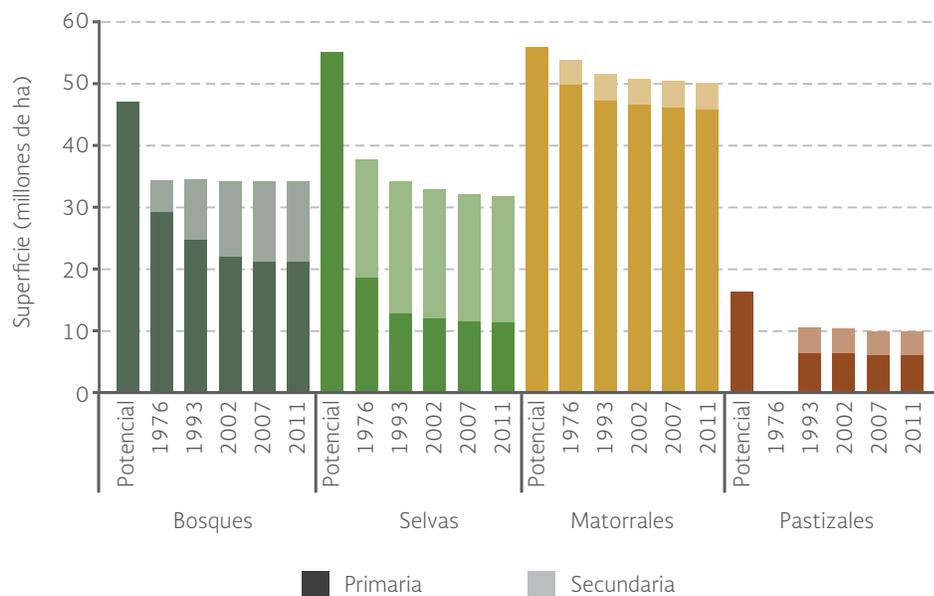
Fuente:

Elaboración propia con datos de : INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

vegetación natural (equivalente al 49.5% del territorio) se conservaba en estado primario. Esta condición corresponde a la vegetación en la cual están presentes la mayor parte de las especies del ecosistema original y los procesos ecológicos no han sido alterados de forma significativa. La vegetación primaria es de gran importancia por su biodiversidad y por sus servicios ambientales (ver recuadro **Integridad Ecosistémica en México**).

Hasta 2011 las selvas fueron el tipo de vegetación más afectada por la degradación, ya que sólo el 36% de su superficie original (11.4 millones de ha) aún se conservaba como 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 en estado primario. Para poner estas cifras en contexto, de acuerdo a FAO (2015) en el año 2010, a nivel mundial, el 36% de los bosques¹ existentes aún se conservaban en estado primario. En 2011 la formación vegetal con menor superficie degradada en el país correspondió a los matorrales xerófilos, se estima que alrededor del 91% de su superficie (45.8 millones de ha) se encuentra en buen estado de conservación.

Figura 2.2 | Vegetación primaria y secundaria por tipo de ecosistema en México, 2011



Nota:

¹ 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. INEGI. México. 2003.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2004.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). INEGI. México. 2005.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2011.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

¹ Según FAO (2015) los bosques son tierras cubiertas por copas (o densidad equivalente) de árboles en más del 10% de la superficie y una extensión igual o mayor de 0.5 hectáreas. Los árboles deben tener una altura mínima de 5 metros en el momento de su madurez in situ. Esta definición no incluye tierra sometida a usos antrópicos, por lo cual el sistema de clasificación de bosques y selvas en este capítulo pueden ser incluidas en la definición de bosques de la FAO.

Recuadro | Integridad Ecosistémica en México

Ya es reconocido que el bienestar de las sociedades humanas depende en buena parte de los ecosistemas naturales por los bienes y servicios que proporcionan, los que se sabe dependen de la biodiversidad que contienen. También cada día se acumula evidencia que confirma que la cantidad y calidad de esos servicios ecosistémicos se ve afectada por la degradación de los ecosistemas y su biodiversidad.

El caso más conocido de afectación de los ecosistemas es la deforestación o pérdida de vegetación natural que sería el caso más extremo, pues implica la remoción local de todas las especies de plantas y animales, así como de los procesos y funciones que existían en esos ecosistemas. Otro proceso importante de deterioro es la llamada defaunación, que consiste en la remoción o reducción significativa del tamaño poblacional de algunas especies de animales silvestres (por caza, extracción selectiva o por actividades ganaderas o agrícolas), y que afecta procesos sustantivos del ecosistema a mediano y largo plazos como la polinización, la remoción y dispersión de semillas y la herbivoría, entre otros.

A pesar de la importancia del tema, no existe un consenso sobre cómo medir la condición de los ecosistemas cuando estos han sido afectados por fenómenos como la presencia de ganado, fuego, extracción no controlada de madera o plagas que no implican la destrucción total del ecosistemas, sino que sólo afectan a una fracción de las especies que lo componen o algunos procesos como la dispersión de semillas, el ciclo hidrológico o la descomposición de la materia orgánica en el suelo. En estos casos, la afectación no es muy evidente, y la evaluación de su importancia suele ser complicada sobre todo con métodos convencionales de monitoreo.

En este contexto, resulta necesario generar una forma de evaluar de manera confiable, económica y permanente la condición de los ecosistemas¹, no sólo en su cantidad (cobertura) sino en su calidad (en términos de la integridad de sus componentes, interacciones y procesos). Es importante mencionar que el concepto de integridad ecosistémica o de los recursos que forman parte de los ecosistemas permea en toda la legislación ambiental mexicana, sin que hasta ahora exista alguna propuesta clara de cómo debería evaluarse.

Un grupo de investigadores del Instituto de Ecología A.C., en colaboración con especialistas de la Conabio y otras dependencias han estado trabajando en un modelo que permitiría conocer la integridad de los ecosistemas. En términos generales el modelo que proponen describe la situación y condición de los ecosistemas (integridad del ecosistema) y se basa en comparar la situación actual (o en un tiempo determinado) con respecto a la que tendría ese mismo ecosistema en ausencia de perturbaciones.

¹ En el caso de la deforestación puede estimarse, razonablemente bien, utilizando métodos de percepción remota.

La propuesta reconoce que la condición de integridad o “salud” en la que se encuentra un ecosistema (capa latente) no es fácilmente medible de manera directa, pero subyace como determinante de lo que ocurre en él; esto es, puede inferirse a partir de la condición en que se encuentren sus componentes básicos; en este caso, las características estructurales, funcionales y composicionales (capa instrumental), los cuales dependen simultáneamente de las condiciones fisicoquímicas y ambientales del sitio donde se encuentran esos ecosistemas (capa contextual) (Figura a). Estas determinantes influyen para producir patrones concretos y particulares de asociación entre los atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas, que sí son observables y medibles (capa instrumental).

Figura a | *Integridad ecosistémica - Modelo de tres capas*



Este conjunto articulado de elementos tanto subyacentes como medibles son los que definen la integridad ecosistémica. En este sentido, el enfoque que propone este grupo de investigadores permite evaluar la situación concreta de un ecosistema, conociendo los patrones específicos de dependencia entre sus elementos.

El concepto de *integridad ecosistémica* propuesto, permitiría tener una referencia sobre la condición de la biodiversidad. Además podría funcionar de manera semejante a lo que el carbono y el efecto invernadero lo han sido para articular el conocimiento y dirigir los esfuerzos y acciones en la agenda del cambio climático. La propuesta de integridad ecosistémica que ahora se tiene es capaz de identificar cambios en la condición de los ecosistemas desde un nivel local (actualmente 1 km²) hasta el nacional.

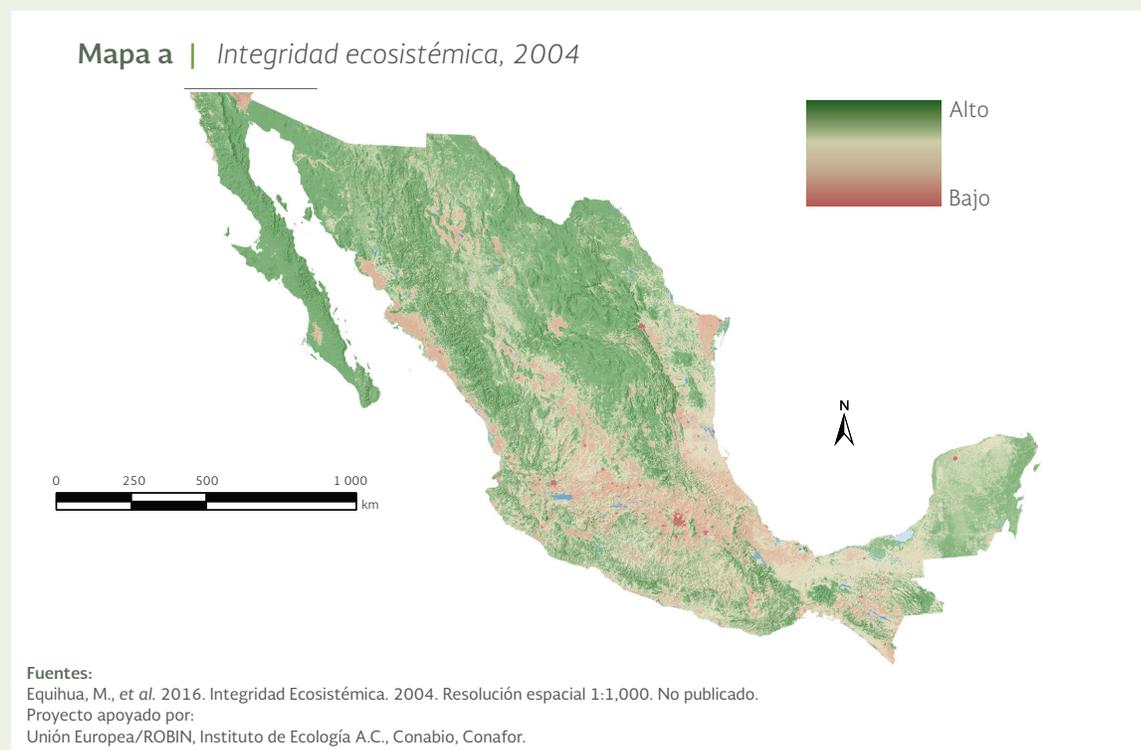
En México, como en muchos otros países en el mundo, hay creciente interés en avanzar decididamente por rutas de sostenibilidad²; y en este contexto, la capacidad de estimar la condición de los ecosistemas y su biodiversidad es clave, pues prácticamente toda acción humana implica su modificación. Por tal motivo, existe la necesidad por desarrollar nuevos enfoques analíticos que auxilien a equilibrar las múltiples y frecuentemente contradictorias metas públicas de desarrollo, al mismo tiempo que se mantiene la integridad de los ecosistemas.

² En septiembre del 2015 México se comprometió con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales incluyen metas específicas relacionadas con la protección y uso sustentable de la biodiversidad.

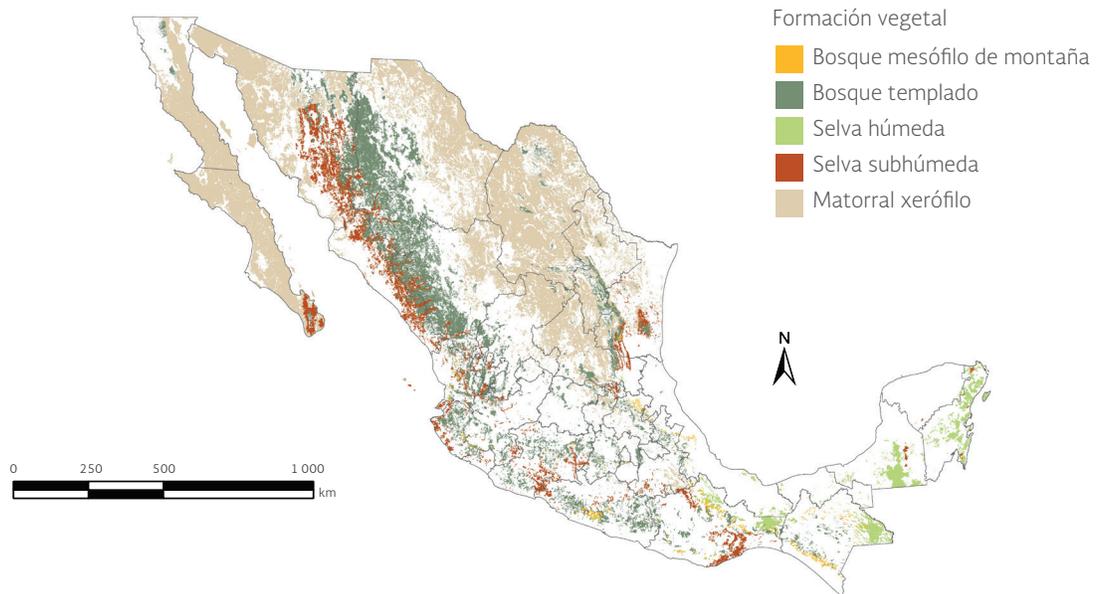
Este proyecto busca articular además los esfuerzos que varias dependencias como la Conafor, Conanp, Conabio y el Inecol, entre otras instituciones, están desarrollando para monitorear la biodiversidad y los ecosistemas. La evaluación de la integridad de los ecosistemas utilizaría, por ejemplo, la información de más de 20 mil sitios de muestreo que incluye el Inventario Nacional Forestal y de Suelos donde se obtiene información de más de 200 variables y que se repite cada 5 años; la información georreferenciada de más de 6 millones de plantas y animales contenida en las colecciones biológicas; la información proveniente de sensores automatizados como “trampas-cámara” que permiten registrar la presencia de vertebrados; de las unidades autónomas de grabación que “escuchan” señales audibles de pájaros, anfibios e insectos principalmente, así como ultrasónicas (murciélagos); y el análisis de imágenes satelitales de alta resolución, por señalar sólo algunos.

Este proyecto está en sus primeras fases, pero ya muestra resultados prometedores. En la Mapa a se muestra como se vería la integridad de los ecosistemas en México con datos de 2004, donde puede notarse muy claramente que los ecosistemas de la vertiente del Golfo de México, el Centro y sureste y el norte de la península de Yucatán tendrían valores bajos, mientras que en el norte y noroeste del país los ecosistemas aún conservarían valores altos de integridad.

Como todo modelo, a éste aún le falta todo un proceso de revisión y validación, pero claramente puede ser un elemento importante que apoye los trabajos de las Cuentas Económicas de los Ecosistemas (que México está desarrollando liderados por el INEGI); apoyaría la evaluación de los compromisos de los ODS en el tema de biodiversidad y sería pieza clave en el diseño de políticas, así como la planeación y evaluación que desarrolla la Semarnat.



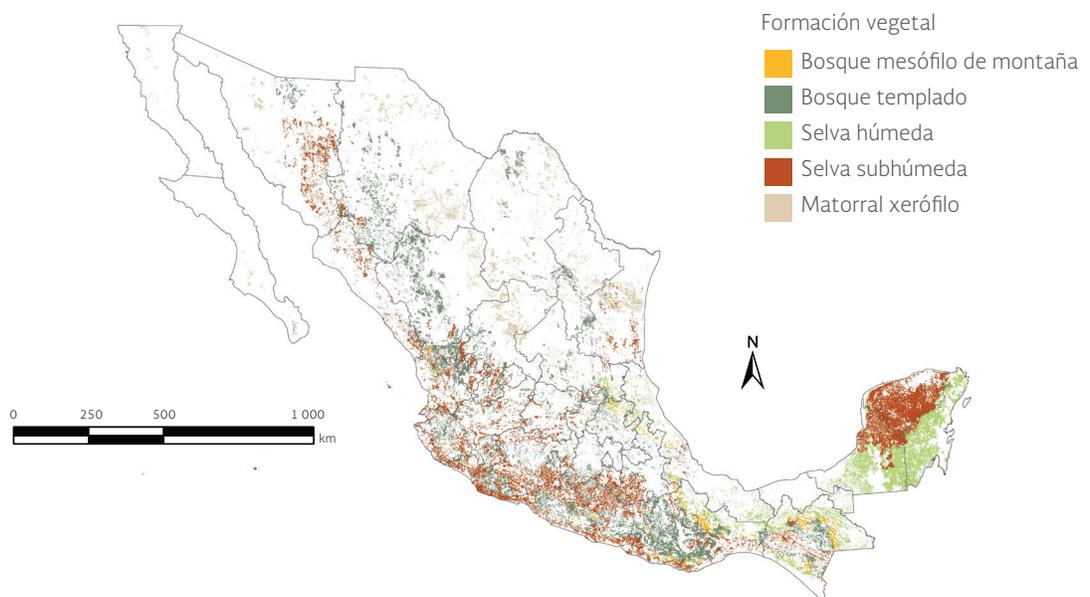
Mapa 2.2 | Vegetación primaria en México, 2011



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, algunos estados que conservan una proporción alta de su cubierta natural lo hacen con un porcentaje alto de vegetación primaria. Por ejemplo, el 99% de la vegetación natural remanente de Baja California Sur (alrededor del 93% de la superficie

Mapa 2.3 | Vegetación secundaria en México, 2011

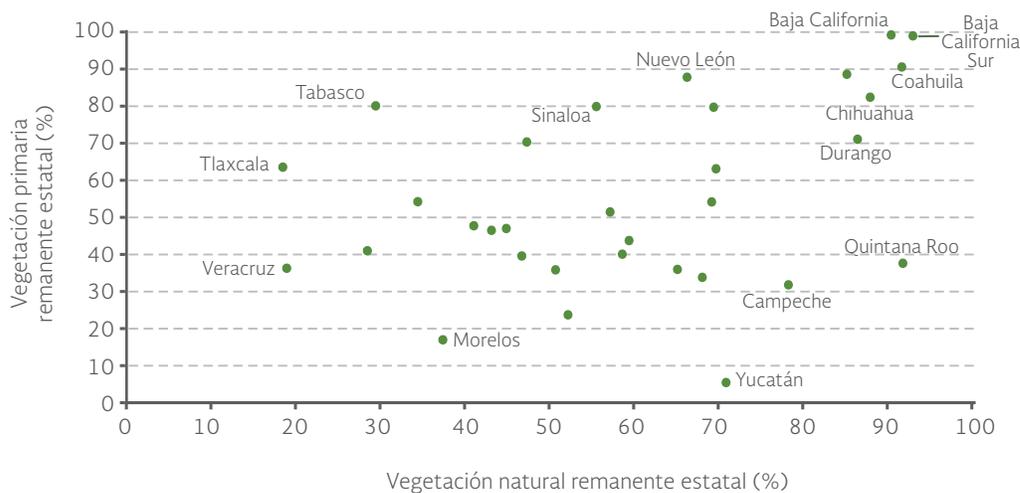


Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

total del estado) es primaria. Hay estados que conservan poca superficie con vegetación natural, es el caso de Tlaxcala y Tabasco, sin embargo, esa superficie (alrededor del 19 y 30% respectivamente) tiene una proporción importante de vegetación primaria (alrededor del 64 y 80%). Por el contrario, hay estados con superficies extensas cubiertas por vegetación natural remanente en estado secundario, es el caso de Quintana Roo (con 38% de su vegetación primaria), Campeche (32%) y Yucatán (5.5%; Figura 2.3).

En lo que respecta a los sistemas productivos, en 2011 las tierras agrícolas y los pastizales cultivados e inducidos (estos últimos empleados en la ganadería) cubrían poco más de 51.7 millones de hectáreas, lo que representa alrededor del 26% del territorio. De esa superficie, 63% correspondía a terrenos agrícolas y 37% a pastizales inducidos y cultivados. Los estados ubicados en la costa del Golfo de México y centro del país son los que han transformado una superficie mayor de sus ecosistemas para utilizarlos en actividades agrícolas y pecuarias, es el caso de Tlaxcala (cerca del 80% de su superficie), Veracruz (77%) y Tabasco (64%; Mapa 2.4). En ese mismo año, 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%).

Figura 2.3 | Relación entre la vegetación natural remanente estatal y su estado de conservación, 2011



Fuente:
Elaboración propia con datos de :
INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000. INEGI. éxico. 2013.

CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

De toda la historia de la humanidad, han sido los últimos 50 años donde los seres humanos han transformado los ecosistemas del mundo más rápida y extensamente (ver el recuadro **La vegetación natural y el crecimiento carretero**). Esta transformación es una de las causas de la liberación a la atmósfera de cantidades importantes de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual empeora el

Mapa 2.4 | *Uso agropecuario por entidad federativa, 2011*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

problema del cambio climático (ver el recuadro **Deforestación y emisiones de GEI**). La rapidez y la magnitud de las transformaciones, con efectos aún desconocidos en ciertos casos, han impactado procesos ambientales locales, regionales y globales, han acelerado la pérdida de la biodiversidad y han provocado la pérdida o el deterioro de varios servicios ambientales como la disponibilidad del agua y la regulación tanto del clima y como de los ciclos biogeoquímicos, entre otros.

Una forma de evaluar el impacto de las transformaciones en los ecosistemas terrestres, es a partir de la elaboración y análisis de inventarios de uso del suelo. En México se han elaborado inventarios de los diferentes usos del suelo desde hace aproximadamente 40 años. Sin embargo, a pesar del esfuerzo invertido en su elaboración, las diferentes versiones no son del todo comparables debido a que han utilizado diferentes fuentes de información (p. ej., mapas impresos, fotografías aéreas e imágenes satelitales, entre otros), herramientas tecnológicas (p. ej., cartas digitales y sistemas de información geográfica) y/o clasificaciones de los usos del suelo. No obstante, aunque las estimaciones cuantitativas no son tan precisas y deben usarse con cautela, la información disponible sí permite identificar tendencias.

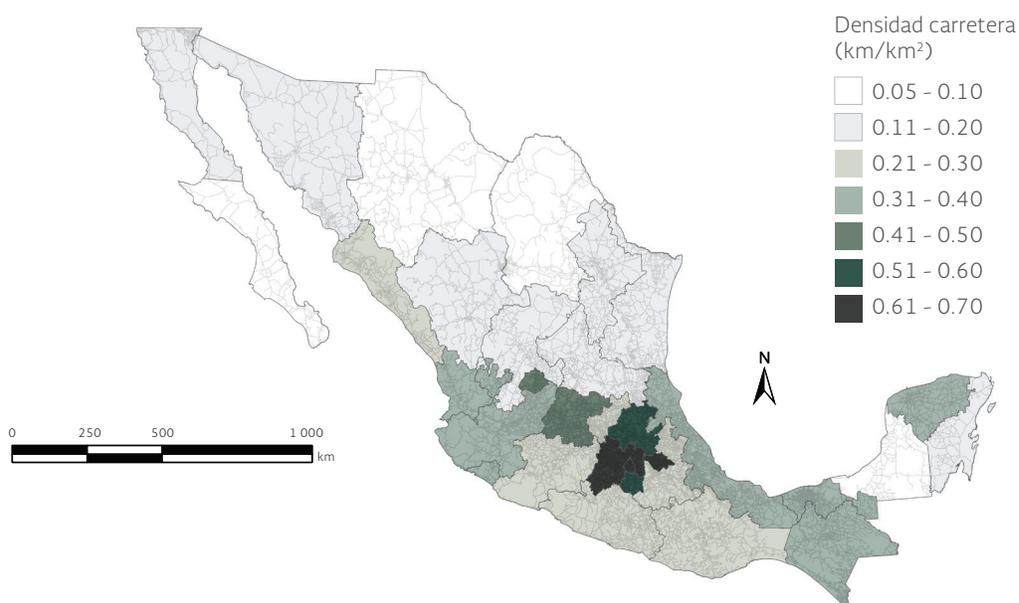
De los inventarios de uso del suelo disponibles en la actualidad, los más comparables son las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación Series I, II, III, IV y V, a escala 1: 250 000, elaboradas por el INEGI. La Serie I se basa en la interpretación de fotografías aéreas, en su mayoría de la década de los setenta, mientras que las Series II, III, IV y V se generaron a partir de imágenes de satélite de los años 1993, 2002, 2007 y 2011, 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 transformada por causa de la actividad humana.

Recuadro | La vegetación natural y el crecimiento carretero

La construcción de vías terrestres de comunicación (que también incluye la ampliación del tendido eléctrico y la construcción de presas) puede afectar la superficie de vegetación natural remanente y su continuidad. Entre sus efectos más significativos (dependiendo de la magnitud y tipo de obra) están la pérdida y la alteración de los ecosistemas, la fragmentación de la vegetación remanente y puede constituir un obstáculo (es el caso de caminos y carreteras) para el desplazamiento de ciertas especies de animales y ser una fuente de mortalidad por atropellamiento.

En el territorio nacional, a finales de los años 60, existían 44 890 kilómetros de carreteras, para el año 2013 ya existían 379 000 km (SCT, 2014). Es a partir de la década de los setenta cuando inició el proceso de ampliación del sistema carretero, este creció 25 374 kilómetros entre 1980 y 1990 (2 537 km/año), 95 111 kilómetros entre 1990 y 2000 (9 511 km/año) y casi 46 mil kilómetros entre 2000 y 2013 (3 530 km/año). Aunque no se tiene un estudio formal acerca de los impactos ambientales atribuidos al crecimiento de la infraestructura carretera en México, se observa la relación entre la densidad de caminos y la cubierta de vegetación natural: los estados con mayor densidad de caminos son aquellos que tienen la menor proporción de su superficie con cobertura vegetal natural remanente (Mapa a).

Mapa a | Densidad de la infraestructura carretera en México, 2013



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
SCT. Anuario Estadístico 2013. SCT. México. 2014.

Estados como Tlaxcala, que tiene la mayor densidad de carreteras (cerca de 0.7 km/km²), posee la menor cobertura natural del país (18.2% de su superficie); por el contrario, Coahuila (0.056 km/km²) y Chihuahua (0.053 km/km²) poseen la menor densidad de carreteras y tienen porcentajes de conservación del 91.7% y el 88.1% de su vegetación natural. La construcción de caminos suele tener efectos adversos sobre el ambiente, pues es uno de los factores que propicia la colonización y el desarrollo de nuevos centros de población o explotación de recursos naturales. Ejemplos de este fenómeno han sido observados con la construcción de caminos en las selvas húmedas de la amazonía en Brasil (UNEP, 2005).

Referencias:

SCT. *Anuario Estadístico 2001*. SCT. México. 2002.

SCT. *Infraestructura del Sector*. SCT. México. 2004 y 2006.

SCT. *Anuario Estadístico 2011 y 2012*. SCT. México. 2012 y 2013.

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

De acuerdo a la Carta de Vegetación Primaria Potencial (Mapa 2.5), los matorrales xerófilos ocuparon alrededor 29% del territorio, seguidos de las selvas (28%) y los bosques (25%; Figura 2.4). Para la década de los setenta (de acuerdo a la Serie I) se conservaba poco más del 73% de la superficie original de los bosques y 69% de las selvas (Figura 2.2). Treinta años después, en 2011, se conservaba casi el 73% de la superficie original de bosques, 58% de las selvas, 90% de los matorrales y poco más del 60% de los pastizales; esto representa una pérdida neta de poco más de 23 millones de hectáreas de selvas, casi 12 millones de bosques, 5.8 millones de matorrales y cerca de 6.5 millones de hectáreas de pastizales. La mayor parte de estas transformaciones ocurrieron antes de los años setenta, no obstante en las últimas décadas aún se registran pérdidas importantes (mayores a las 50 mil ha anuales), particularmente en comunidades de selvas y matorrales (Tabla 2.2).

En el periodo comprendido entre la década de los setenta y el año 1993², se perdieron alrededor de 7.9 millones de hectáreas de vegetación natural (equivalente al 5.4% de la superficie remanente en 1993), a una tasa promedio de 460 mil hectáreas por año. Del total de la superficie transformada, 3.5 millones de hectáreas correspondieron a selvas (que cambiaron a una tasa

² Las estimaciones de las tasas de cambio entre la Serie I y la Serie II de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación, que se mencionan a lo largo del presente Informe, deben tomarse con cautela en virtud de que se ha considerado como fecha de la primera Serie el año 1976, cuando en realidad ésta fue elaborada a partir de un conjunto de fotografías aéreas tomadas en su mayoría durante la década de los setenta.

Recuadro | Deforestación y emisiones de GEI

Las comunidades vegetales, dominadas por formas de vida arbórea, son importantes reservas de carbono en forma de materia orgánica o biomasa. Según datos de la FAO (2015) los bosques del planeta almacenan aproximadamente 289 gigatoneladas (Gt¹) de carbono como parte de la biomasa de los árboles. La pérdida de la cubierta forestal (p. ej., a causa de un incendio) libera carbono a la atmósfera, lo que contribuye al efecto invernadero y al cambio climático global. De acuerdo a estimaciones del IPCC (2007), en el año 2004 la deforestación mundial contribuyó con el 17% de la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera, siendo la tercera fuente de GEI, después de la generación de energía producida por combustibles fósiles y de las actividades industriales.

De acuerdo a la FAO (2015), la deforestación ocurrida entre 2010 y 2015 disminuyó en 0.5 Gt las reservas de carbono almacenadas en las masas forestales. En el caso de México, se estima que durante el periodo 2003 a 2006, las emisiones promedio nacionales de bióxido de carbono (CO₂) asociadas al cambio de uso del suelo forestal ascendieron a 7 189 gigagramos² (Gg) CO₂ por año, alrededor del 10.3% de las emisiones totales de CO₂ por cambio de uso del suelo para ese periodo (INE-Semarnat, 2010; **IB 1.2-2** y **1.2-3**). Esa estimación fue menor a la registrada para el periodo 1990 a 2002 (11 445 Gg de CO₂ anuales), lo que podría ser una consecuencia de la reducción de las tasa de cambio en el uso del suelo forestal.



El carbono almacenado en la vegetación forestal es producto del secuestro o extracción de ese elemento de la atmósfera a través del proceso de la fotosíntesis. La tasa fotosintética de un bosque puede ser alterada cuando se retira la vegetación o se transforma a otros usos del suelo no forestales. La pérdida de superficie forestal (incluyendo las plantaciones forestales) disminuye la capacidad de vegetación para absorber o secuestrar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Notas:

¹ Una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas métricas.

² Un gigagramo equivale a 1 millón de kilogramos.

Referencias:

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2015*. FAO. Roma. 2015.

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

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales 2012*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 2.5 | Vegetación primaria potencial en México



Nota:

¹ Incluye: chaparral, mezquital, bosque de mezquite, mezquital tropical, palmar natural, sabana y vegetación de dunas costeras.

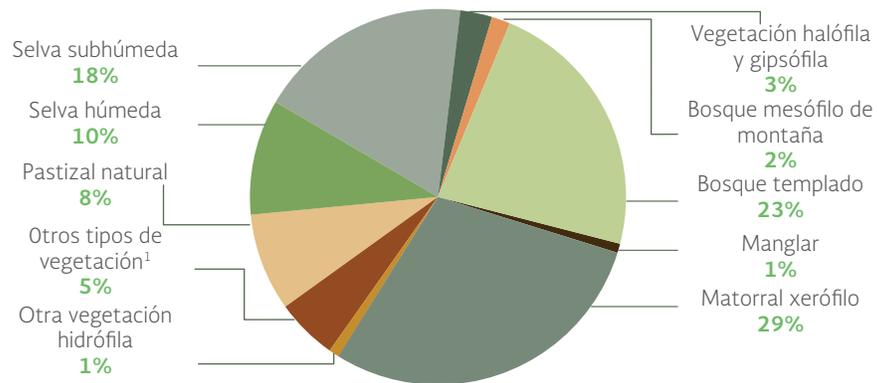
Fuente:

Elaboración propia con datos de:
INEGI. Carta de vegetación primaria potencial, escala 1: 1 000 000. INEGI. México. 2003.

promedio de 206 mil ha anuales), 537 mil de bosques (32 mil ha por año) y 2.3 millones de matorrales (135 mil ha anuales; Figura 2.5a). De estos ecosistemas, las selvas fueron las que sufrieron con mayor velocidad la transformación de su superficie (alrededor de 0.57% anual), seguidas por los matorrales (0.26%) y los bosques (0.09%; Figura 2.5b e **IB 6.1-1**).



Figura 2.4 | Vegetación primaria potencial en México



Nota:

¹ 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. INEGI. México. 2003.

Tabla 2.2 | *Uso del Suelo y Vegetación en México: vegetación potencial, 1976¹, 1993, 2002, 2007 y 2011*

Estado	Formación vegetal/Usos del suelo	Tipo de vegetación/Cobertura	Superficie (ha)					
			Potencial	Año				
				1976	1993	2002	2007	2011
Vegetación natural	Bosques	Bosque mesófilo de montaña	3 088 256	1 838 523	1 813 946	1 825 209	1 841 777	1 853 453
		Bosque templado	43 955 622	33 223 625	32 711 337	32 341 237	32 300 686	32 268 428
		Subtotal	47 043 878	35 062 148	34 525 283	34 166 446	34 142 463	34 121 881
	Selvas	Selva húmeda	19 255 334	12 683 208	9 911 304	9 468 320	9 155 344	9 167 991
		Selva subhúmeda	35 870 558	25 089 090	24 353 186	23 468 976	22 946 644	22 545 476
		Subtotal	55 125 892	37 772 298	34 264 490	32 937 296	32 101 988	31 713 466
	Matorrales	Matorral xerófilo	55 920 520	53 874 823	51 578 697	50 782 464	50 444 636	50 154 036
	Manglar	Manglar	1 450 899	1 045 328	914 610	924 655	945 840	939 584
	Otra vegetación hidrófila	Otra vegetación hidrófila	1 730 083	1 409 712	1 300 256	1 276 828	1 646 724	1 651 250
	Otros tipos de vegetación	Otros tipos de vegetación	11 023 870	8 644 581	6 772 603	6 473 339	6 395 035	6 276 594
Pastizal natural	Pastizal natural	16 279 081	9 985 042	10 429 438	10 315 818	9 896 425	9 793 542	
Vegetación halófila y gipsófila	Vegetación halófila y gipsófila	5 336 445	5 025 767	5 149 801	5 037 665	4 430 667	4 497 999	
Subtotal		193 910 669	152 819 700	144 935 178	141 914 511	140 003 779	139 148 353	
Coberturas antrópicas	Plantación forestal	Plantación forestal		30 622	25 754	36 835	41 736	64 263
		Agropecuario	Agricultura	26 032 618	29 082 925	30 830 397	32 192 907	32 596 012
		Pastizal inducido o cultivado ²	14 319 197	17 704 343	18 901 998	19 019 781	19 107 897	
		Subtotal	40 351 815	46 787 268	49 732 395	51 212 688	51 703 909	
	Zonas urbanas o desprovistas de vegetación	Área desprovista de vegetación			6 031	14 263	20 811	38 621
		199 948	1 108 232	1 260 257	1 597 576	1 845 263		
	Subtotal	199 948	1 114 263	1 274 520	1 618 386	1 883 884		
Subtotal		40 582 384	47 927 286	51 043 751	52 872 810	53 652 056		
Total³			193 910 669	193 402 084	192 862 464	192 958 262	192 876 589	192 800 409

Notas:

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

² Pastizal inducido o cultivado incluye el tipo de vegetación "Sabanoide".

³ Durante el procesamiento de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación fueron ajustada en su línea de costa, de aquí la diferencia entre los totales registrados en esta tabla.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

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

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

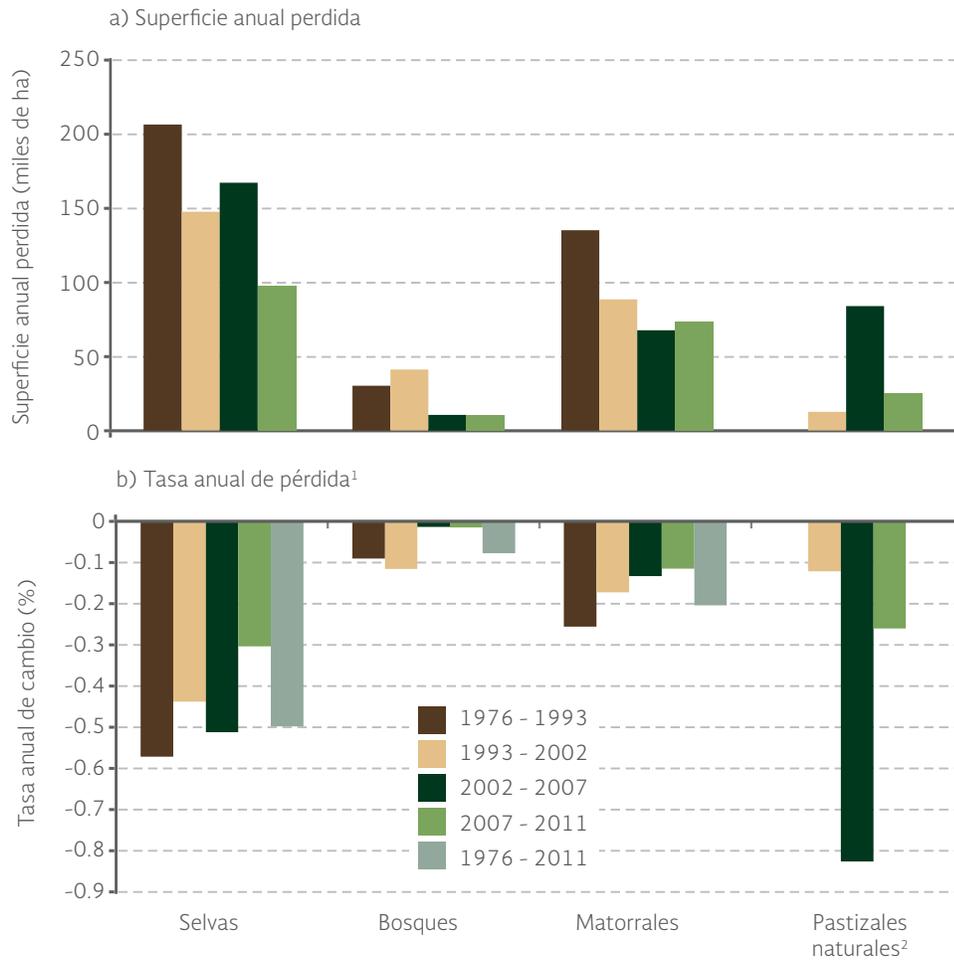
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2004.

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2013.

Figura 2.5 | Superficie perdida y tasa de cambio anuales para selvas, bosques, matorrales y pastizales en México, 1976 - 2011



Notas:

¹ La tasa anual de cambio se calculó con la fórmula $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)}) * 100) - 100$, 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.

² Las tasas de cambio de los pastizales para el periodo 1976-1993 y 1976-2011 no se pueden calcular debido a la agregación que muestra esta vegetación para el año 1976 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. INEGI. México. 2003.

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

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

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

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

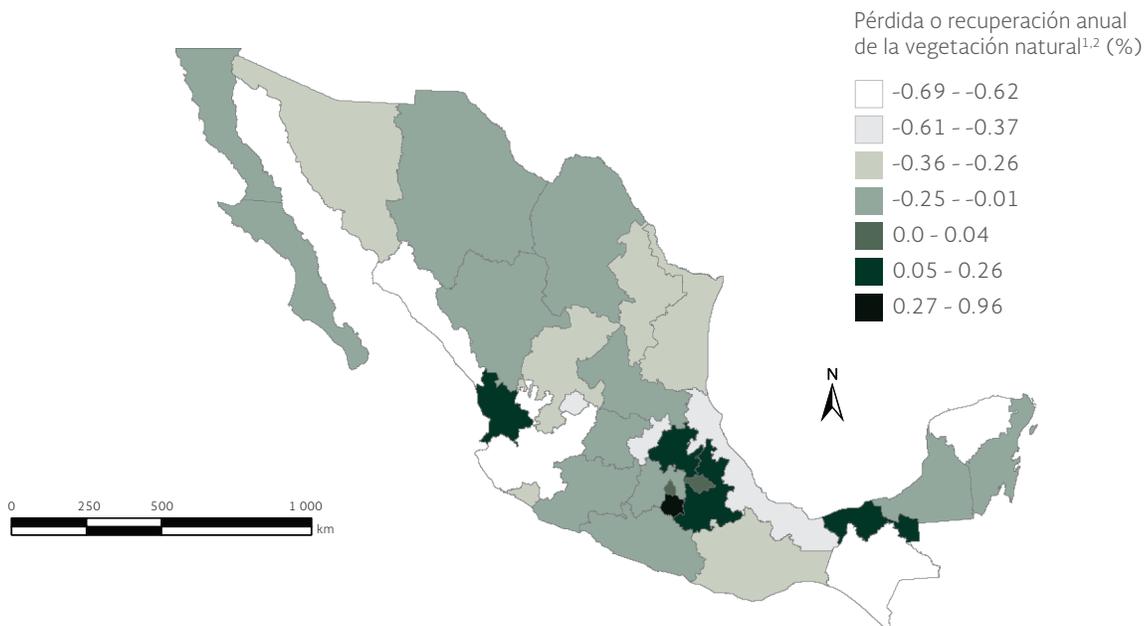
En el periodo de 1993 a 2002, la vegetación natural transformada a otros usos del suelo acumuló cerca de 3 millones de hectáreas, lo que equivale a una pérdida promedio de casi 336 mil hectáreas anuales, cantidad menor a la registrada entre los años setenta y 1993. La formación que perdió mayor superficie en el periodo 1993 a 2002 fueron las selvas, con alrededor de 1.3 millones de hectáreas (al 0.4% anual), seguidas por los matorrales (alrededor 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 casi 114 mil ha al 0.12% anual; Figura 2.5).

En el periodo de 2002 a 2007, la tasa de transformación de la vegetación natural empezó a decrecer; no obstante, aún se observan pérdidas significativas en ciertos ecosistemas (Figura 2.5). En este periodo, se eliminaron 1.9 millones de hectáreas de vegetación natural, a un ritmo promedio de 382 mil hectáreas anuales (cifra mayor a la estimada entre el periodo 1993 y 2002). De la superficie total transformada, 835 mil hectáreas correspondieron a selvas, 419 mil a pastizales y 338 mil a matorrales. Mención aparte merecen los bosques, que sólo perdieron 24 mil hectáreas en este periodo, cerca de 5 mil hectáreas por año, cantidad casi ocho veces menor a la superficie perdida anualmente entre 1993 y 2002 (Figura 2.5).

En el periodo de 2007 a 2011, se perdieron 855 mil hectáreas de vegetación natural, a ritmo promedio de 214 mil hectáreas al año. De la superficie total transformada, 97 mil hectáreas fueron de selvas, 26 mil de pastizales y 73 mil de matorrales. En este periodo, los bosques perdieron alrededor de 5 mil hectáreas, cifra similar a la estimada en el periodo anterior (Figura 2.5).

Entre 2002 y 2011, los estados que perdieron con mayor velocidad su vegetación natural fueron Chiapas (0.69% anual), Jalisco (0.68%), Yucatán (0.62%), Sinaloa (0.62%) y Aguascalientes (0.48%). Por el contrario, el Distrito Federal (0.02% anual) y los estados de Tlaxcala (0.04% anual), Hidalgo (0.11%), Tabasco (0.11%), Puebla (0.24%), Nayarit (0.26%) y Morelos (0.96%) recuperaron parte de su cubierta natural (Mapa 2.6).

Mapa 2.6 | Tasa de cambio de la vegetación natural, 2002 - 2011



Notas:

¹ Se calculó con la fórmula $r = ((s_2/s_1)^{(1/t)} - 1) \times 100 - 100$, 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.

² Los valores negativos de la tasa de cambio anual denotan la pérdida de la superficie de vegetación natural, mientras que los valores positivos indican una recuperación de la superficie de vegetación natural.

Fuentes:

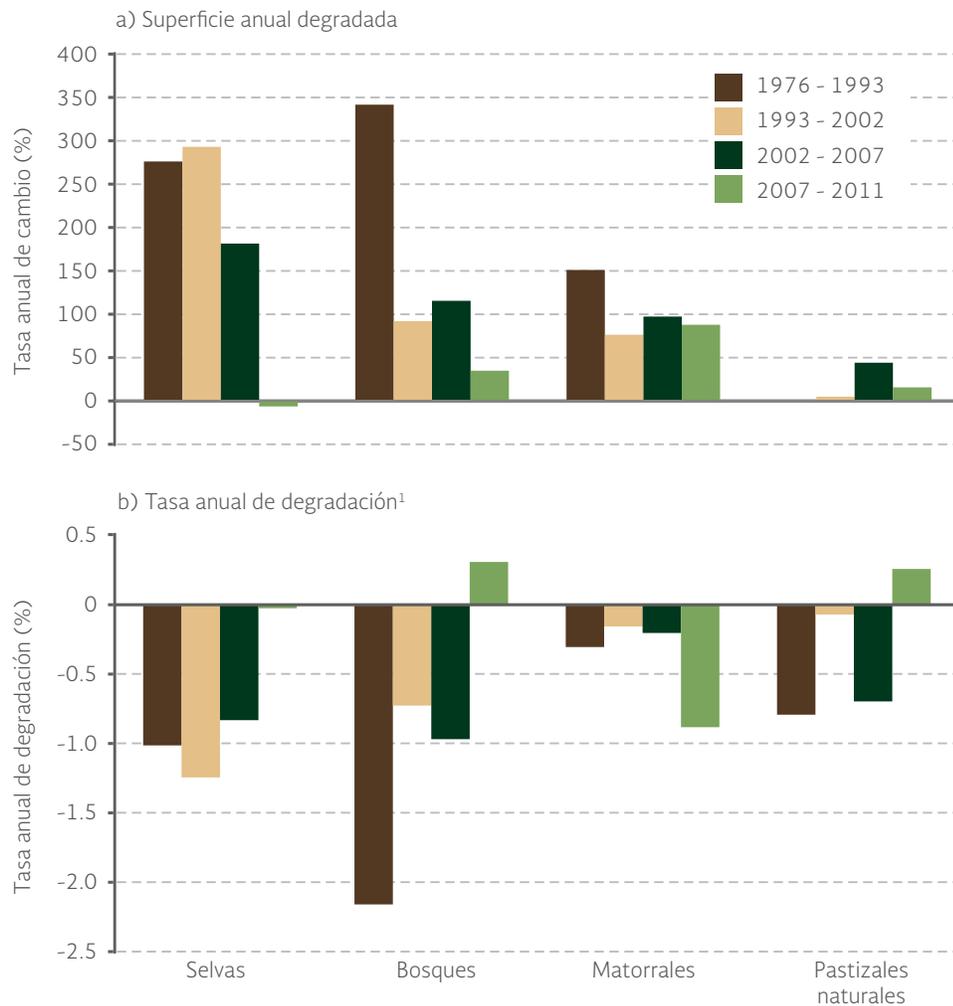
Elaboración propia con datos de:

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

En el periodo de 1976 a 1993 se degradaron³ alrededor de 16 millones de hectáreas de vegetación natural, lo cual equivale a cerca del doble de la superficie natural transformada a otros usos del suelo en el mismo periodo. Así mismo las selvas, bosques y matorrales perdieron en conjunto alrededor de 13 millones de hectáreas de vegetación primaria, esto representa el 16, 31 y 5% de su superficie a inicios del periodo (Figura 2.6a).

Figura 2.6 | Degradación de la vegetación y tasa anual de degradación de selvas, bosques, matorrales y pastizales en México, 1976 - 2011



Nota:

¹ La superficie degradada y la tasa anual de cambio de pastizales para el periodo 1976-1993 no se puede calcular debido a la agregación que muestra este tipo de vegetación para el año 1976 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. INEGI. México. 2003.

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

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

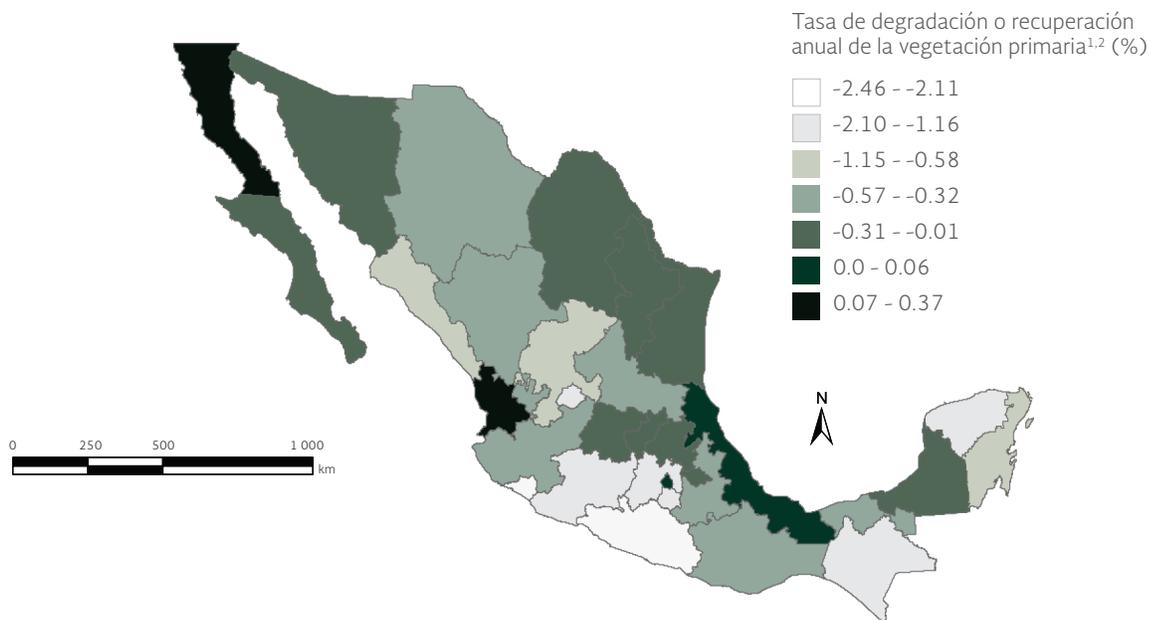
³ La degradación es una modificación inducida por las actividades del hombre en la vegetación natural, pero no es un remplazo total de la misma.

A pesar de las transformaciones y pérdidas de vegetación natural (en términos relativos y netos) se ha observado una disminución de tales afectaciones en las últimas dos décadas. Por ejemplo, entre 1976 y 1993 se degradan 940 mil hectáreas de vegetación natural primaria anuales (al 0.8% anual), entre 1993 y 2002 fueron 525 mil (0.51%), entre 2002 y 2007 contabilizaron 96 mil hectáreas anuales (0.5%) y en el periodo comprendido entre 2007 y 2011 sumaron 121 mil hectáreas anuales (0.12%).

Entre 2002 y 2011, los estados en los que se degradó con mayor velocidad la vegetación natural primaria fueron Guerrero (2.46% anual), Colima (2.11%), Aguascalientes (1.68%), Chiapas (1.45%), Yucatán (1.29%), Morelos (1.26%), estado de México (1.18%) y Michoacán (1.16%). En contraste, la cubierta primaria tuvo una ligera recuperación en el Distrito Federal (al 0.06% anual) y los estados de Veracruz (0.0003%), Nayarit (0.31%) y Baja California (0.37%; Mapa 2.7).

Las selvas han sido los ecosistemas terrestres del país que han sufrido las mayores transformaciones y perturbaciones por causa de las actividades humanas, tanto en superficie eliminada (casi 44 millones de ha de selvas primarias hasta 2011; se conserva alrededor del 21% de su extensión original) como en superficie degradada (el 64% de las selvas existentes en 2011 son secundarias).

Mapa 2.7 | Tasa de degradación o recuperación de la vegetación natural primaria, 2002 - 2011



Notas:

¹ 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.

² Los valores negativos de la tasa de cambio anual denotan el incremento de la superficie de vegetación natural degradada, mientras que los valores positivos indican una recuperación de la superficie de vegetación natural primaria.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

En el periodo de 1976 a 2007 las selvas subhúmedas continuaron con una tendencia sostenida en su superficie transformada al año: poco más de 155 mil hectáreas entre 1976 y 1993, 98 mil entre 1993 y 2002, 104 mil entre 2002 y 2007. Entre 2007 y 2011 se observó una disminución de la superficie transformada: 55 mil hectáreas al año.

En superficie transformada, a las selvas les siguen los bosques, que se han reducido en cerca de 13 millones de hectáreas, hasta 2011 su extensión alcanzaba el 73% de su extensión original. Los matorrales desérticos redujeron su extensión de 56 millones de hectáreas a 51 millones.

Las transformaciones de las superficies naturales han beneficiado a la expansión de los terrenos agropecuarios. En la década de los setenta, los pastizales utilizados para la ganadería cubrían una superficie de más de 14.3 millones de hectáreas, en tanto que los terrenos agrícolas cubrían unos 26 millones de hectáreas. De la década de los setenta a 1993, los terrenos agropecuarios aumentaron su extensión en 6.3 millones de hectáreas, abarcando una superficie total de 46.8 millones de hectáreas (aumentaron cerca de 379 mil ha por año). De 2002 a 2007, los pastizales cultivados o inducidos incrementaron su superficie en más de 118 mil hectáreas; en conjunto, las áreas dedicadas a la agricultura y a pastizales para ganado se incrementaron en casi 1.5 millones de hectáreas, alcanzando una extensión de 51.2 millones de hectáreas. En el periodo de 2007 a 2011, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie en 88 mil hectáreas, y las áreas dedicadas a la agricultura y pastizales destinados al ganado se incrementaron en 400 mil hectáreas. En este periodo la extensión total de estas coberturas fue 51.7 millones de hectáreas.

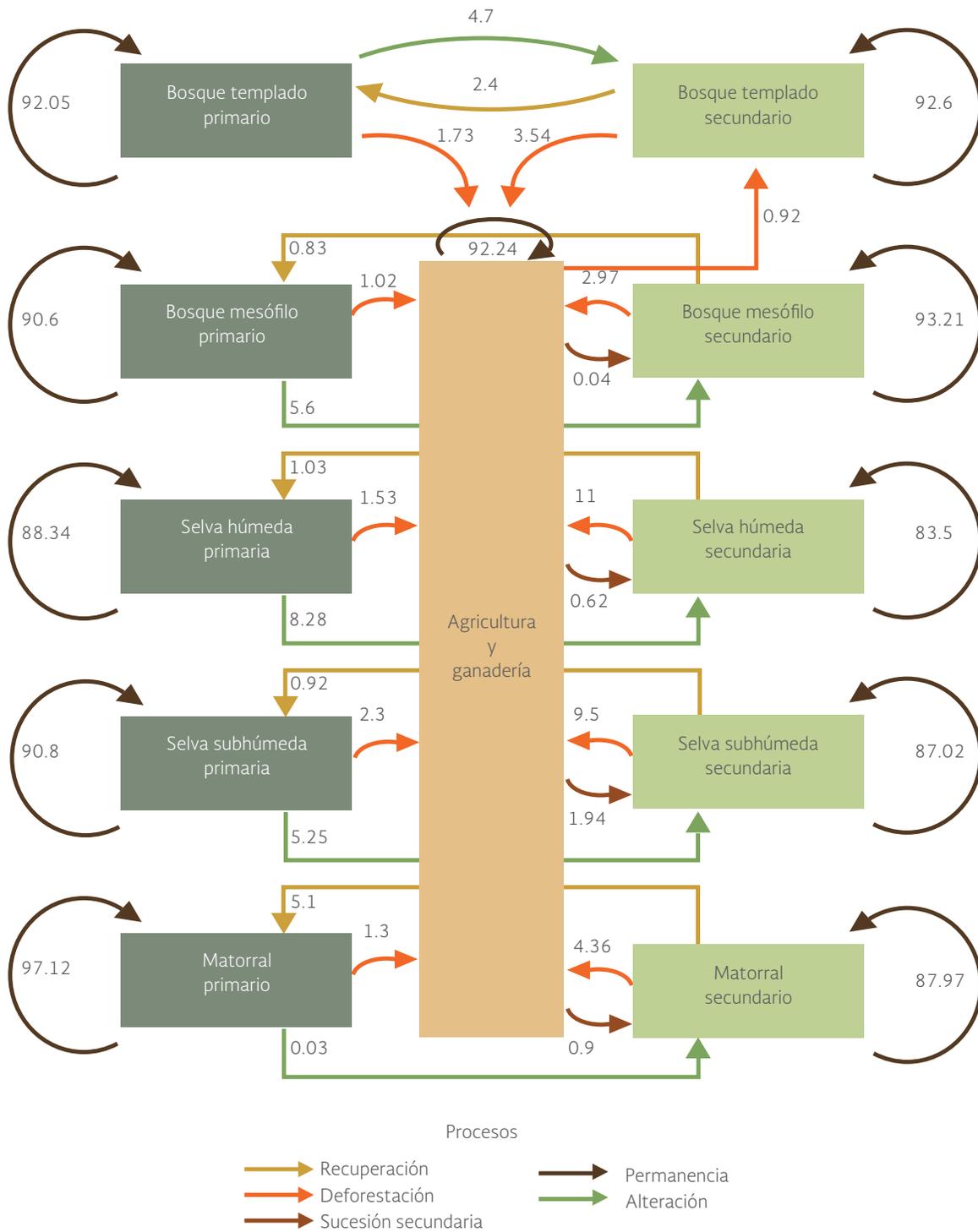
La transformación de la vegetación hacia actividades agropecuarias es más intensa si la vegetación se encuentra en estado secundario. Este fenómeno es, en gran medida, responsable de la elevada tasa de pérdida de la vegetación natural que ha sufrido México. La dinámica de cambio entre diferentes usos del suelo se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.7.

PROCESOS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO

De los procesos que determinan el cambio en el uso del suelo, los más relevantes son la deforestación⁴ (cambio permanente de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos), la alteración (también denominada degradación, es una modificación inducida por el humano en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma) y la fragmentación (la transformación del paisaje en parches pequeños de vegetación original rodeados de superficie alterada). El cambio de uso del suelo en matorrales suele incluirse dentro de la desertificación o “degradación ambiental en zonas áridas” (la desertificación también incluye a las zonas subhúmedas y semiáridas).

⁴ De acuerdo a la FAO (2015) la deforestación es el cambio permanente de la cobertura forestal hacia un terreno con una cobertura de copas (o densidad equivalente) menor al 10% de la superficie, acompañado de un cambio del uso del suelo.

Figura 2.7 | Modelo del cambio de uso del suelo, 2002 - 2011¹



Nota:
¹ Las probabilidades de cambio están expresadas en porcentaje anual.

Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). INEGI. México. 2005.
 INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

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 también podría aplicarse el término deforestación, no obstante, diversas dependencias internacionales, como la FAO, consideran que la deforestación se restringe a zonas arboladas.

DEFORESTACIÓN

De acuerdo con la FAO (2015) una unidad forestal es aquella que tiene al menos un 10% de su superficie cubierta por las copas de árboles. En México, el Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2005) señala que la vegetación forestal de bosques y selvas es aquella en la que predominan especies leñosas que se desarrollan en forma natural, con una cobertura de copa mayor al 10% de la superficie que ocupa y siempre que formen masas mayores a 1 500 metros cuadrados. Esta definición incluye a los tipos de bosque y selvas descritos en la clasificación del INEGI.

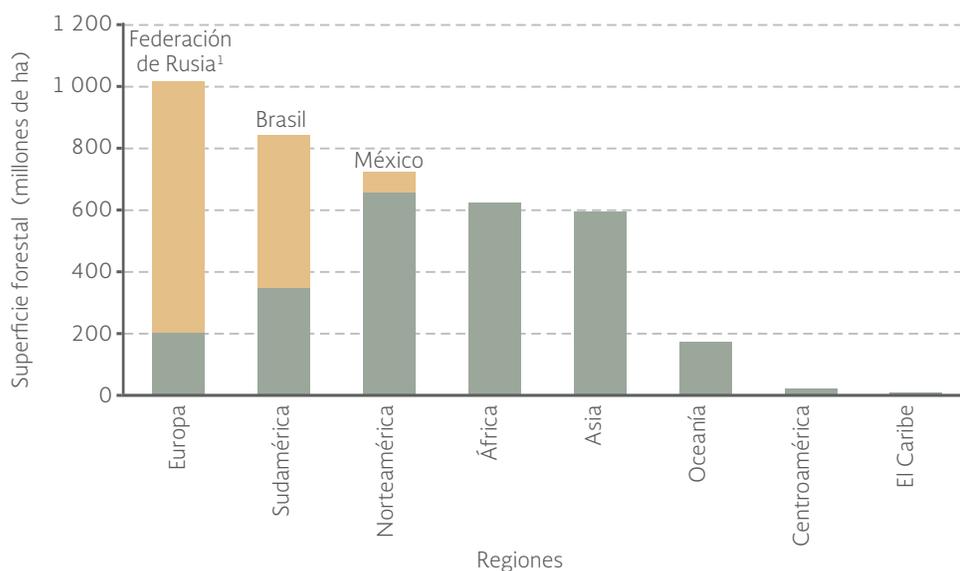
La principal preocupación en torno a la deforestación tiene que ver con la pérdida de la biodiversidad y de los servicios ambientales que brindan los bosques y las selvas, y en las últimas décadas a la influencia de esa pérdida en el calentamiento global. Las masas forestales proporcionan servicios como la formación y conservación de los suelos. Los bosques y selvas son además reservorio de la biodiversidad, además son fuente de bienes de consumo tales como la madera, leña, fibras y otros productos forestales no maderables (p. ej. alimentos, fibras y medicinas, entre otros).

En 2015 los bosques mundiales cubrían casi 4 mil millones de hectáreas, esto es alrededor del 31% de la superficie terrestre del planeta (FAO, 2015). El mayor remanente se encuentra en Europa y la parte occidental de la Federación de Rusia (26% del área forestal mundial), seguido por Suramérica (21%) y Norteamérica (16.7%, al cual México aporta el 1.7% al total global; Figura 2.8). A pesar de los esfuerzos para conservar los bosques del mundo, éstos han mantenido niveles de cambio altos en las últimas décadas. No obstante que el ritmo neto de cambio durante la última década ha mostrado una tendencia hacia la disminución de la deforestación con respecto a la década anterior (1990-2000: 7.5 millones de hectáreas anuales, a una tasa de 0.2% anual), para el periodo 2000-2005 se estimó en 4.2 millones de hectáreas anuales (al 0.10% anual), para 2005-2010 continuó disminuyendo a cerca de 3.4 millones (al 0.08% anual) y en 2010-2015 se mantuvo alrededor de 3.3 millones (al 0.08% anual).

En el periodo 1990-2010, Suramérica fue la región que sufrió mayores cambios netos en su superficie forestal (88.8 millones de ha, tasa del 0.5% anual). En el periodo 2005-2010 se observó una tendencia hacia la reducción del cambio de los bosques de esa región (16.4 millones de ha, 0.24% anual; Figura 2.9a). A Suramérica le siguen: África (que entre 1990 y 2010 disminuyó su cubierta forestal en cerca de 81.6 millones de ha, 0.5% anual), Centroamérica (que lo hizo en 6.7 millones de ha, 1.14%) y Oceanía (3.3 millones ha, 0.08%). En ese periodo, en Europa, las superficies forestales se incrementaron en 21.2 millones de hectáreas, mientras que en Asia y Norteamérica aumentaron un total de 25.2 millones y 2.2 millones hectáreas, respectivamente.

En el periodo 2010-2015, África y Suramérica fueron las regiones que experimentaron la mayor pérdida anual neta de bosques, con 2.8 (-0.45% tasa anual) y 2 millones de hectáreas, (-0.24%

Figura 2.8 | Zonas forestales en diferentes regiones del mundo, 2015



Nota:

¹ Las superficies forestales de la Federación de Rusia se suman a las cuentas de la región de Europa.

Fuente:

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2015*. FAO, Roma, 2015.

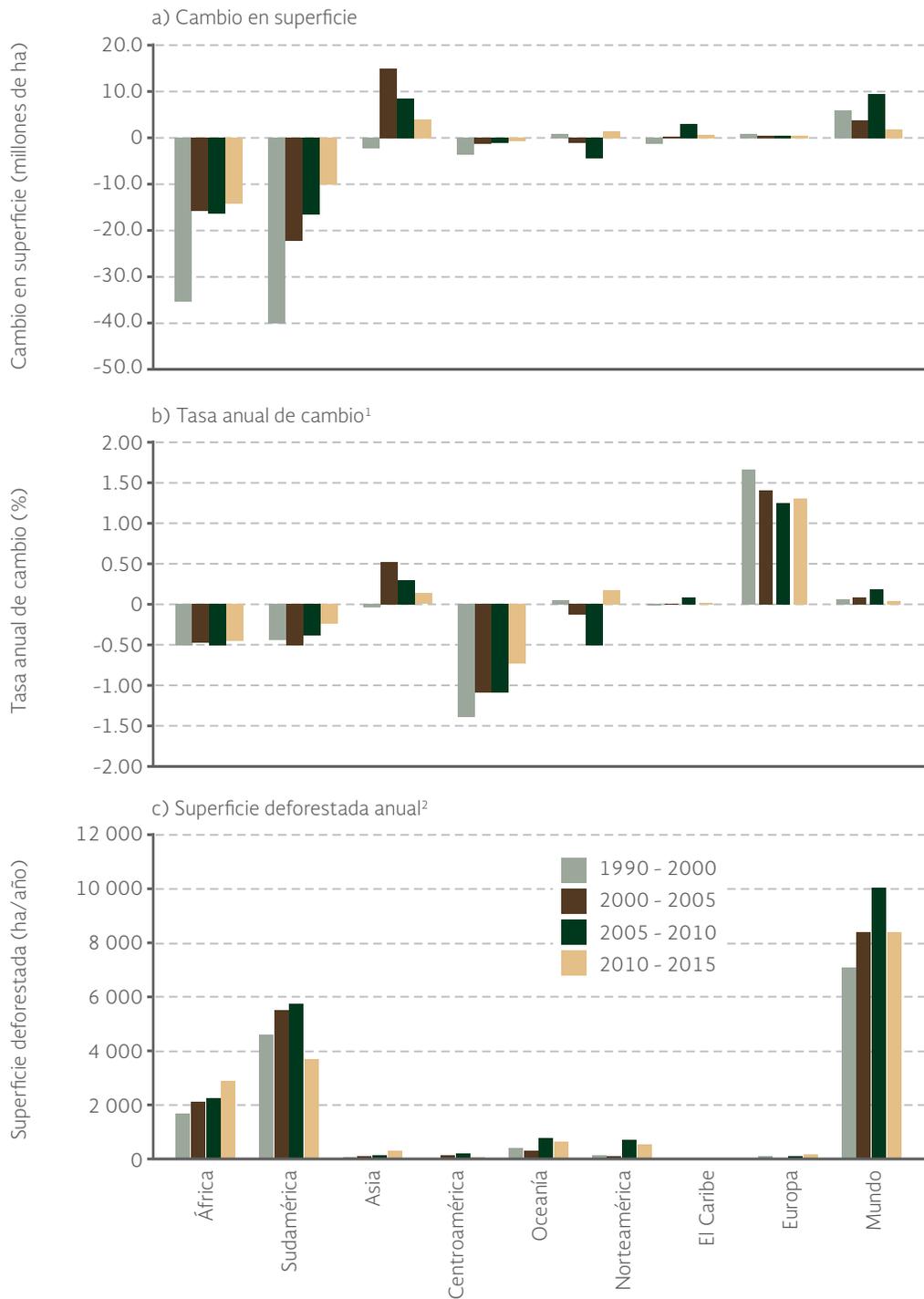
tasa anual) respectivamente. Asia y Europa fueron las regiones que presentaron el mayor aumento anual neto en su superficie forestal, con 0.8 (0.13% tasa anual) y 0.4 (0.04%) millones de hectáreas (Figura 2.9b). Un caso particular es el Caribe, el cual desde 1990 hasta 2015 ha presentado las mayores tasas de cambio anual positivas de todas las regiones del mundo (en promedio 1.4%, Figura 2.9b); sin embargo, su aumento neto en superficie forestal fue en promedio de 0.1 millones de hectáreas.

De acuerdo a la FAO (2015) la región de Suramérica, entre 2005 y 2010, fue la que presentó la mayor cantidad de hectáreas deforestadas por año (3 714 ha/año), le sigue África (2 887 ha/año) y Oceanía (668 ha/año). Por el contrario, el Caribe fue la región con la menor cantidad de hectáreas deforestadas (8 ha/año), seguida de Centroamérica (76 ha/año) y Europa (182 ha/año; Figura 2.9c). Las tasas de deforestación, a nivel mundial, fueron aumentado hasta principios del 2000, después se han ido estabilizando y en algunos casos disminuyendo (Figura 2.9c).

Siguiendo las comparaciones internacionales, México junto con Portugal y Corea fueron de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en los cuales se perdió superficie boscosa en el periodo 2010-2015 (FAO, 2015; Figura 2.10).

En México las estimaciones de deforestación obtenidas con distintos métodos y periodos han mostrado fuertes variaciones (Tabla 2.3). Las estimaciones oficiales más recientes, corresponden a los Informes Nacionales de la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Las estadísticas de estos informes son retomados por la FAO en sus ediciones de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (Forest Resources Assessment, FRA) años 2000, 2005, 2010 y 2015.

Figura 2.9 | Deforestación en el mundo por superficie y tasa anual según región, 1990 - 2015



Notas:

¹ La tasa anual de cambio se calculó con la fórmula $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)})) * 100 - 100$, 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.

² La superficie deforestada incluye la subcategoría "Provocada por el hombre". Los datos disponibles son hasta 2010, aunque la fuente fue consultada en 2015.

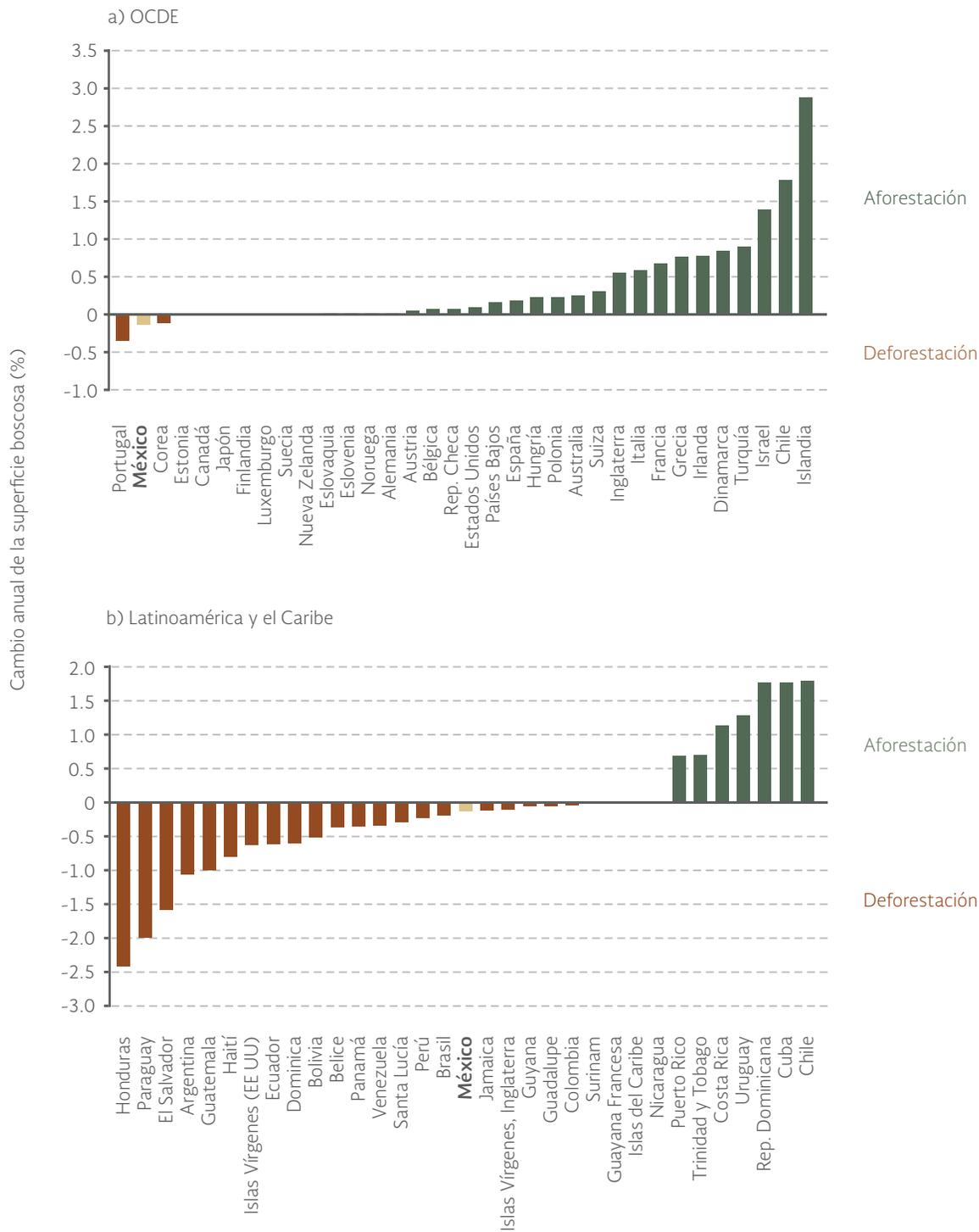
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

FAO. Global Forest Resources Assessment 2015. FAO. Roma. 2015.

FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Figura 2.10 | Tasas de deforestación para países de la OCDE y de Latinoamérica, 2005 - 2015



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 FAO. Global Forest Resources Assessment 2015. FAO. Roma. 2015.
 FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Las estimaciones están basadas en comparaciones espaciales de áreas o polígonos ocupados con vegetación forestal (Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2005) para los periodos 1990-2000 (empleando las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Series II y III) y 2005- 2011 (con base en las Series III, IV y V).

La estimación más reciente de la FAO (retomadas de los informes de Conafor) muestra que en el periodo 2000 y 2015 la tasa neta de deforestación fue de 121 mil hectáreas al año. De acuerdo a los informes de la FAO, se ha observado una tendencia en favor de la reducción en la superficie deforestada al año en México, entre 1990 y 2000 se perdían 354 mil hectáreas anuales, para el periodo 2000-2005 se redujo a 235 mil hectáreas por año; entre 2005 y 2010 se perdieron alrededor de 155 hectáreas anuales y para el periodo 2010-2015 la pérdida de bosques se estimó en 92 mil hectáreas anuales (Tabla 2.3).

La perturbación o alteración de una comunidad forestal por causas humanas, seguida de la deforestación (Brockway *et al.*, 2014; Kara y Loewenstein, 2015), son la ruta de cambio de uso del suelo más frecuente en México, particularmente si se trata de selvas (Figura 2.7) y al igual que en otras partes del mundo, las actividades agropecuarias se consideran como uno de los principales responsables de la deforestación, seguidas de la tala clandestina y los incendios forestales intencionales.

De lo anterior, hasta principios de la década pasada, era frecuente que una zona forestal incendiada no se recuperara debido a que era ocupada para otros usos del suelo (p. ej., el agropecuario o el urbano). Es probable que una porción importante de los incendios en sitios con vegetación natural fueran provocados para después invadir los bosques en zonas protegidas por la ley o por las instituciones locales (para más detalles de los incendios forestales, ver la sección de **Otras amenazas a los ecosistemas** (ver recuadro **Deforestación y emisiones de GEI**). En la actualidad, cuando una superficie forestal se incendia, ésta puede recuperarse después de un tiempo debido a que las autoridades no permiten el cambio de uso del suelo; esta medida tiene el objetivo de desincentivar los incendios provocados y al mismo tiempo fomentar la conservación de la vegetación natural.

La alteración de las masas forestales es un proceso que no implica la remoción total de la cubierta arbolada, no obstante tiene efectos en la densidad de las especies y a nivel ecosistema puede provocar modificaciones en los servicios ambientales (Vargas-Larreta *et al.*, 2010; Brockway *et al.*, 2014; Kara y Loewenstein, 2015), y por tanto en el aprovechamiento sostenible (Figura 2.11). La deforestación y la alteración tienen efectos negativos sobre los bienes y servicios que provienen de los ecosistemas naturales. De la década de los setentas al 2011, la tasa anual de deterioro (considerando de forma conjunta la deforestación y la degradación) de los bosques y selvas fue de alrededor de 711 mil hectáreas por año, lo que representa poco más del triple de la tasa de deforestación *sensu stricto* para ese periodo (213 mil ha por año; Figura 2.12).

Actualmente la vegetación forestal secundaria cubre grandes extensiones del territorio nacional. Esta vegetación es producto tanto de la regeneración de sitios que fueron anteriormente deforestados, como del deterioro (sin remoción total de árboles) de la vegetación primaria.

Tabla 2.3 | Estimaciones de la deforestación anual en México para distintos periodos^{1,2}

Periodo	Referencia ¹	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
1993-2011	Semarnat, 2008	321
1993-2000	Velázquez et al., 2002	776
2000-2005	FAO, 2010	235
2005-2010	FAO, 2010	155
2010-2015	FAO, 2015	92
1990-2000	FAO, 2015	190
2000-2010	FAO, 2015	136
2000-2015	FAO, 2015	121

Notas:

¹ Las estimaciones de la FAO sólo consideran las tierras boscosas, éstas se definen como tierras cubiertas por copas (o densidad equivalente) de árboles en más del 10% de la superficie y una extensión igual o mayor de 0.5 hectáreas. Los árboles deben tener una altura mínima de 5 metros en el momento de su madurez *in situ*.

² La FAO realiza, año con año, adecuaciones a las superficies de tierras boscosas, por lo cual las estimaciones de deforestación pueden variar en magnitud para diferentes periodos.

Fuentes:

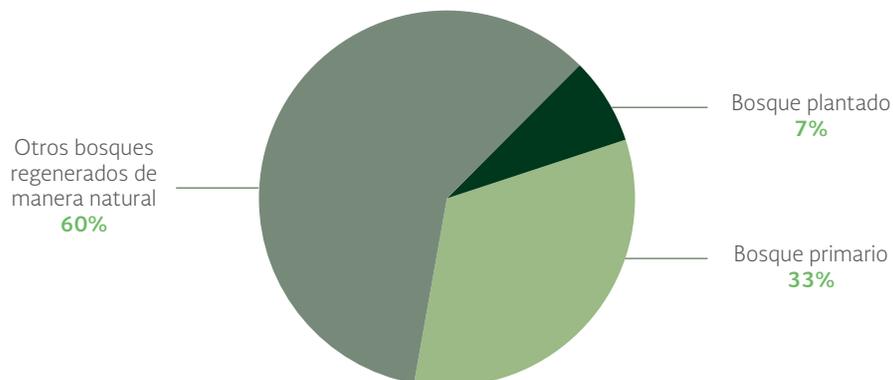
Elaboración propia con datos de:

FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

FAO. *Global Forest Resources Assessment, terms and definitions 2012*. FAO. Roma. 2012.

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2015*. FAO. Roma. 2015.

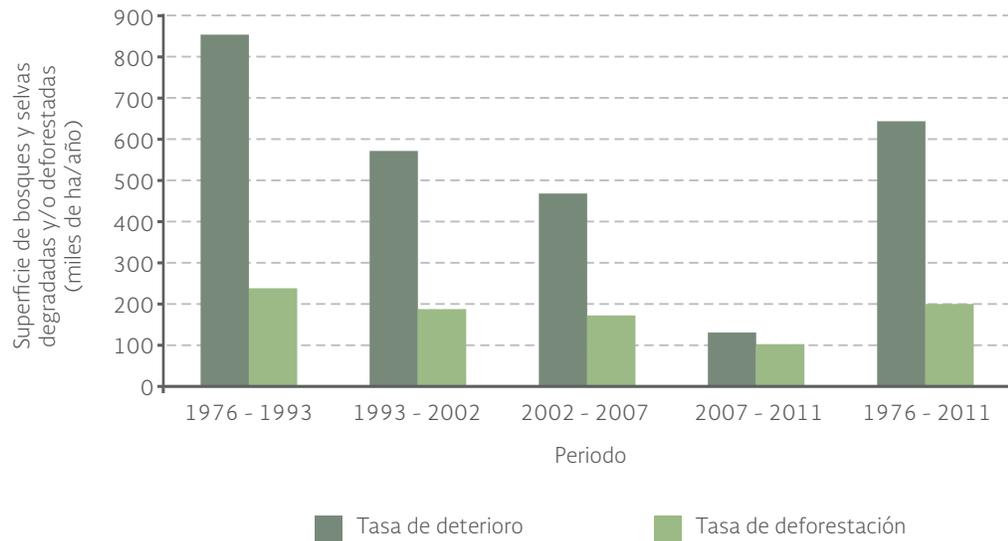
Figura 2.11 | Estado de los bosques del mundo, 2015



Fuente:

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2015*. Roma. 2015.

Figura 2.12 | Tasas de deforestación¹ y deterioro² anuales en México, 1976³ - 2011



Notas:

¹ Se calculó a partir de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación con base en el cambio neto de 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.

² 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.

³ Los datos que se asignan para 1976 corresponden a las fotografías satelitales tomadas en su mayoría a lo largo de la década de los años setenta.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

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

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

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

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

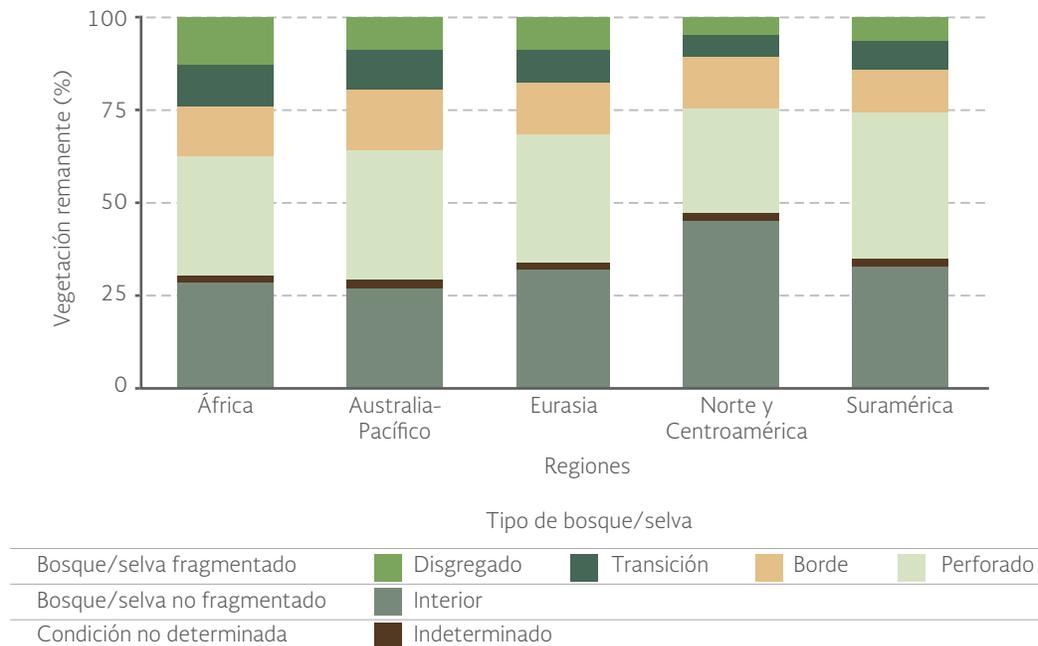
A diferencia de los bosques templados, en cada hectárea de selva coexisten decenas de especies diferentes de árboles, la mayoría de ellos no tienen un valor comercial, sólo algunas de ellas tienen valor para el mercado. Entre las especies de maderas preciosas en México se pueden mencionar a la caoba (*Swietenia*) y al cedro rojo (*Cedrela*). También es común que dentro de las selvas se dé la explotación de los árboles a través de la sustracción de sus ramas para obtener leña. La Ley de Desarrollo Forestal Sustentable prohíbe cortar leña en pie de forma clandestina, sin embargo, esta práctica subsiste debido a la necesidad de obtener combustibles. En 2014, alrededor del 18.6% de los habitantes del país utilizan leña o carbón para cocinar (Presidencia de la República, 2016) y aunque no se tiene una estimación precisa sobre la cantidad de leña per cápita consumida, se considera que la superficie de la que ésta se extrae debe ser importante. Aunado al daño producido por la extracción selectiva de maderas preciosas y la corta de leña en pie, el proceso de tala de un árbol y su posterior caída puede dañar entre el 30 y 50% de los individuos adyacentes (Kartawinata, 1979 en Challenger, 1998), provocando su muerte o haciéndolos más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Esto sin considerar los efectos del claro sobre los procesos de sucesión vegetal.

FRAGMENTACIÓN

Cuando se remueve parte de la vegetación original de una zona, ya sea por fenómenos naturales o por actividades humanas, suelen permanecer manchones pequeños relativamente intactos e inmersos en usos del suelo distintos a los de la cobertura original. Estos manchones o “islas” de vegetación conservan un menor número de especies nativas si se les compara con una superficie equivalente sin fragmentar. Este fenómeno se debe a que las poblaciones de algunas especies nativas necesitan una superficie mínima para realizar sus funciones a nivel de población, además de que varios procesos de degradación ocurren con mayor intensidad en los bordes de los fragmentos. Es importante considerar tal fenómeno cuando se pretende conservar la vida silvestre, por ello, no basta con conocer la superficie que abarca la vegetación, también es importante evaluar el estado o grado de continuidad de la misma.

No es lo mismo una selva de 100 mil hectáreas con cobertura continua, que una selva dividida en cien fragmentos de mil hectáreas cada uno separado por otros usos del suelo. De acuerdo a Ritters y colaboradores (2000), la fragmentación de las selvas y bosques a nivel mundial es alta, estos autores estimaron que sólo el 35% de la superficie arbolada no está fragmentada (con áreas continuas de más de 80 km²) ni sufre efectos de borde (se ubica a más de 4.5 km de un borde de algún fragmento generado). Las selvas fueron los ecosistemas más fragmentados a nivel global (Figura 2.13).

Figura 2.13 | Vegetación remanente con fragmentación¹ en diferentes regiones del mundo, 2000



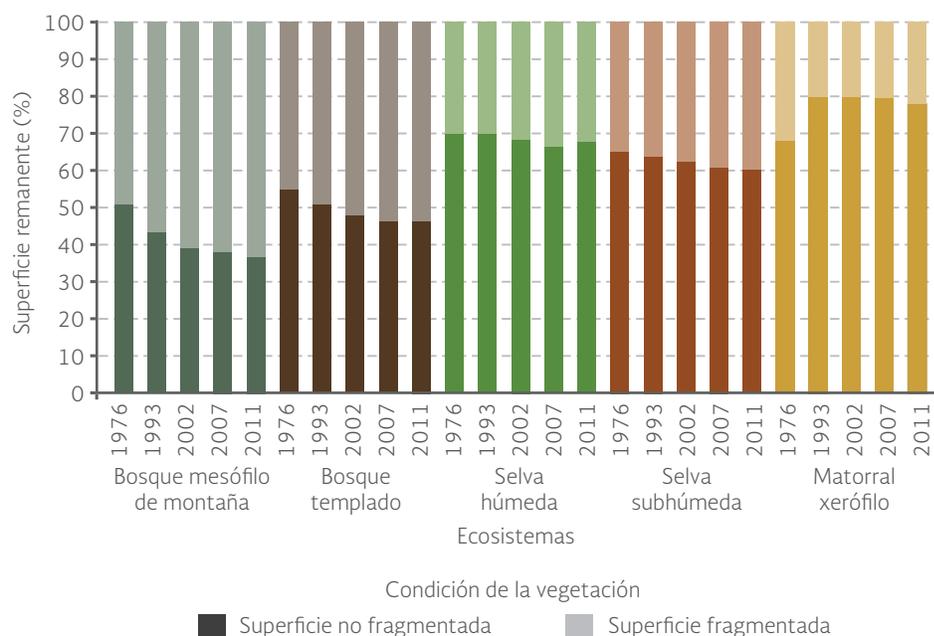
Nota:

¹ 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.

Figura 2.14 | Fragmentación¹ de algunos ecosistemas terrestres en México, 1976 - 2011



Nota:

¹ Para considerar un área de vegetación como fragmentada, se tomó como criterio que su superficie fuese menor a 80 km².

Fuentes:

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie I (1968-1986)*, escala 1:250 000. INEGI. México. 2003.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie II (Reestructurada) (1993)*, escala 1:250 000. INEGI. México. 2004.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie III (2002)*, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). INEGI. México. 2005.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007)*, escala 1:250 000. INEGI. México. 2011.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

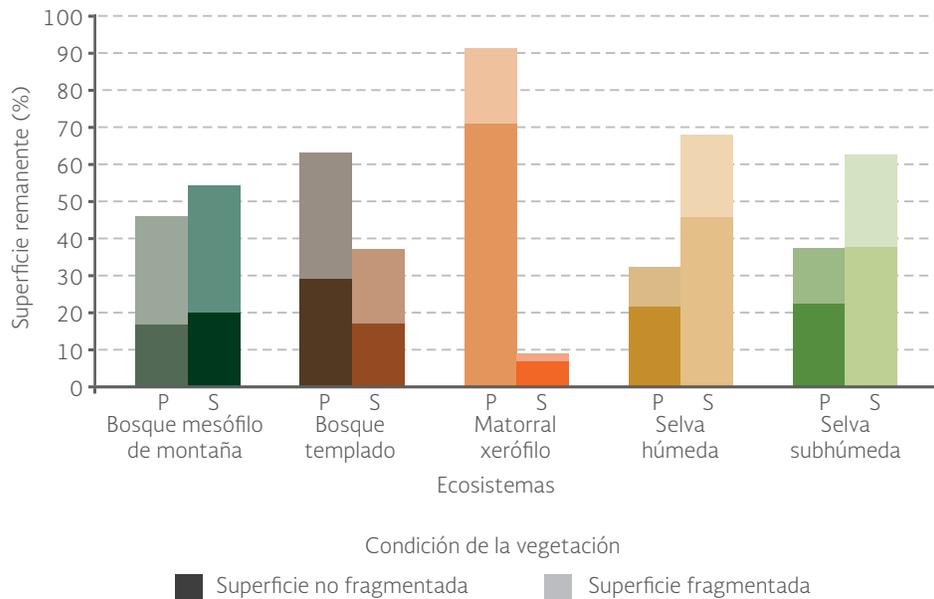
En el caso de México, para la estimación de la fragmentación de los ecosistemas forestales, se tomó como criterio de cálculo a aquellas superficies de vegetación natural menores a 80 kilómetros cuadrados; esta superficie se considera como la unidad mínima que permite mantener las condiciones ambientales adecuadas para que las poblaciones realicen sus funciones ecológicas (ver Sánchez-Colón y colaboradores, 2009).

En México, las cartas de Uso del Suelo y Vegetación de INEGI son la principal fuente para obtener estimaciones del grado de fragmentación de los ecosistemas terrestres. Aunque estas estimaciones son a escala 1: 250 000 y por tanto con poco detalle, dan una idea del grado de fragmentación de la vegetación natural.

De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V, en el 2011 los bosques (incluyendo los templados y mesófilos de montaña) fueron los ecosistemas forestales más fragmentados del país: 54% de su superficie remanente (alrededor de 18.5 millones de ha) se dividía en fragmentos menores a 80 km². Al desagregar esta formación vegetal, se observa que el bosque mesófilo de montaña fue el tipo de vegetación forestal más fragmentado en ese año, alcanzando el 63.1% de su superficie remanente, es decir, 1.17 millones de hectáreas⁵ (Figura 2.14).

⁵ El bosque mesófilo de montaña y otros tipos de vegetación, no se distribuyen de forma natural en superficies continuas de gran extensión. Este fenómeno podría tener efectos significativos sobre los resultados obtenidos del análisis de fragmentación.

Figura 2.15 | Grado de fragmentación¹ y condición de la vegetación de algunos ecosistemas terrestres en México, 2011



Nota:

¹ Para considerar un área de vegetación como fragmentada, se tomó como criterio que su superficie fuese menor a 80 km².

P: Vegetación primaria

S: Vegetación secundaria

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

Con relación a las selvas (32% húmedas y 40% subhúmedas) cerca de 11.8 millones de hectáreas presentan fragmentos menores de 80 km² (Figura 2.14). Por su parte los matorrales mostraron el menor grado de fragmentación, alrededor del 80% de su superficie (39 millones de ha) no mostraba señales de esta condición.

La fragmentación de los ecosistemas afecta a toda la vegetación natural (primaria y secundaria). Superficies extensas de vegetación primaria del país persisten en forma de fragmentos. Esta condición las hace susceptibles a la degradación, aún sin la intervención humana, en comparación a las superficies conservadas con mayor extensión. En el año 2011, la fragmentación de la vegetación primaria fue significativa para algunos ecosistemas, por ejemplo, el 29% de los bosques mesófilos primarios y 34% de los bosques templados primarios se clasificaría como fragmentados (Figura 2.15). Porcentajes menores se observan en las selvas húmedas y subhúmedas (11 y 15% de su superficie primaria, respectivamente) y los matorrales (20%).

DEGRADACIÓN DE MATORRALES

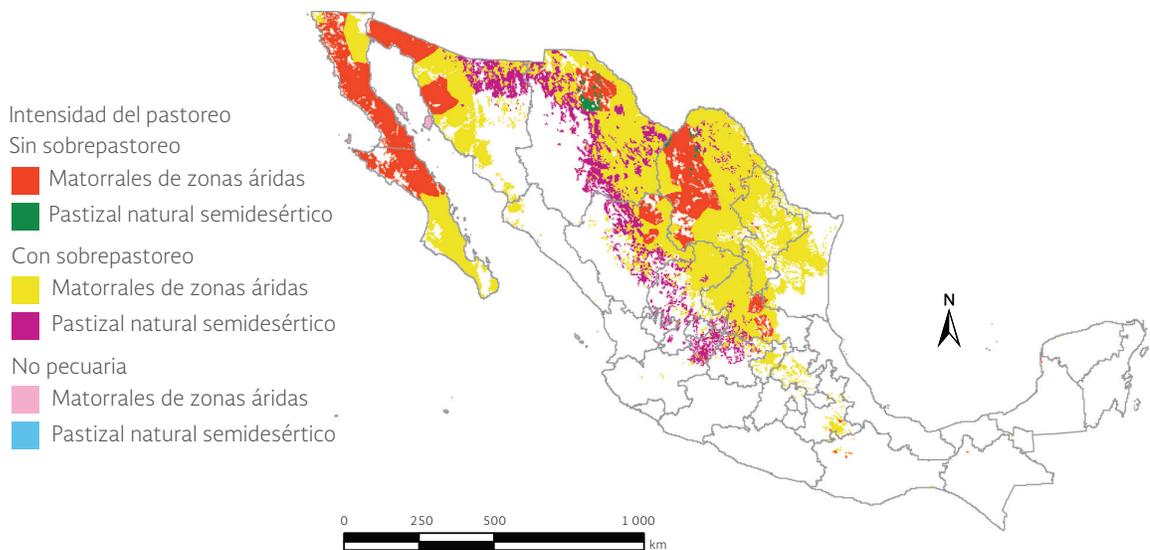
Los matorrales, huizachales y mezquiales que caracterizan a las zonas áridas de México también han sufrido un proceso de deterioro por causa de las actividades humanas. Aunque su tasa de degradación a otros usos del suelo es aún más difícil de evaluar (en comparación con la deforestación)

los inventarios nacionales muestran que esta formación vegetal es la que más lentamente ha sido transformada a otros usos del suelo, y por tanto es una de las comunidades que conserva una mayor proporción de su superficie como vegetación primaria (91.5% en el año 2011 según la Serie V; Figura 2.2).

No obstante lo anterior, en términos absolutos, el nivel de degradación de los matorrales no es despreciable. Los matorrales secundarios ocupan poco más de 43 mil kilómetros cuadrados, una extensión similar a la superficie de los estados de Yucatán o Quintana Roo.

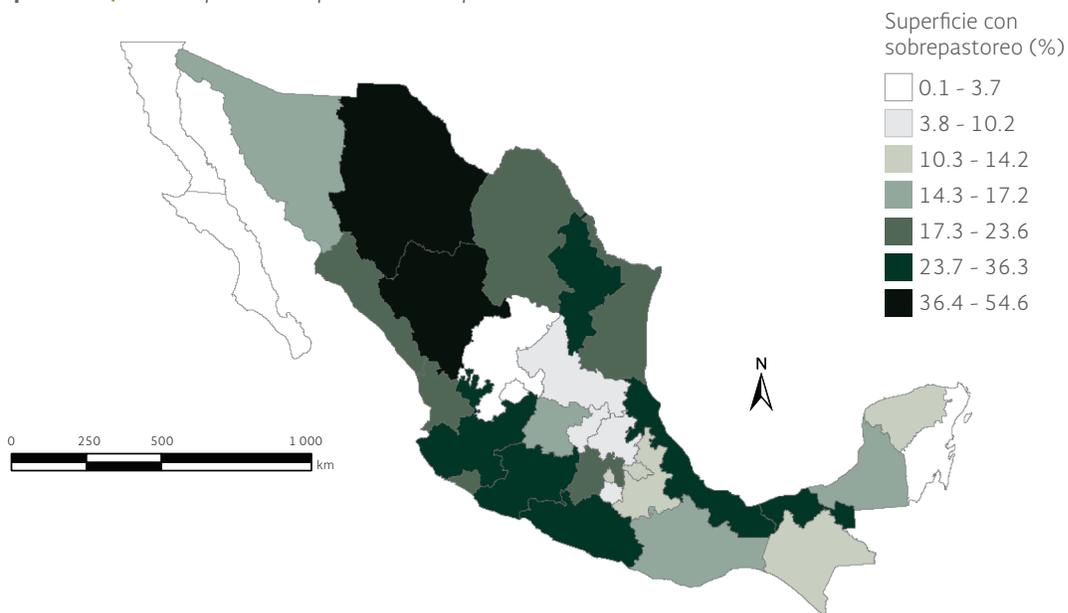
Los matorrales presentan gran diversidad de formas, aún dentro de un área reducida. Por esta razón cuando ocurre una alteración en un sitio, la vegetación alterada resultante puede ser considerada como natural en otro. Bajo estas condiciones es difícil deducir cómo era la vegetación primaria en un sitio determinado o si se trata de una localidad con vegetación en estado secundario. Estas evaluaciones se vuelven más complejas si se derivan del análisis con base en métodos de percepción remota, sin tener datos suficientes de estudios directos en el campo. Un análisis realizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat, 2003) utilizando técnicas alternativas para determinar la degradación, mostró que en varios municipios del territorio nacional, el número de cabezas de ganado sobrepasaba la capacidad de carga máxima de sus ecosistemas, el 70% de los matorrales están sobreexplotados y en franco proceso de degradación. Estas estimaciones son diferentes a las obtenidas de las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación de las Series I, II, III, IV y V, las cuales muestran que 8% de matorrales son secundarios. Según el estudio del INE, solamente los matorrales del occidente de Coahuila, el Desierto de Altar y de la porción central de la península de Baja California no se hallaban sobrepastoreados. En este sentido, el sobrepastoreo afecta al 95% de los pastizales naturales de México que crecen en el norte árido de la república (Mapa 2.8).

Mapa 2.8 | *Intensidad de pastoreo en matorrales y pastizales naturales*



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

Mapa 2.9 | Sobrepastoreo por entidad federativa, 2002



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.*
Semarnat, CP. México. 2003.

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 de México (Mapa 2.9). Este estudio mostró que la superficie afectada por sobrepastoreo alcanzaba en el año 2002 poco más de 47.6 millones de hectáreas (24% de la superficie nacional) y alrededor del 43% de la superficie dedicada a la ganadería en el país. Esto muestra que la degradación de los ecosistemas de las zonas áridas es aún incierta y se hace necesario realizar estudios específicos para estimar con precisión la superficie afectada y su magnitud.

La mayor parte de la superficie afectada por incendios forestales ha sido en pastizales, matorrales y vegetación arbustiva. La afectación de la vegetación natural por incendios muestra variaciones temporales importantes tanto en el tipo de vegetación como en la superficie afectada. En el periodo de 1998 a 2013, el 86% de la superficie total incendiada en el país ocurrió en pastizales y matorrales. En 2011 la superficie incendiada de matorrales, en el estado de Coahuila, alcanzó las 272 mil hectáreas, esta cantidad representa el 44.5% de la superficie incendiada a nivel nacional en ese año.

Cuando el clima promedio se hace más seco y las temperaturas aumentan, se ha observado el desplazamiento de especies de flora y fauna, que son sustituidas por especies típicas de zonas aún más áridas, en consecuencia el sitio se presenta más desértico que en su condición original; de aquí el término desertificar, “hacer desiertos”. La definición más aceptada de desertificación, propuesta por la Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés) 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 afecta tanto a la cubierta vegetal como a los suelos que la soportan (véase la sección **El problema de la desertificación** en el capítulo de **Suelos**).

OTRAS AMENAZAS A LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

INCENDIOS FORESTALES

Además de la deforestación y la fragmentación, los ecosistemas también son modificados por otros factores naturales, como son los incendios, sequías, especies invasoras, plagas y enfermedades forestales y los eventos climáticos extremos o atípicos (Dale *et al.*, 2001). Bajo condiciones naturales, frecuentemente los ecosistemas son capaces de amortiguar los impactos y, después de un tiempo, volver a un estado similar al que se encontraban antes de la perturbación; sin embargo, también es posible que estos factores naturales actúen de forma sinérgica con perturbaciones asociadas a las actividades humanas, provocando daños severos a la estructura y algunas funciones del ecosistema.

Los incendios forestales se consideran una condición que ayuda a producir cambios en la estructura y dinámica de la comunidad vegetal (p. ej., abriendo claros, cambiando la composición del suelo, liberando nutrientes, fomentando la germinación de semillas, entre otros). A pesar de que los incendios son un fenómeno que ocurren de forma natural, sobre todo en los bosques templados y algunos matorrales (Matthews *et al.*, 2000; SCBD, 2001c), en la actualidad y debido a las actividades humanas, los patrones naturales de ocurrencia de los incendios se han modificado. En los últimos años se ha observado que muchos de los incendios forestales ocurren en zonas en las que históricamente no se habían presentado, mientras que en aquellos lugares con ocurrencia de incendios periódicos, éstos han disminuido (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003).

Los efectos de los incendios sobre los ecosistemas dependen de su intensidad y frecuencia. El efecto más importante es la remoción de la biomasa vegetal en pie y de los renuevos de las poblaciones vegetales. Dependiendo de la extensión y la magnitud de la conflagración, las especies más dañadas son las arbóreas, lo cual retrasa o interrumpe la regeneración natural, además de que propicia la invasión de especies oportunistas, de plagas y enfermedades forestales (Matthews *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2003). En el caso de la fauna, su efecto directo puede ser la muerte (sobre todo en los organismos de poca movilidad), y entre los efectos indirectos se puede mencionar la pérdida y modificación del hábitat, así como la escasez de alimento (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003; Haltenhoff, 2005). La afectación a la fauna puede producir alteraciones en las redes tróficas y en la estabilidad de los ecosistemas, incluso si los incendios persisten en frecuencia pueden alterar o reducir la biodiversidad y degradar o eliminar los servicios ambientales (SCBD, 2001c; Castillo *et al.*, 2003). A nivel global, los incendios son un factor que libera importantes cantidades de carbono a la atmósfera, lo que contribuye al cambio climático.

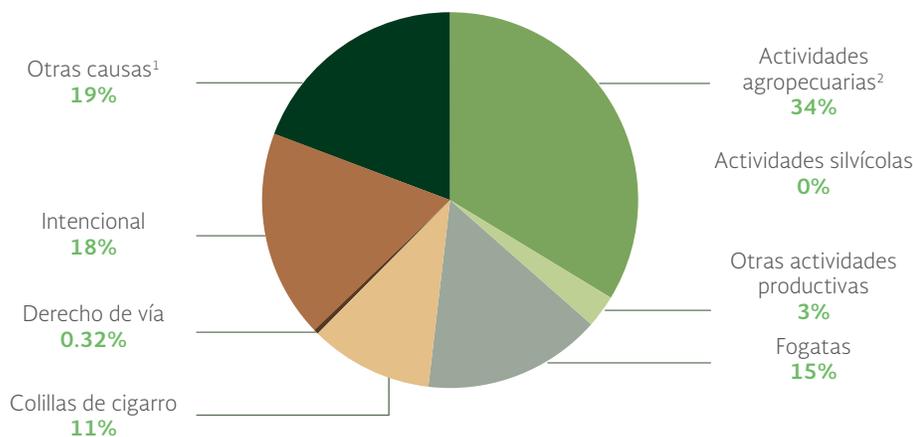
En el caso de los ecosistemas forestales sujetos a manejo o plantación, los efectos de los incendios pueden observarse en dos niveles: por un lado, en el deterioro y pérdida de los recursos maderables y, por otro, en el deterioro de la calidad del sitio donde se han establecido. El calor del fuego produce la muerte y deformación de los tejidos de los árboles, reduciendo la calidad de su madera (Castillo *et al.*, 2003). Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el fuego también puede eliminar por

completo los renuevos de las poblaciones de las especies plantadas, o bien el fuego puede iniciar procesos de sucesión en favor de especies más competitivas o en el peor de los casos hacer a las poblaciones susceptibles al ataque de plagas y enfermedades forestales (Matthews *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2003). El resultado final es la reducción o hasta la pérdida de la producción forestal, con consecuencias económicas y sociales, sobre todo para las sociedades locales que dependen de su explotación.

A nivel mundial, las principales causas que originan los incendios forestales son la tala sostenida de bosques, el empleo del fuego como práctica agropecuaria para la habilitación de terrenos cultivables o de pastoreo y las fogatas no controladas, entre otras causas. En México, en el 2014, las principales causas de los incendios forestales fueron las quemas no controladas durante las actividades agropecuarias (34%), seguidas por los incendios intencionales (18%) y las fogatas no controladas (15%; Figura 2.16).

En México, el número de incendios ocurridos y la superficie siniestrada se han mantenido sin una tendencia clara a lo largo de los últimos veinte años (Figura 2.17). Entre 1991 y 2015, el promedio anual de incendios fue de 8 024 eventos, con una superficie siniestrada promedio de cerca de 262 mil hectáreas. En ese periodo, algunos años destacaron por la frecuencia e intensidad de los incendios, fue el caso de los años 1998 y 2011. En estos años, se registraron 14 445 y 12 113 incendios, respectivamente, con una superficie total afectada de entre 850 mil y 936 mil hectáreas, respectivamente. Esta superficie fue de más de tres veces el promedio anual siniestrado entre 1991 y 2015.

Figura 2.16 | Causas de los incendios forestales en México, 2014



Notas:

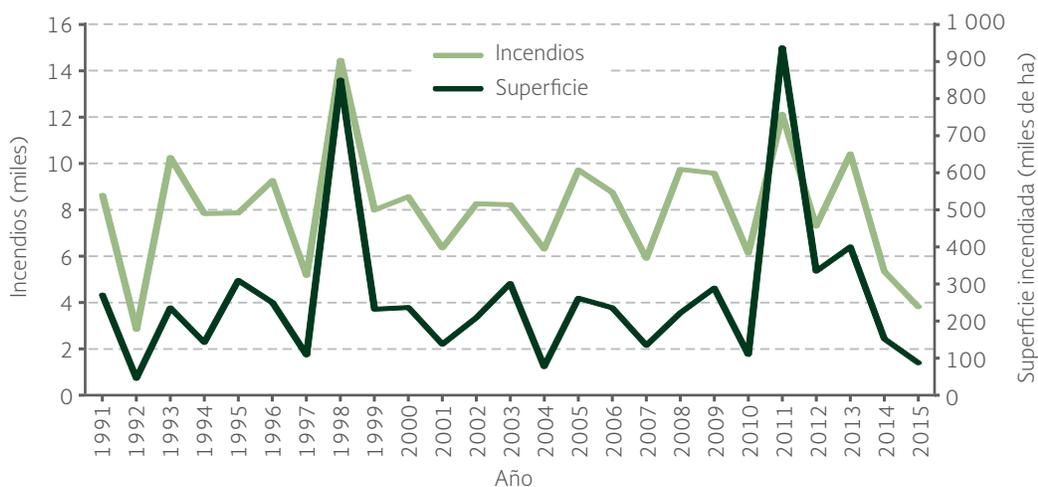
¹ Otras causas incluye: descargas eléctricas, cultivos ilícitos, quema de basureros, cazadores furtivos, entre otras.

² La categoría de actividades agropecuarias incluye: quema de pastos, roza, tumba y quema.

Fuente:

Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015.

Figura 2.17 | Incendios forestales y superficie afectada en México, 1991 - 2015¹



Nota:

¹ Los datos de 2015 son hasta el mes de agosto.

Fuentes:

Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Agosto de 2015.

Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997, 1998, 1999*. 1a. edición. Semarnap. México, 1998-2000.

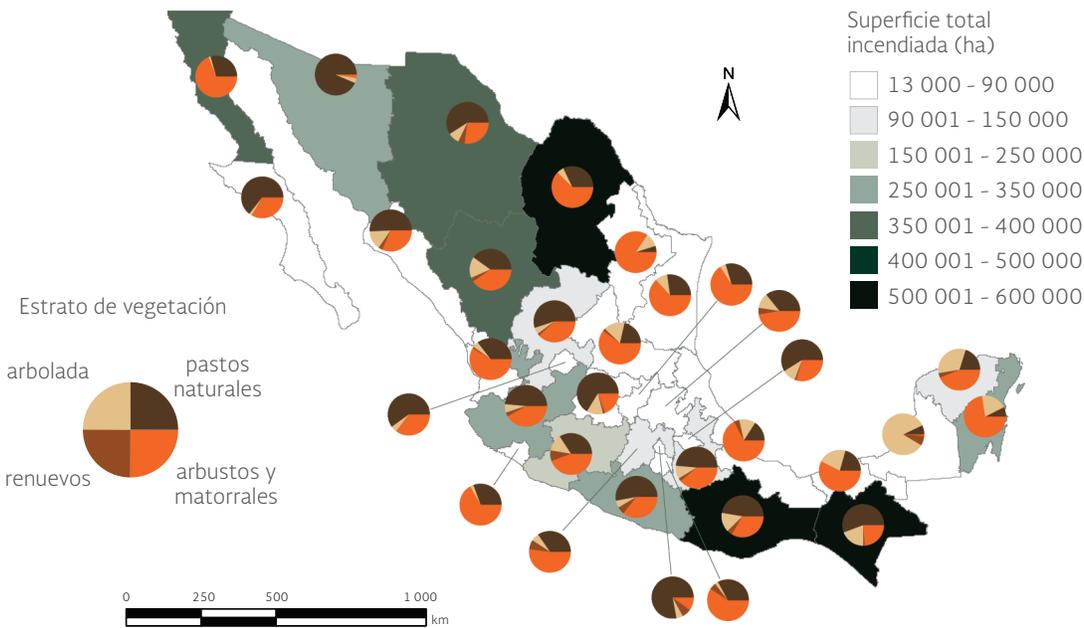
A nivel de entidad federativa, los estados que registraron las mayores superficies afectadas por incendios fueron Oaxaca (alrededor de 590 mil ha; 11.1% del total nacional del periodo 1991 a 2015), Coahuila (583 mil ha; 10.9%) y Chiapas (500 mil ha; 9.4%, Mapa 2.10; [Cuadro D3_RFORESTA05_02](#)). Con relación al estrato de la vegetación, el mayor porcentaje correspondió a los pastizales y el estrato arbustivo, seguidos por la vegetación arbolada. En el año 2015, los porcentajes para estos tipos de vegetación fueron 46, 44 y 11%, respectivamente (Figura 2.18; [Cuadro D3_RFORESTA05_03](#)).

PLAGAS Y ENFERMEDADES FORESTALES

Las plagas, al igual que los incendios forestales, son un fenómeno natural que ayuda a controlar la densidad y la distribución espacial de las poblaciones y son consideradas una de las principales causas de disturbio en los bosques templados. En México se tiene registro de alrededor de 70 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 1990-2014, el promedio de la superficie afectada al año por plagas y enfermedades forestales fue de 50 483 hectáreas. De esta superficie, la mayor parte correspondió a los descortezadores (39%), seguidos por los muérdagos (32%), defoliadores (19%) y barrenadores (6%; Figura 2.19). En este periodo, los estados con mayor superficie promedio afectada por enfermedades forestales fueron Chihuahua (5 235 ha anuales), Durango (4 991 ha), Oaxaca (4 586 ha), Nuevo León (3 208 ha), Jalisco (3 028 ha) y Aguascalientes (2 771 ha; Mapa 2.11).

Mapa 2.10 | Superficie estatal incendiada y por estrato de vegetación, 1998 - 2015^{1,2}



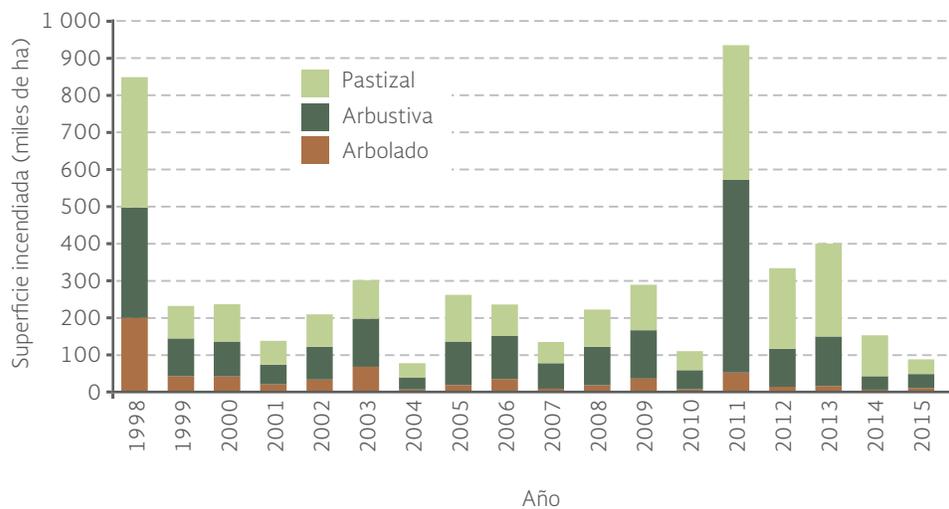
Notas:

¹ Las gráficas circulares muestran la contribución del estrato de vegetación afectado con respecto a la superficie total incendiada en el periodo.
² Los datos del 2015 son al mes de agosto.

Fuentes:

Conafor, Semarnat. México. 2012.
 Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Agosto 2015.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1998, 1999*. Semarnap. México. 1999-2000.

Figura 2.18 | Superficie afectada por incendios forestales según estrato de vegetación, 1991 - 2015¹



Nota:

¹ Los datos de 2015 son hasta el mes de agosto.

Fuentes:

Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Agosto de 2015.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997, 1998, 1999*. 1a. edición. Semarnap. México, 1998-2000.

Tabla 2.4 | Principales plagas forestales de importancia económica y ecológica en México

Especie	Nombre común	Tipo de vegetación afectada
<i>Conophthorus edulis</i>	Barrenador de cono de pinos	Áreas de pino piñonero
<i>Conophthorus</i> sp.	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>	Defoliadores y chupadores	Bosque templado
<i>Arceuthobium globosum</i>	Muérdago enano	Bosque templado
<i>Arceuthobium</i> sp.	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</i> sp.	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</i> sp.	Descortezador	Bosque templado
<i>Diabrotica</i> spp.	Escarabajo defoliador de las hojas	Bosque templado
<i>Fusarium circinatum</i>	Cancro resinoso del pino	Bosque templado
<i>Hemiceras</i> sp.	Defoliadores y chupadores	Bosque templado
<i>Ips caligraphus</i>	Escarabajo descortezador	Bosque templado
<i>Ips cibricollis</i>	Escarabajo descortezador	Bosque templado
<i>Ips</i> spp.	Escarabajo descortezador	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>Pityophthorus</i> sp.	Barrenador de ramillas	Bosque templado
<i>Scolytus</i> sp.	Descortezador	Bosque templado
<i>Zadiprion falsus</i>	Mosca sierra mayor	Bosque templado

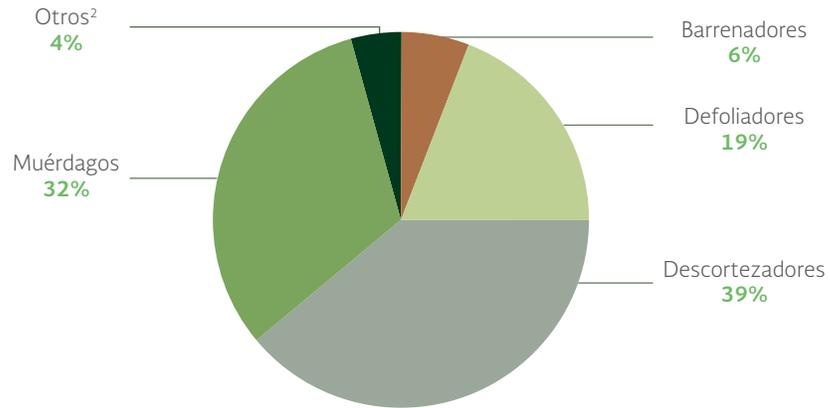
Tabla 2.4 | Principales plagas forestales de importancia económica y ecológica en México (conclusión)

<i>Especie</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Tipo de vegetación afectada</i>
<i>Dendroctonus rhizophagus</i>	Descortezador de la raíz del pino	Bosque templado en regeneración
<i>Antiteuchus piceus</i>	Chinche de los pinos	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Neodiprion autumnalis</i>	Mosca sierra	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron californicum</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron galeotti</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron juniperinum</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron minutifolium</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron sp.</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Phoradendron villosum</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Psittacanthus spp.</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Struthanthus quercicola</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Struthanthus sp.</i>	Muérdago verdadero	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Tillandsia recurvata</i>	Heno motita	Bosque de pino-encino, vegetación urbana
<i>Cladocolea sp.</i>	Muérdago	Bosque de pino-encino, 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>	Defoladores y chupadores	Selva baja y mediana
<i>Malacosoma sp.</i>	Defoliador del ahuejote	Vegetación urbana y plantaciones forestales
<i>Paranthrene dollii</i>	Barrenador del álamo	Vegetación urbana y plantaciones forestales
<i>Scolytus multistriatus</i>	Descortezador del olmo	Vegetación urbana y plantaciones forestales

Fuentes:

Gerencia de Sanidad Forestal. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015.
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Semarnat. México. 2012.

Figura 2.19 | Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales, 1990 - 2014¹



Notas:

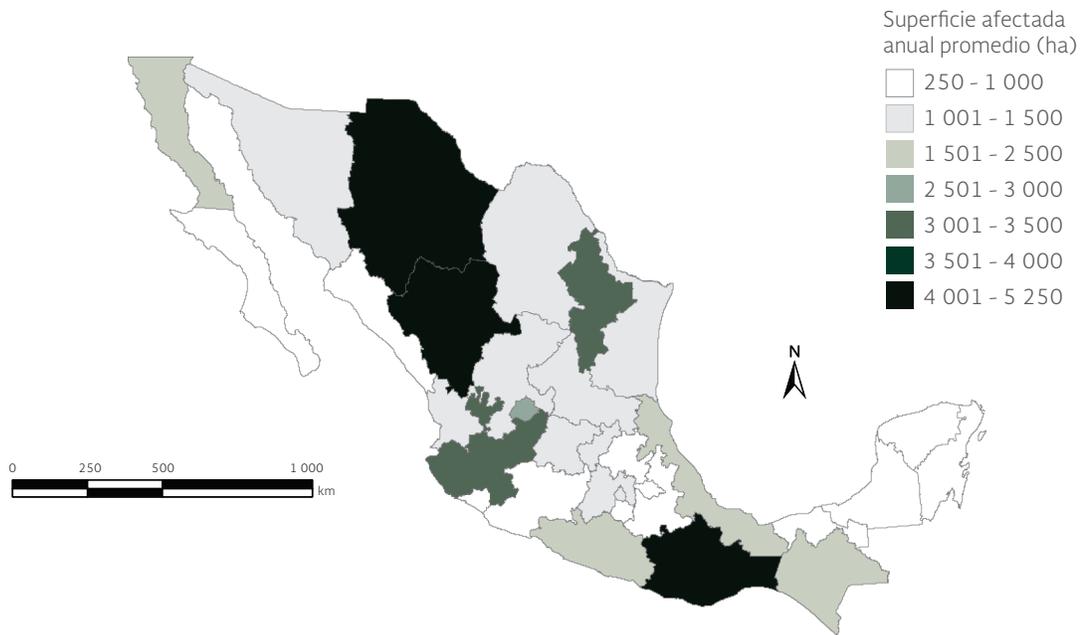
¹ Los datos anteriores a 2003 para enfermedades vasculares, de raíz y conos no se incluyen debido a que anteriormente a este año no se diagnosticaban.

² La categoría "Otros" se refiere a enfermedades forestales que, por ser diversas y de bajo impacto, se integran en una sola categoría; incluye: declinamiento del encino, royas y pudriciones de fuste y raíz, entre otros.

Fuente:

Gerencia de Sanidad Forestal. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015.

Mapa 2.11 | Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales por entidad federativa, 1900 - 2014¹



Nota:

¹ Los datos anteriores a 2003 para enfermedades vasculares, de raíz y conos no se incluyen debido a que anteriormente a este año no se diagnosticaban.

Fuente:

Gerencia de Sanidad Forestal. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015.

FACTORES RELACIONADOS AL CAMBIO DE USO DEL SUELO

Existen varias hipótesis que tratan de explicar los factores responsables del cambio de uso del suelo. La hipótesis más aceptada es la presión que ejerce el crecimiento de la población sobre la demanda de recursos locales para el desarrollo de viviendas, industria, vías de comunicación y ampliación de la frontera agropecuaria, entre otras. Aunque se reconoce la relación entre el crecimiento de la población y el cambio del uso del suelo, esta relación no es lineal y simple, pues en las últimas décadas se ha observado que las tasas de crecimiento poblacional y de expansión de la frontera agropecuaria o zonas urbanas no han crecido a la misma velocidad: la superficie agropecuaria se ha expandido más lentamente que el crecimiento de la población mundial. Este fenómeno podría explicarse por las formas nuevas de producción intensiva en espacios más reducidos y a la construcción de ciudades verticales en vez de horizontales.

POBLACIÓN

En general, cuando una mayor proporción de la población de un país se dedica a actividades primarias existe una relación positiva e intensa entre el tamaño de población y la superficie dedicada a actividades agropecuarias. En el caso de México, la relación fue más estrecha durante la década de los cincuenta, pero cambió cuando inició el plan de desarrollo estabilizador, el cual contemplaba dar mayor apoyo a las actividades industriales en detrimento de las actividades agropecuarias intensivas (ver el recuadro **La inercia del pasado** en la edición 2002 del **Informe**). Una de las consecuencias negativas del desarrollo estabilizador fue la explosión demográfica observada a principios de la década de los setenta y la migración de campesinos a las ciudades más importantes del país, lo cual originó cambios en la estructura de ocupación de la población y en los usos del suelo (p. ej., aparecieron varios asentamientos irregulares en la periferia de las ciudades). Aunque una mayor proporción de la población dejó de dedicarse a las actividades primarias y por tanto se observó una disminución de la cantidad de suelo empleada para la agricultura y ganadería, ha persistido (en menor medida en fechas recientes) la transformación de los usos del suelo forestal hacia actividades agropecuarias.

CRECIMIENTO DE LA FRONTERA AGROPECUARIA

La conversión de terrenos hacia usos agropecuarios es una de las causas más importantes de la deforestación en el mundo (FAO, 2015). De acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), en el periodo de 1980 a 2010, la superficie agrícola cultivada en México se mantuvo constante, entre 18 y 23 millones de hectáreas, con un promedio de poco más de 21 millones de hectáreas (**Cuadro D2_AGRIGAN03_01**). Sin embargo, esto no significa que durante estos años no se estuvieran abriendo nuevas tierras al cultivo.

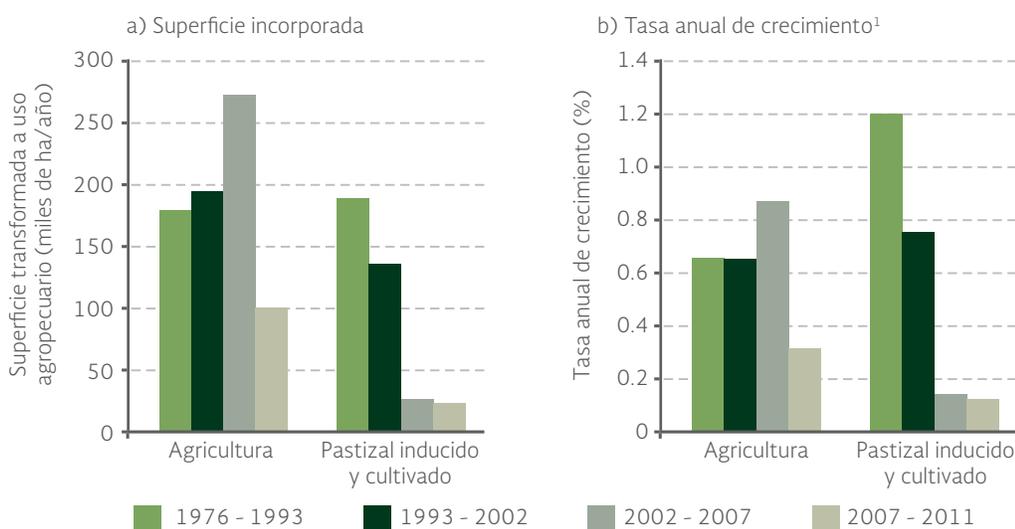
Según las cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI persiste la transformación de terrenos con vegetación natural a usos agropecuarios, aunque en los últimos años ha disminuido su ritmo. Entre 2002 y 2007 se transformaban alrededor de 272 mil hectáreas por año, mientras que para el periodo de 2007 a 2011 se observó una reducción a 101 mil hectáreas por año (Figura 2.20a). En el periodo de 2002 a 2011, de la vegetación natural transformada en tierras agrícolas, 34% provino

de selvas subhúmedas, 26% de matorrales xerófilos, 16% de bosques templados, 14% de pastizales naturales y 9% de selvas húmedas. También el crecimiento de las áreas destinadas a la ganadería (los pastizales cultivados o inducidos) se ha reducido: el promedio anual de transformación entre 2007 y 2011 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. Según los datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca, 2004 y 2015), casi 110 millones de hectáreas⁶, cerca del 55% de la superficie total de la república, tenía un uso pecuario. Considerando esta estimación y tomando en cuenta que para el año 2011 los pastizales inducidos y cultivados cubrían cerca de 19 millones de hectáreas (cerca de 10% del país), entonces las restantes 91 millones de hectáreas de superficie ganadera debían ubicarse en vegetación natural. Esto implicaría que 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 proporciones relativas mayores de superficies ganaderas se registran en Sonora (83% del estado), Coahuila (77%), San Luis Potosí (74%), Zacatecas (72%), Chihuahua (72%) y Nuevo León (71%). En contraste, los estados con menores coberturas ganaderas son Tlaxcala (7%), Distrito Federal (11%) y Nayarit (14%; Mapa 2.12 y

Figura 2.20 | Superficie incorporada al uso agropecuario y tasa de crecimiento anuales en México, 1976 - 2011



Nota:

¹ Se calculó con la fórmula $r = (((s_2/s_1)^{(1/t)} - 1) \times 100) - 100$, 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. INEGI. México. 2003.

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

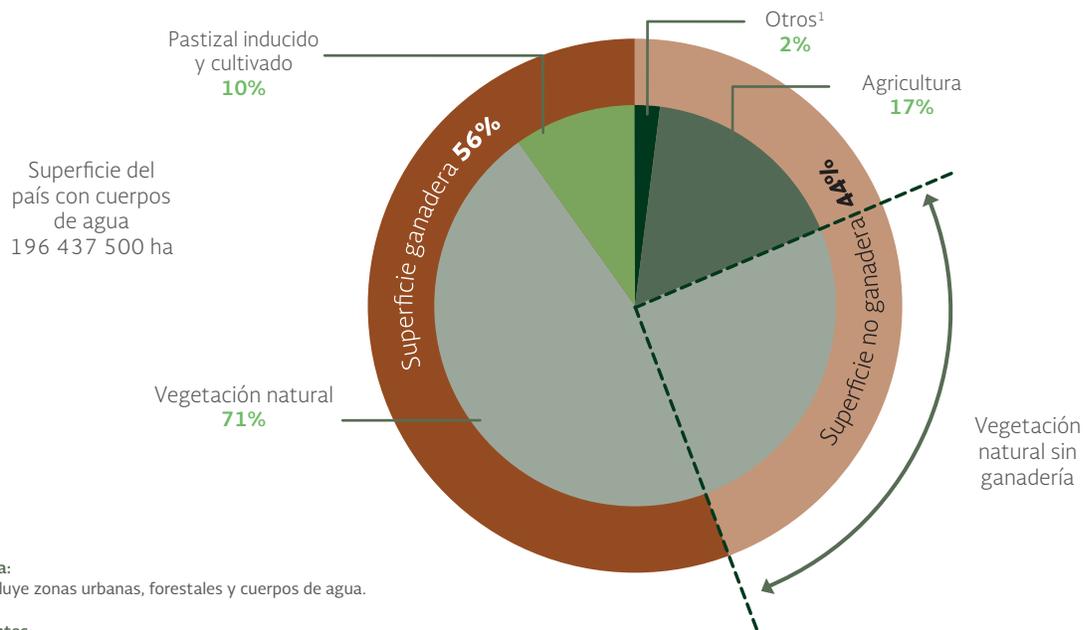
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie III (2002)*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). INEGI. México. 2005.

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

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

⁶ Los datos citados corresponden al año 1994, la información fue revisada en 2009 por Cotecoca, la cual determinó que no era necesaria su actualización.

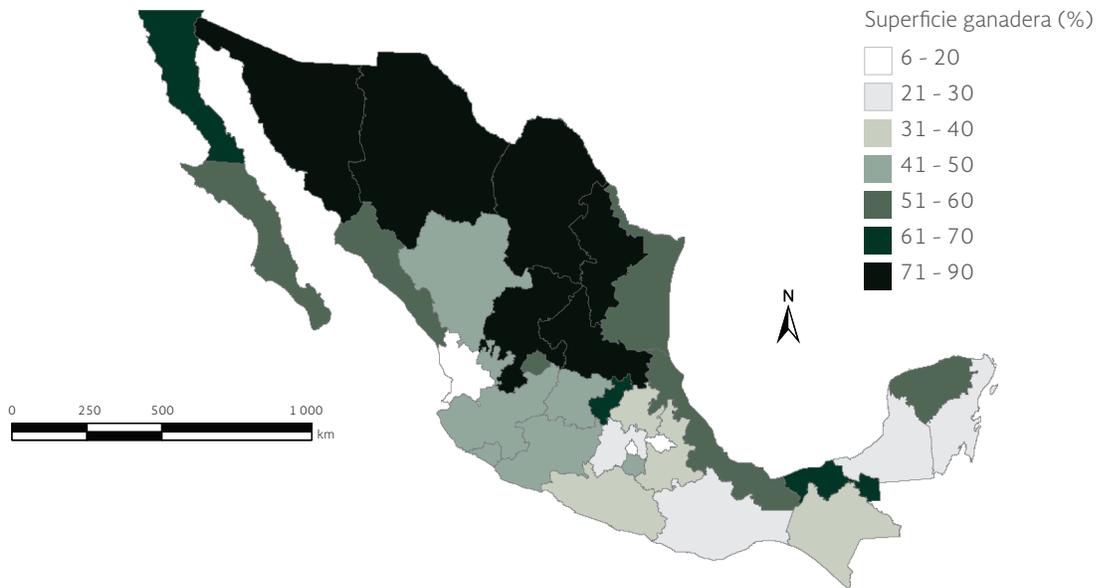
Figura 2.21 | Superficie ganadera y usos del suelo en México, 2011



Nota:
¹ Incluye zonas urbanas, forestales y cuerpos de agua.

Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Cotecoca, Sagarpa. *Monografías de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1981*. Cotecoca, Sagarpa. México. 2004.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2013.

Mapa 2.12 | Superficie ganadera por entidad federativa, 2012¹



Nota:
¹ La superficie ganadera es el área ocupada por agostaderos y praderas, dedicada principalmente a la cría de ganado en condiciones de pastoreo. Los datos del año 1999 fueron estimados en ese año por la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca), con base en las Monografías de Coeficientes de Agostadero correspondientes al periodo 1972-1981; los datos del año 2012 se basan en información de las Delegaciones Federales de la Sagarpa. Debido a la naturaleza de la información, no se modifica periódicamente, continuando su vigencia.

Fuentes:
 Cotecoca, Sagarpa. *Coeficientes de agostadero*. Cotecoca, Sagarpa. México. Junio 1999.
 Cotecoca, Sagarpa. *Coeficientes de agostadero, abril 2015*. Cotecoca, Sagarpa. México. 2015.
 Sagarpa. *Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), 1980-2014*. Sagarpa. México. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

Mapa 2.13; Cuadro D2_AGRIGAN04_02). Al respecto, 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 2014 se registraron 3.7 millones de cabezas menos (63.9 millones). El descenso neto más marcado, en el periodo; se observó en el ganado bovino, que disminuyó de 34.6 millones de cabezas a 30.5 millones (12%); por su parte, el número de ovejas aumentó 32% con respecto a 1980 y el de cabras se redujo 10% (Figura 2.22).

Mapa 2.13 | Grado de sobrepastoreo por entidad federativa, 2014¹



Notas:

- ¹ Por la naturaleza de la información, esta no se modifica periódicamente. Ha sido revisada por Cotecoca y confirma su vigencia. Abril de 2015.
- ² La superficie con sobrepastoreo fue calculada por la Dirección General de Estadística e Información Ambiental de Semarnat, a partir de la información cartográfica de Semarnat y Sagarpa.
- ³ El grado de sobrepastoreo se estimó con base a datos de coeficientes de agostadero ponderado por tipo de vegetación y número de cabezas de ganado (bovino para producción de carne, caprino y ovino) libre y semiestabulado.
- ⁴ El coeficiente de agostadero ponderado es el coeficiente representativo para la entidad. Se calcula dividiendo la superficie total de los diferentes sitios de tipo de vegetación y productividad forrajera que en ella existen, entre el total de su capacidad de carga animal.

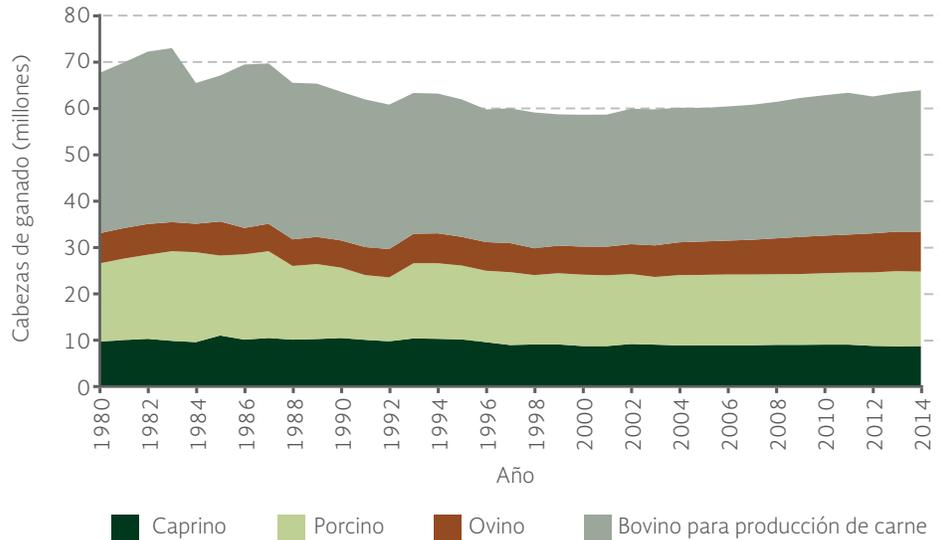
Fuentes:

- Cotecoca, Sagarpa. Elaborado a partir de: Cotecosa, SARH. Memorias de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1986. México. 2004.
- Cotecoca, Sagarpa. *Coeficientes de agostadero, abril 2015*. Cotecoca, Sagarpa. México. 2015.
- Sagarpa. *Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), 1980-2014*. Sagarpa. México. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

URBANIZACIÓN

Aunque a escala nacional la superficie urbana es proporcionalmente pequeña, se trata del uso del suelo que más rápido ha crecido en algunas regiones del país. Para el año 2011, la superficie urbana y de asentamientos humanos ya era de 1.85 millones de hectáreas, es decir, el 0.94% de la superficie nacional. Las zonas urbanas se asientan en tierras planas, algunas de las cuales fueron zonas agrícolas abandonadas al dejar de ser productivas. El impacto directo de las ciudades se

Figura 2.22 | Población de ganado bovino, caprino, ovino y porcino en México, 1980 - 2014



Fuente: Sagarpa. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Sagarpa. México. 1980-2015.

diluye a nivel local (áreas conurbadas); sin embargo, de forma indirecta, afectan los usos del suelo de grandes extensiones de tierra, cuyos recursos son explotados para satisfacer las necesidades de alimentos, madera, disposición de residuos de las ciudades, entre otros (ver el capítulo de **Población y medio ambiente**).

USO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

La vegetación natural del país, su diversidad biológica y sus servicios ambientales son una fuente importante de recursos. En la actualidad la mayor parte de los alimentos consumidos por los humanos proviene de plantas y animales domesticados, sin embargo, esto no significa que su dependencia de la vida silvestre sea poca o nula, por ejemplo, una proporción importante de la población, en particular en situación de pobreza y que habita en zonas rurales, sigue utilizando leña como fuente de combustible. En países en desarrollo, miles de sus habitantes obtienen gran parte de su dieta a partir de la pesca o la caza. En estos países es común que el humano no intervenga en la producción o crianza de los organismos que consume, sino que los obtenga del medio silvestre.

Esta sección se enfocará en la explotación de los recursos naturales de las zonas forestales, es decir, de los recursos maderables y no maderables de bosques y selvas. El uso de la vida silvestre se analiza en otra sección de este capítulo y en el capítulo de **Biodiversidad**.

Los bosques y selvas brindan diversos servicios ambientales a la sociedad: por un lado se encuentran los productos maderables, que se refieren a la madera para la producción de escuadría

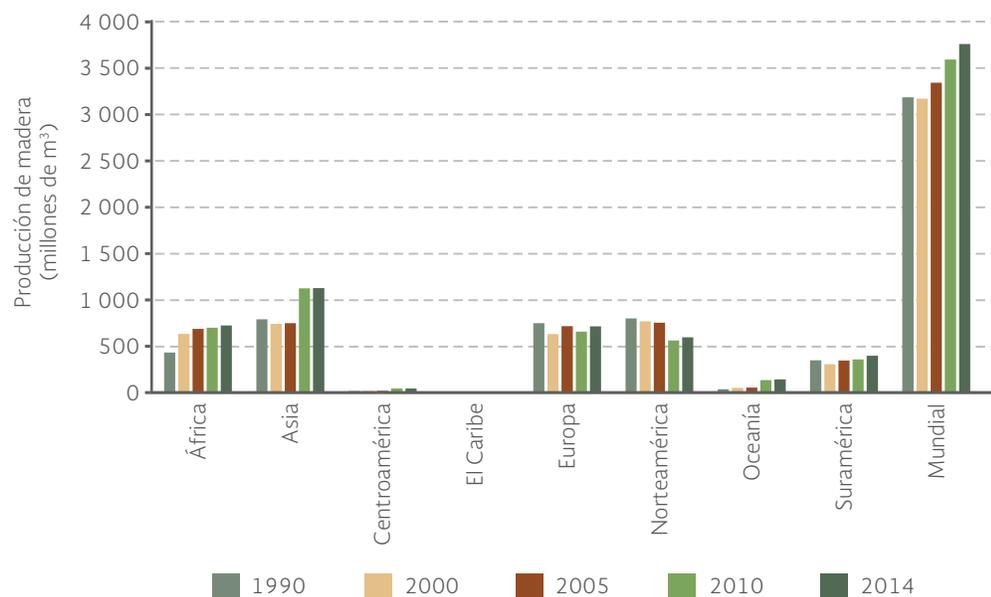
(tablas, tablonés, vigas y materiales de empaque), papel, chapa, triplay y leña para la generación de energía; por otro lado están los productos no maderables, que incluyen a la tierra de monte, resinas, fibras, ceras, frutos y plantas vivas, ente otros (SCBD, 2001a y b).

RECURSOS FORESTALES MADERABLES

Entre 1990 y 2014, la producción mundial de madera se mantuvo relativamente constante, con volúmenes mayores a los 3 mil millones de metros cúbicos por año, esto incluye la madera en rollo para uso industrial y la leña que se usa para generar energía (Figura 2.23). En 2014 las regiones más productivas en madera fueron Asia (30% de la producción mundial), África (19.3%), Europa (19%) y Norteamérica (16%); en contraste, las regiones con menores volúmenes producidos fueron Centroamérica (1.2% del total) y el Caribe (0.2%). A pesar de la estabilidad en los valores de la producción mundial en ese periodo, algunas regiones mostraron tasas de crecimiento negativas en su producción maderable, es el caso de los países de el Caribe y Europa (-0.2% cada uno) y Norteamérica (-1.2%).

En 2014, los mayores productores de madera en rollo fueron Estados Unidos (19% de la producción global), la Federación de Rusia (10%), China (9%), Canadá y Brasil (cada uno con 8%, Figura 2.24). Los países mencionados, en conjunto, contabilizaron el 53% de la producción mundial de madera de ese año, mientras que México contribuyó con sólo el 0.28%.

Figura 2.23 | Producción mundial de madera¹ según región, 1990 - 2014



Nota:

¹ Incluye madera industrial en rollo y leña.

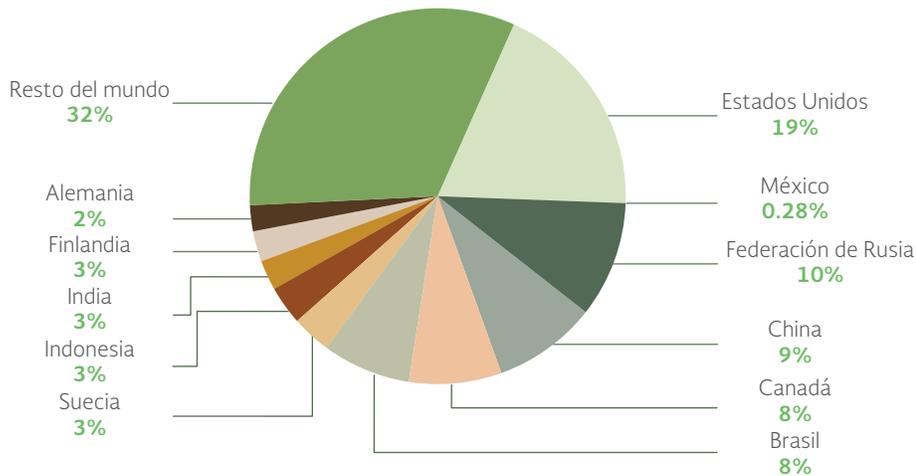
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

FAO. *Forest Resources Assessment 2015*. FAO. Roma. 2015.

FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Figura 2.24 | Contribución a la producción forestal mundial, según país, 2014



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

FAO. *Forest Resources Assessment 2015*. FAO. Roma. 2015.

FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Las existencias maderables de un país dependen principalmente de la extensión en superficie de sus bosques y selvas, pero también es determinante la cantidad de madera que acumulan por unidad de superficie, lo cual está relacionado con las condiciones y recursos del lugar o la calidad del sitio⁷ (p. ej., los bosques templados en general acumulan más madera por unidad de área) y del manejo que se da a la vegetación. Los países con las mayores existencias de madera son la Federación de Rusia, Estados Unidos, Brasil e Indonesia. México se encuentra entre los países que tienen menores existencias por hectárea si se le compara con los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y con algunos países de América Latina (Figura 2.25).

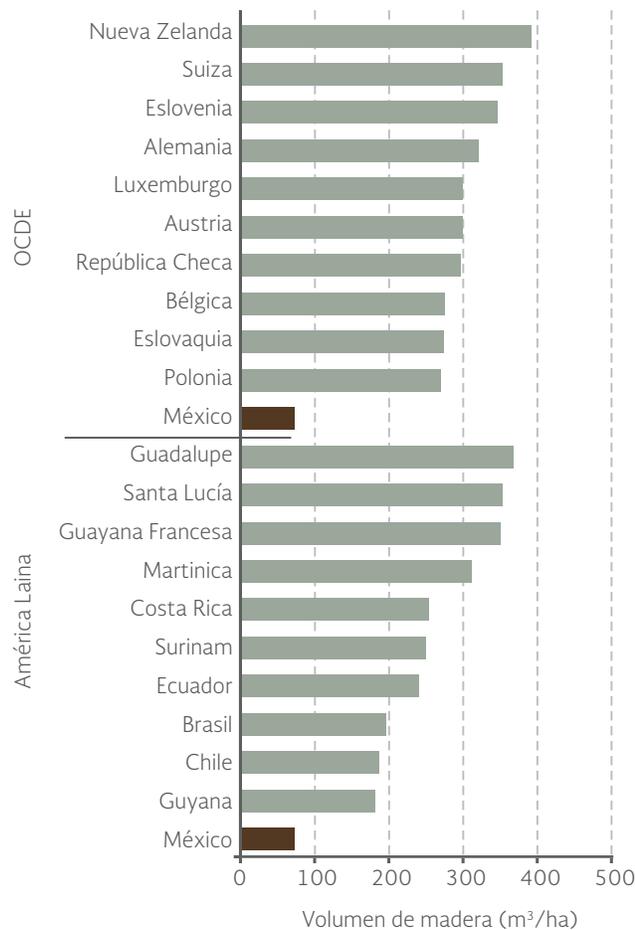
EXISTENCIAS MADERABLES NACIONALES

El gobierno de México ha realizado, a la fecha, cuatro inventarios forestales nacionales. Estos inventarios, sin embargo, no son comparables en sus resultados debido a los métodos empleados, por lo que no es posible hacer evaluaciones de los cambios temporales en las existencias de recursos maderables existentes en el país. El primer inventario se realizó entre los años 1961 a 1985 y utilizó fotografías aéreas y datos obtenidos de muestreos de campo intensivos. El segundo, el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión de 1991, fue el primero en contener información a escala nacional 1: 1 000 000; para su elaboración se emplearon imágenes de satélite de resolución alta y baja, así como cartografía temática existente. El tercer inventario, conocido como el Inventario Nacional

⁷ En las ciencias forestales, el término "calidad de sitio" se utiliza para denotar la productividad relativa de un sitio para una especie forestal determinada, lo cual permite realizar clasificaciones de la calidad del terreno según su potencial de producción (FAO, 2012).

Forestal Periódico, publicado en 1994, utilizó imágenes de satélite de mediana resolución e información de datos levantados en parcelas de muestreo distribuidas sistemáticamente; con ellos se generaron mapas del territorio en escala 1: 250 000 en los cuales se zonificaron los terrenos forestales según su aptitud y estructura. Para el último de los inventarios, el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2009, se realizaron muestreos de campo directos sobre un arreglo simétrico. Entre octubre de 2004 y noviembre de 2007 se establecieron más de 20 mil conglomerados distribuidos a lo largo y ancho del país, cada uno de ellos integrado por cuatro sitios (circulars o rectangulares de 400 m²); esto quiere decir que se establecieron más de 80 mil sitios ubicados en todos los tipos de vegetación de México. Los datos obtenidos del muestreo incluyen información de altura de los estratos, diámetro de los troncos, identidad de las especies, características del suelo, entre un total de 112 variables registradas. El análisis de estas variables ha hecho posible tener estimaciones confiables del volumen de madera por comunidad y especie, la diversidad alfa y beta, aproximaciones a curvas de crecimiento y rendimiento por ecosistemas y formación vegetal muestreada, entre otras.

Figura 2.25 | México en el mundo: existencias de madera por hectárea en bosques, 2015



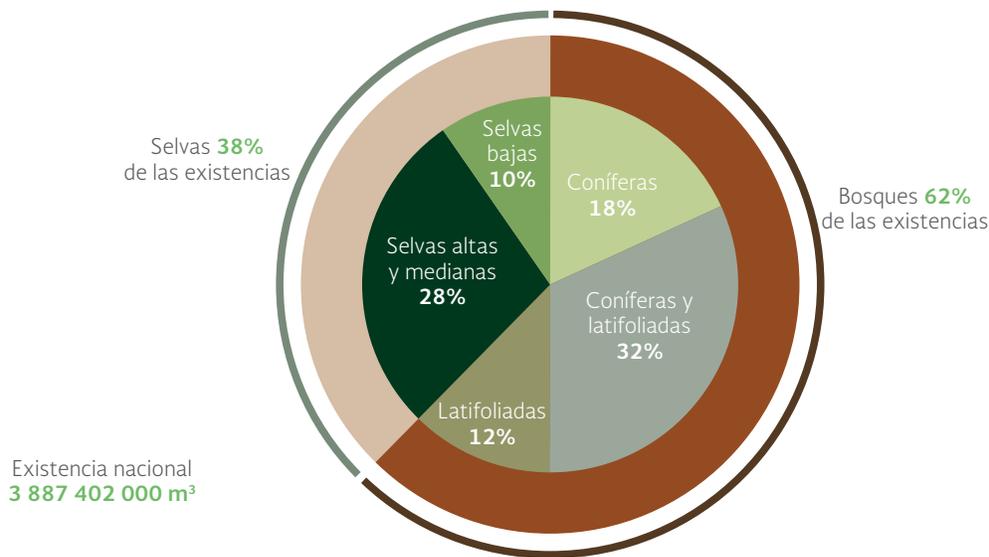
Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 FAO. *Forest Resources Assessment 2015*. FAO, Roma, 2015.
 FAO. FAOSTAT, 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

De acuerdo al INFyS, entre 2004 y 2007 el país contaba con alrededor de 3 887 millones de metros cúbicos de madera en rollo en pie en las selvas y bosques, en una superficie de cerca de 63.4 millones de hectáreas. Del total de madera, el mayor porcentaje se concentraba en los bosques⁸ (62% del total, alrededor de 2 424 millones de m³), el restante en las selvas (38%, equivale a 1 463 millones de m³; Figura 2.26).

Los depósitos más importantes de madera en rollo en el país se encuentran en los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas (asociaciones de pino-encino o encino-pino), con alrededor del 32% del volumen total nacional (1 240 millones de metros cúbicos; Figura 2.26). Les siguen las selvas altas y medianas (28%, poco más de 1 000 millones de m³), los bosques de coníferas (18%, alrededor de 707 millones de m³) y los bosques de latifoliadas (12%, 477 millones de m³).

Las áreas boscosas con mayores existencias de volumen de madera se ubican sobre la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, con valores superiores a los 100 metros cúbicos por hectárea (Mapa 2.14). Los bosques de Oaxaca, Chiapas y Guerrero también cuentan con grandes existencias. Por su parte, las selvas con los mayores volúmenes maderables se localizan en el sureste en los estados de Chiapas, Quintana Roo y Campeche. En general, la mayor parte de la superficie forestal corresponde a bosques y selvas con volúmenes promedio de madera de 60 metros cúbicos por hectárea (Mapa 2.14).

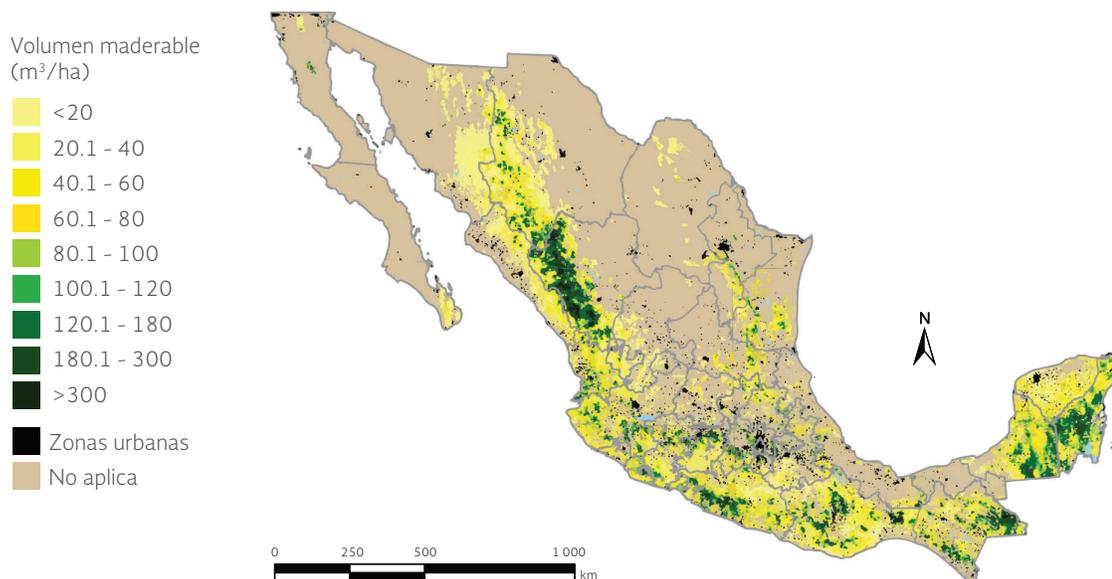
Figura 2.26 | Existencias maderables en bosques y selvas en México, 2004 - 2009



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

⁸ En el Inventario la categoría bosques incluye a las masas forestales compuestas por coníferas, latifoliadas y la mezcla de ambas. Esta categoría agrupa a los tipos de vegetación que en este informe se clasifica como bosques templados y bosque de galería. En cuanto a selvas, el Inventario no considera al matorral subtropical, al cual este informe ubica dentro de la categoría selvas.

Mapa 2.14 | Volumen maderable en México, 2004 - 2009



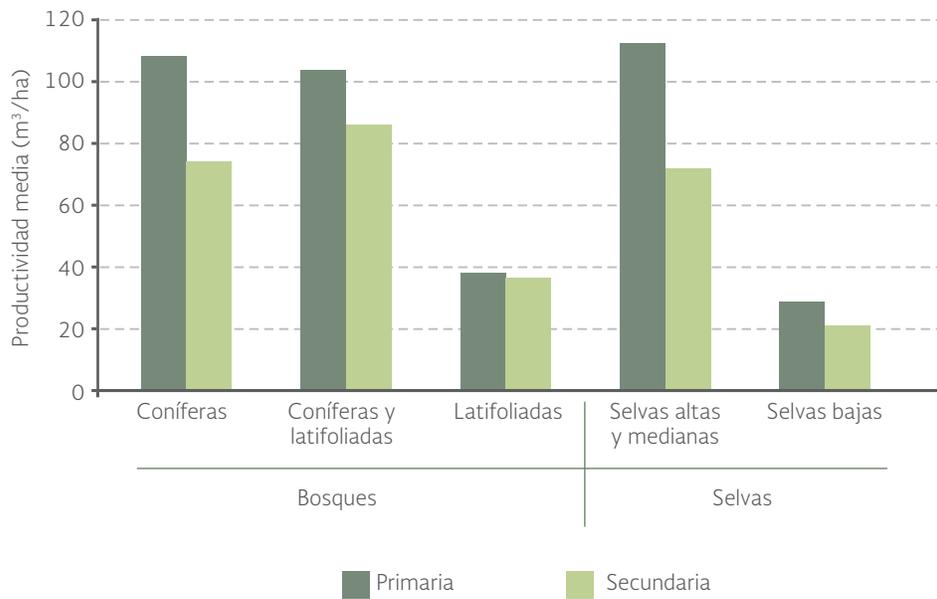
Fuente:
Conafor. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009*. Conafor. México. 2011.

La mayor proporción de las existencias maderables del país se encuentra en la vegetación primaria: cerca del 60% del volumen total nacional (alrededor de 2 417 millones de m³). La formación con mayor productividad media son las selvas altas y medianas primarias (en promedio 112 m³/ha, esto es, 36% más que las selvas con vegetación secundaria), seguidas por los bosques de coníferas (108 m³/ha en comparación a los 74 m³/ha en su condición secundaria) y los de coníferas-latifoliadas (104 contra 86 m³/ha; Figura 2.27).

El crecimiento de los árboles y de sus renuevos a lo largo de un año es una variable importante para calcular el incremento en el volumen de madera que puede aprovecharse de manera sostenible en una zona particular. De acuerdo a los datos del INFyS, el volumen de madera que se acumula en los bosques de coníferas asciende a 2.29 metros cúbicos por hectárea por año; le siguen los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas que incrementan 1.88 metros cúbicos por hectárea. Tomando en cuenta el incremento corriente anual de los diferentes tipos de bosques del país, se ha estimado que cada año los bosques nacionales aumentan sus existencias en 15.5 millones de metros cúbicos. En el caso de las selvas, es difícil obtener estimaciones del incremento en madera pues la mayoría de sus especies no tienen patrones conspicuos que revelen su edad (p. ej., anillos de crecimiento) que es una característica importante para evaluar la tasa anual de crecimiento de los individuos. El INFyS 2004-2009 sólo midió el incremento medio anual en volumen de madera en coníferas, dejando de lado a las especies que habitan en selvas.

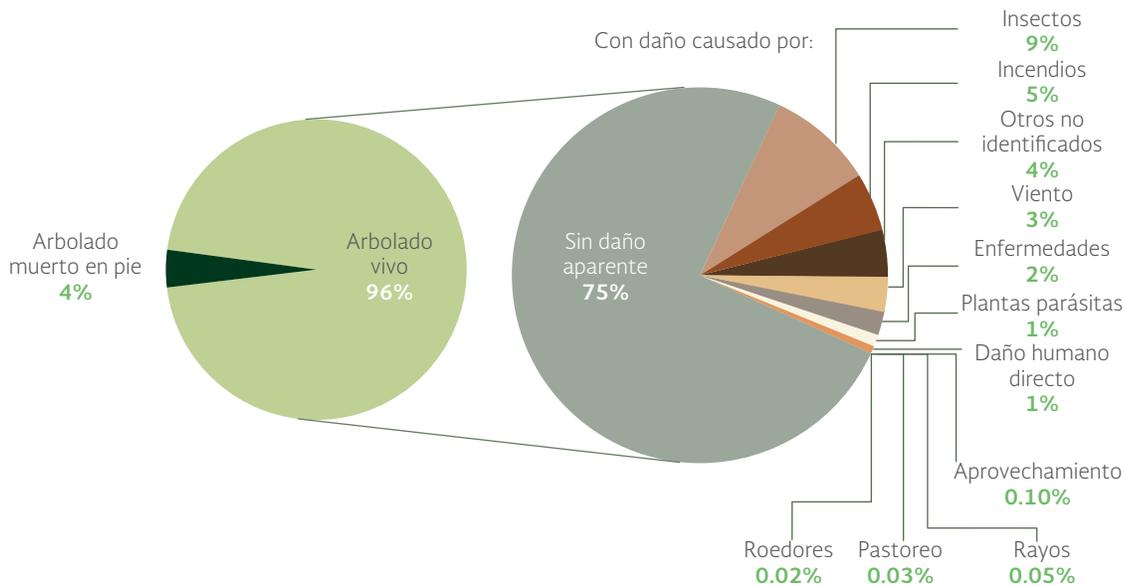
El INFyS también evaluó la salud de los bosques y selvas nacionales a través de la condición de los individuos, así como de los impactos ambientales y de los agentes de perturbación que las deterioran. De acuerdo a sus resultados, el 96% de los individuos medidos correspondió a árboles vivos y el 4% a muertos en pie (Figura 2.28). Se pudo determinar, con cierto grado de confianza,

Figura 2.27 | Productividad en bosques y selvas en México según condición de la vegetación, 2004 - 2009



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

Figura 2.28 | Salud del arbolado nacional, 2004 - 2009



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

que los insectos, los incendios, el viento y las enfermedades son los principales agentes que causan la mortalidad de los árboles: el 24% de los árboles examinados mostró signos de daño por algún agente: insectos (9%), incendios (5%), viento (3%), enfermedades (2%) y plantas parásitas (1%), entre otros agentes; mientras que el 75% no mostró signos de daño (Figura 2.28).

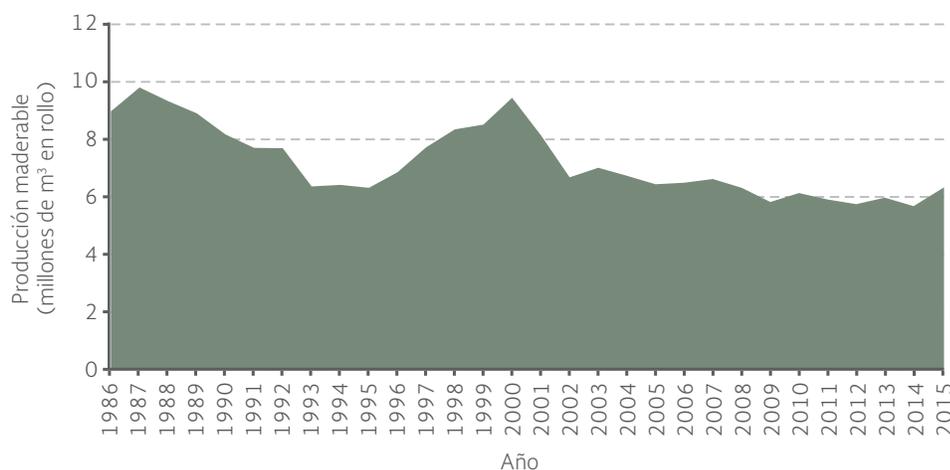
PRODUCCIÓN FORESTAL MADERABLE

Entre 1986 y 2015, la producción maderable anual mostró una tendencia decreciente, promediando 7.2 millones de metros cúbicos en rollo (Figura 2.29). El promedio de la producción durante el periodo de 2000 a 2015 fue 17% menor al promedio registrado entre los años 1986 y 1999.

La producción nacional está apoyada sobre todo en la madera existente en los bosques templados de coníferas (pinos, oyameles y cedros) y en los bosques de latifoliadas (encinos y otras especies). Entre 1990 y 2014 estos bosques contabilizaron cerca del 84% de la producción nacional, seguidos por las maderas tropicales comunes (4.7%) y las preciosas (0.5%, Figura 2.30; Cuadro D3_RFORESTA04_02). Las principales especies aprovechadas en ese periodo fueron el pino (138 millones de m³ en rollo, 80% de la producción del periodo) y el encino (15 millones de m³, 8.8%; Figura 2.30).

Los estados que más contribuyeron a la producción forestal maderable en el periodo 1990 a 2014 fueron Durango (1.94 millones de m³, 28% de la producción total del periodo), Chihuahua (1.4 millones, 20%) y Michoacán (914 mil, 13%; Mapa 2.15; Cuadro D3_RFORESTA04_01). Por el contrario, Baja California, Morelos y Colima fueron los estados que contribuyeron en menor proporción al volumen total nacional (0.03, 0.05 y 0.06%, respectivamente).

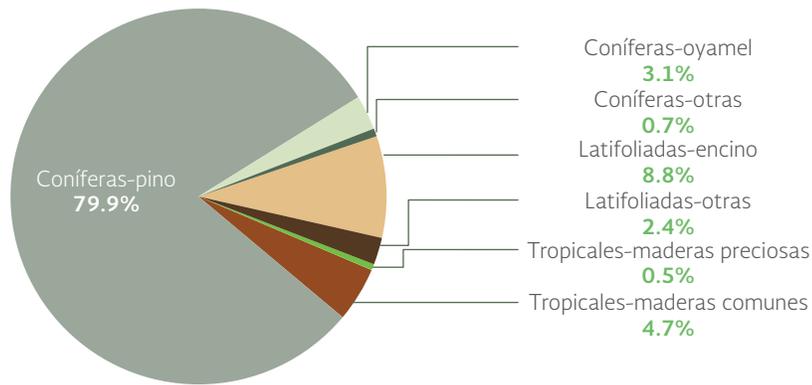
Figura 2.29 | Producción maderable en México, 1986 - 2015



Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007 - 2010.
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.
 SARH. *Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993*. SARH. México. 1994.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998*. Semarnap. México. 1996-1999.
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006*. Semarnap. México. 2000-2007.
 Semarnat. *Programa anual de trabajo 2016*. Semarnat. México. 2016.
 Semarnat. *Cuarto Informe de Labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

Figura 2.30 | Producción forestal maderable según especie en México, 1990 - 2014

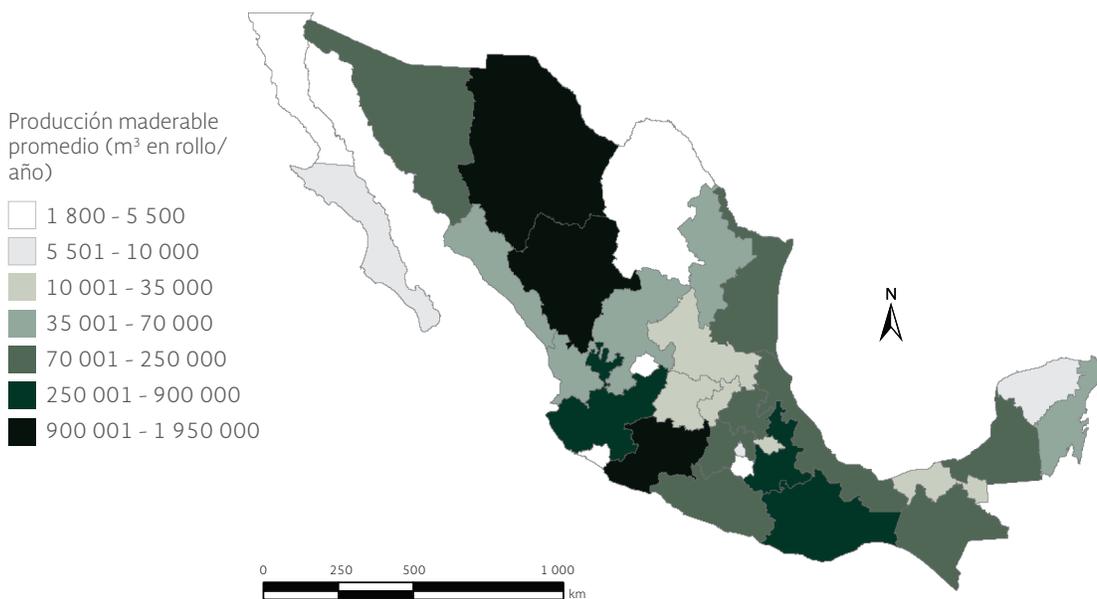


Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2007 - 2010.
 Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.
 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 1999-2013. México. 2014.

En México, el principal uso de la madera ha sido para la producción de escuadrías, como tablas, tablonés, vigas y material de empaque. El 70% del volumen total de madera extraída entre 1997 y 2014 se destinó a ese propósito (Figura 2.31; Cuadro D3_RFORESTA04_03); le siguen la extracción para la fabricación de celulosa (11.6% del volumen total del mismo periodo), carbón

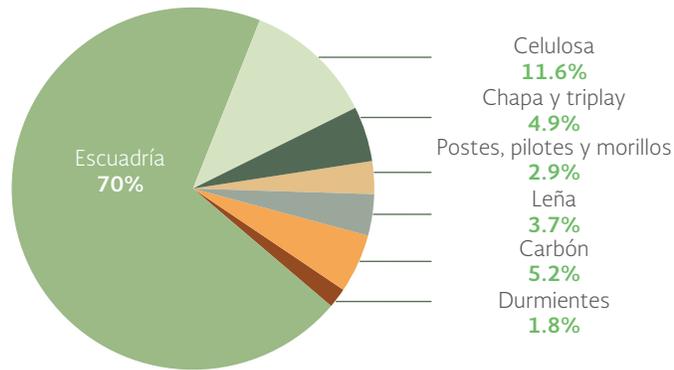
Mapa 2.15 | Producción maderable anual promedio por entidad federativa, 1990 - 2014



Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. SARH. México. 1994.
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. Semarnap. México. 1996-1999.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. Semarnat. México. 2000-2008.

Figura 2.31 | Usos principales de la madera en México, 1997 - 2014



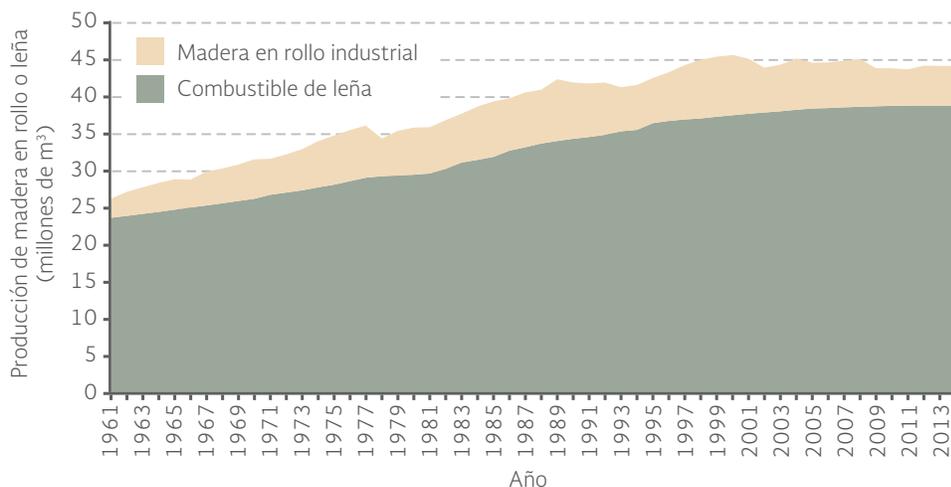
Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. SARH. México. 1994.
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. Semarnap. México. 1996-1999.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. Semarnat. México. 2000-2008.

(5.2%), así como chapa y triplay (4.9%). Es importante señalar que los datos de producción maderable no incluyen la “cosecha de leña” que ocurre dentro y a las orillas de las masas forestales, la cual es empleada por la población rural como combustible.

Entre 1997 y 2014 se empleó en promedio el 3.7% de la producción como leña y 5.2% como carbón (Figura 2.31), estas cifras indicarían que el consumo de las maderas como fuente de energía es bajo en México. Sin embargo, estas estimaciones son muy diferentes a las estimadas por la FAO, las cuales muestran que entre 1997 y 2014 se produjeron 38 millones de metros cúbicos anuales de madera para combustible, lo que equivaldría al 85% de la producción nacional maderable de ese periodo (Figura 2.32). Es probable que la discrepancia entre los datos nacionales y los presentados

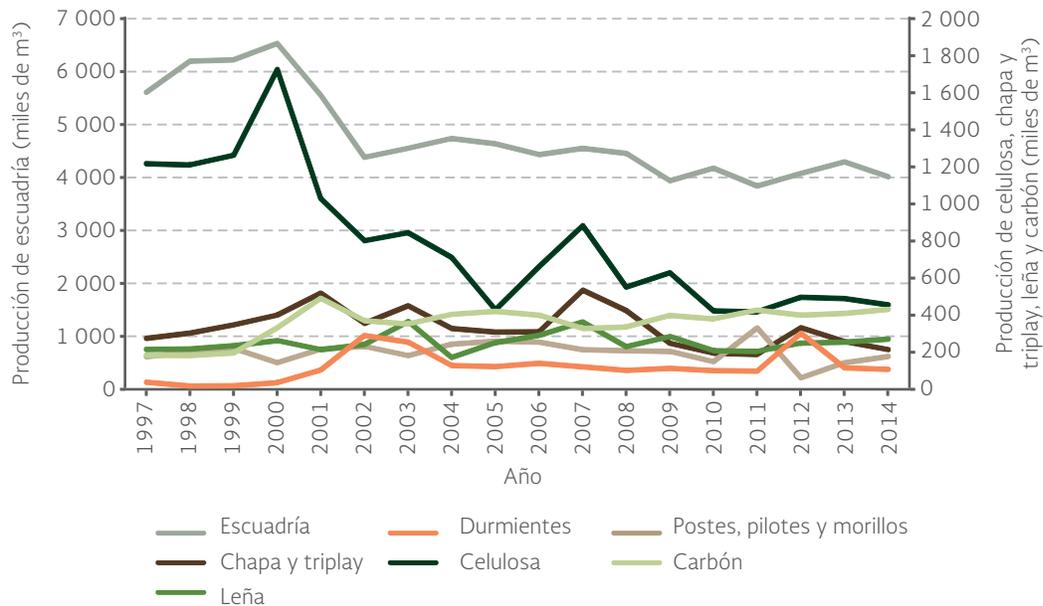
Figura 2.32 | Producción de madera según su empleo como leña o en la industria, 1961 - 2014



Fuente:

Elaboración propia con datos de:
 FAO. FAOSTAT. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/S>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Figura 2.33 | Producción maderable en México, según principales productos, 1997 - 2014



Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. SARH. México. 1994.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. Semarnat. México. 1996-1999.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. Semarnat. México. 2000-2008.

por la FAO se deba a que esta última hace estimaciones de la leña que se extrae en el país sin informar a las autoridades correspondientes. Este fenómeno ocurre, sobre todo, en zonas rurales donde la supervisión de las autoridades locales o de las instituciones encargadas no es constante.

Es de llamar la atención la caída de la extracción maderera nacional, pues varias instituciones públicas y privadas han invertido recursos económicos y científicos en mejorar las técnicas de explotación y manejo de bosques naturales y plantaciones forestales. Esta caída se ve reflejada en la disminución de la producción de escuadría y celulosa durante el periodo 1997 y 2014 (Figura 2.33). En el caso de la escuadría, el volumen de la producción de los últimos catorce años no ha excedido el 75% (excepto 2001, con 85%) de la producción máxima en el periodo (6.5 millones de m³ en rollo en el año 2000). En el mismo sentido, la producción de celulosa en 2014 representó el 26% (casi 455 mil m³ en rollo) de la producción del año 2000 (alrededor de 1.73 millones de m³ en rollo).

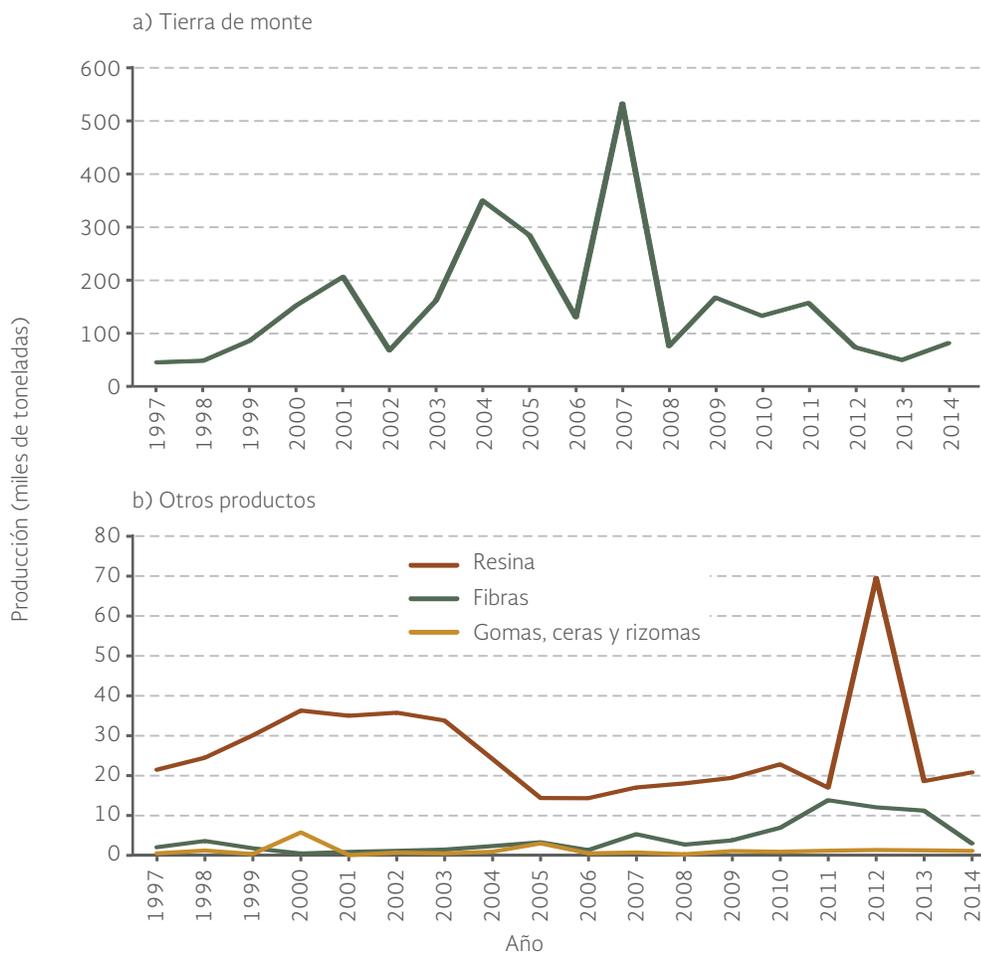
Para alcanzar un aprovechamiento de madera sostenible, el volumen de madera que se extrae debe ser menor a la renovación natural de los bosques, en caso contrario los bosques se degradan y forzosamente se debe recurrir a la siembra de plantas producidas en invernadero. Los datos del INFyS muestran que la tasa de renovación o incremento anual de las coníferas es 15.5 millones de metros cúbicos de madera en rollo, el cual es tres veces mayor a la producción registrada para este grupo de especies en 2012, según FAO (2015; Figura 2.32). Estas estimaciones sugieren que no se ha sobrepasado la capacidad de producción de los bosques de coníferas del país, sin embargo, tal como se mostró en el Mapa 2.14, la distribución de la producción de madera es heterogénea, por tanto su aprovechamiento podría haber llegado a sus límites en ciertas regiones.

RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES

Los productos forestales no maderables (PFNM) reciben menor atención que los recursos maderables, sin embargo, su importancia es innegable, ya que se trata de productos como medicinas, alimentos, resinas, gomas, tintes, ceras, tierra de monte, esencias y aceites, entre otros. La mayoría no tienen valor comercial, y aquellos que sí lo tienen por lo general no cuentan con un mercado amplio y consolidado, por lo que son explotados localmente por los habitantes de comunidades de escasos recursos económicos. La falta de valor comercial dificulta el obtener estimaciones precisas de su producción y consumo, en particular en zonas rurales. Por esta razón, los valores reportados en esta sección pueden ser subestimaciones de su aprovechamiento real en nuestro país.

En el periodo de 1997 a 2014, la producción nacional de PFNM mostró grandes variaciones, el promedio de la producción fue de poco más de 238 mil toneladas por año (Figura 2.34a).

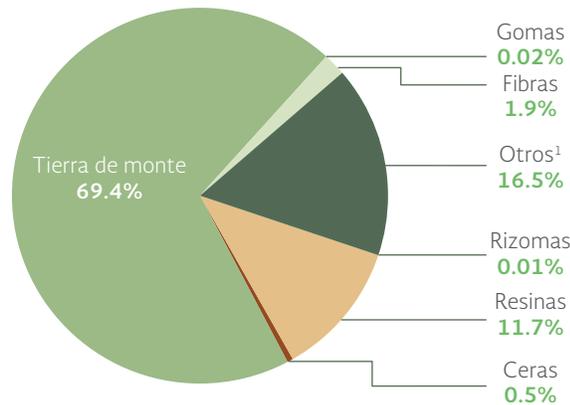
Figura 2.34 | Producción forestal no maderable, 1997 - 2014



Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006-2015.
 SARH. Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993. SARH. México. 1994.
 Semarnap. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998. Semarnap. México. 1996-1999.
 Semarnat. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006. Semarnat. México. 2000-2008.

Figura 2.35 | Producción forestal no maderable según producto, 1997 - 2014



Nota:

¹ Incluye: hongos, semillas, hojas, nopales, tallos, frutos, musgo, heno, etc.

Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006-2015.
 SARH. *Compendio Estadístico de la Producción Forestal 1989-1993*. SARH, México. 1994.
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1995-1998*. Semarnat. México. 1996-1999.
 Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2006*. Semarnat. México. 2000-2008.

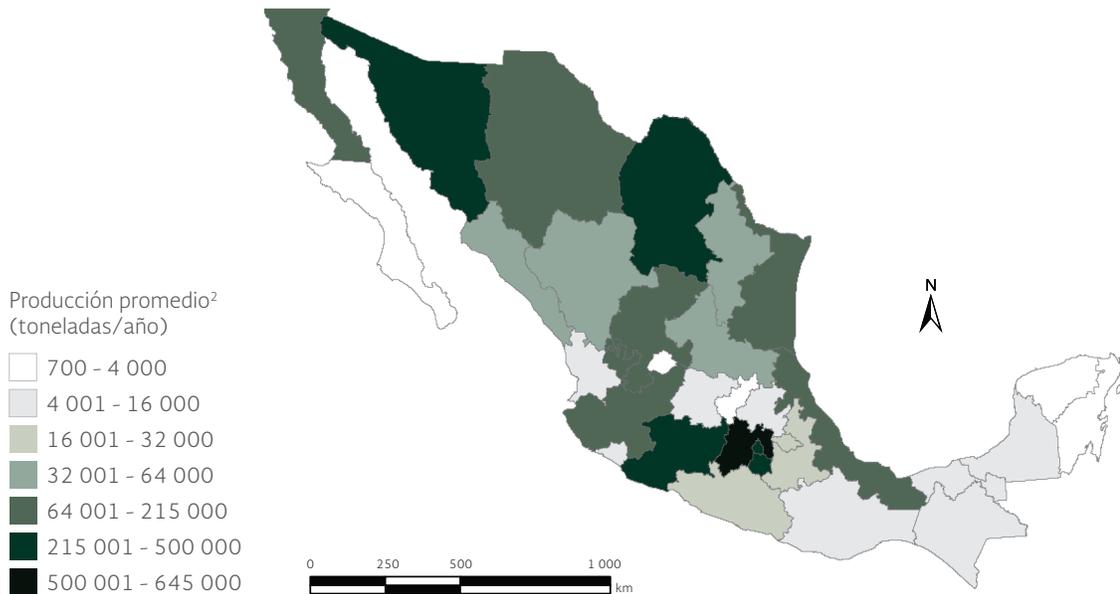
La producción está dominada por la extracción de tierra de monte, la cual varió entre 45 mil y 532 mil toneladas anuales, acumulando casi el 70% del volumen total de los PFNM del periodo 1997-2014 (alrededor de 2.8 millones de toneladas, Figura 2.34a y 2.35). Le siguen en importancia las resinas (11.7% del volumen total de PFNM, alrededor de 473 mil toneladas) y las fibras (1.9%, poco más de 77 mil toneladas; Figuras 2.34b y 2.35; [Cuadro D3_RFORESTA04_05](#)).

Las fibras y las ceras representan apenas el 2.4% del volumen de PFNM del periodo (Figura 2.35), sin embargo, son el sustento de muchas familias de bajos ingresos en el país. Por lo general, estos productos se obtienen a partir de plantas de las familias Agavaceae, Bromeliaceae y Euphorbiaceae, las cuales son comunes en matorrales xerófilos y selvas caducifolias.

Los estados que registraron la mayor producción de PFNM entre 1997 y 2014 fueron el estado de México (643 194 t, 19.4% del total de periodo), Morelos (481 949 t, 14.6%), Michoacán (418 112 t, 12.6%), Sonora (362 841 t, 11%), Distrito Federal (291 895 t, 8.8%) y Coahuila (217 557 t, 6.6%); en contraste, los que produjeron menos fueron: Quintana Roo (719 t, 0.02%), Aguascalientes (725 t, 0.02%), Baja California Sur (873 t; 0.03% del total) y Yucatán (2 170 t, 0.07%; Mapa 2.16; [Cuadro D3_RFORESTA04_04](#)). Una característica de la explotación de los PFNM en nuestro país es la escasa variedad de productos y especies silvestres usadas; por ejemplo, la riqueza florística del país se estima en más de 25 mil especies de plantas superiores, sin embargo, sólo 100 especies son explotadas comercialmente y menos de mil son las que son aprovechadas a nivel regional (Figura 2.36; [Cuadro D3_RFORESTA04_06](#)).

Los PFNM tiene un enorme potencial comercial; sin embargo, deben ser aprovechados bajo un esquema de conservación de las condiciones originales de los sitios de donde son extraídos, es decir, su permanencia requiere de ecosistemas naturales con cierto grado de conservación, de aquí que su aprovechamiento pueda ser utilizado también para implementar prácticas de conservación del ambiente.

Mapa 2.16 | Producción no maderable por entidad federativa, 1997 - 2014¹



Notas:

¹ Los datos de 2014 corresponden a proyecciones del área.

² Los datos incluyen tierra de monte.

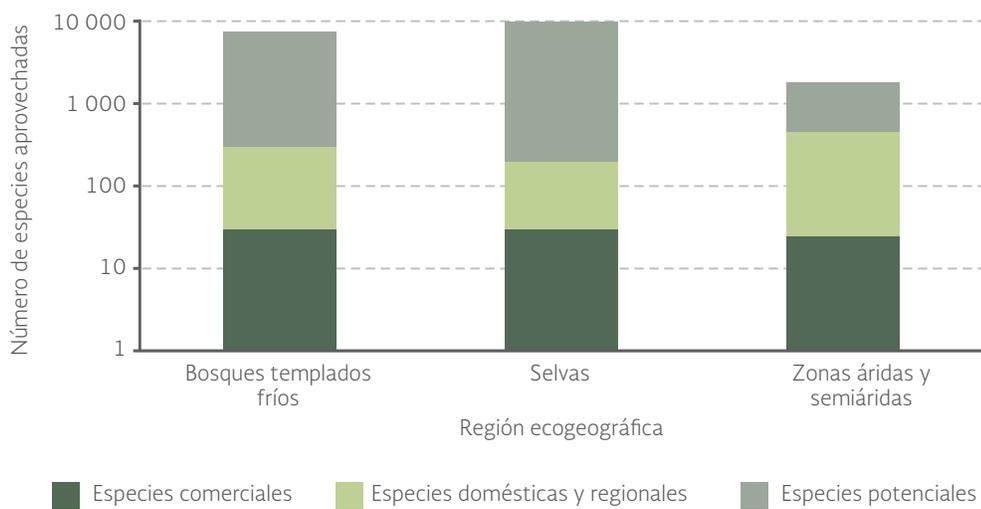
Fuentes:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Delegaciones Federales, Semarnat. México. 2006 - 2015.

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

Semarnat. *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1999-2013*. Semarnat. México. 2000-2014.

Figura 2.36 | Especies aprovechadas y con potencial de aprovechamiento según región y formación vegetal



Fuente:

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

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

Las consecuencias ambientales de la deforestación, la fragmentación y la degradación de la cubierta vegetal son evidentes en México: van desde el empobrecimiento del paisaje que ha sido sustituido por tierras desmontadas, hasta la erosión de los suelos, siendo este recurso el más importante para la recuperación de las masas forestales. La pérdida de los ecosistemas terrestres también promueve la pérdida de la biodiversidad y afecta su estabilidad y resiliencia. Además, afecta negativamente la disponibilidad y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. El daño a los ecosistemas terrestres y en particular a las comunidades vegetales aumenta la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos extremos como las lluvias torrenciales, inundaciones, ventiscas y huracanes, lo que retroalimenta el deterioro y la pérdida de los ecosistemas naturales.

El deterioro del medio ambiente afecta el estado de bienestar de la población (véase el capítulo de **Población y medio ambiente**). La degradación del ambiente se acompaña, en el corto, mediano o largo plazo 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 empeora aún más las situaciones de marginación y pobreza. En este sentido, el desarrollo de la sociedad sigue estrechamente relacionado con el continuo y adecuado aprovisionamiento de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, el cual está inevitablemente unido a su integridad y funcionamiento.

El gobierno federal ha promovido estrategias que permitan garantizar la conservación del capital natural nacional y del abastecimiento continuo de los servicios que brindan, orientado bajo un esquema de desarrollo sustentable y sostenido. En general, son tres las líneas de acción dentro de las cuales pueden agruparse a los programas y acciones federales encaminadas a cumplir estos propósitos.

La primera línea está dada por los instrumentos de política de conservación ambiental que pretenden proteger y detener la pérdida de la superficie remanente de los ecosistemas naturales. Esta línea de acción, además de proteger los ecosistemas y sus especies representativas, también pretende conservar los servicios ambientales de muchas regiones del país. Dentro de ellos se encuentran, principalmente, las áreas naturales protegidas, los humedales incluidos en la Convención Ramsar y los programas de pagos por servicios ambientales.

La segunda línea engloba los programas que tratan de mejorar la calidad de vida de la población a través del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales presentes en sus comunidades -principalmente los recursos forestales y faunísticos-; su objetivo es evitar que se sobrepasen los niveles de recuperación de los recursos naturales o su capacidad de carga ante una actividad dada, lo que garantiza su extracción y existencia a largo plazo. Destacan dentro de esta línea de acción los programas de aprovechamiento de la vida silvestre y de desarrollo forestal comunitario.

La tercera línea de acción comprende los instrumentos de política de recuperación de las coberturas vegetales a través de la reforestación, la contención de los incendios forestales y las enfermedades y plagas que los atacan.

También existen otros instrumentos de política ambiental que, de forma indirecta, han servido para proteger tanto a los ecosistemas terrestres como marinos del país; éstos son los ordenamientos ecológicos del territorio y las evaluaciones de impacto ambiental. Los primeros funcionan como instrumentos de planeación y administración de las actividades propicias para ocupar los usos del suelo tomando en cuenta su aptitud, prioridades y necesidades particulares. Los segundos tienen el objetivo de identificar y cuantificar los impactos al medio ambiente derivados de la ejecución de un proyecto dado, también son una forma de determinar si los proyectos son factibles ambientalmente y condicionan su ejecución a la aplicación de medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales.

CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES Y SUS SERVICIOS AMBIENTALES

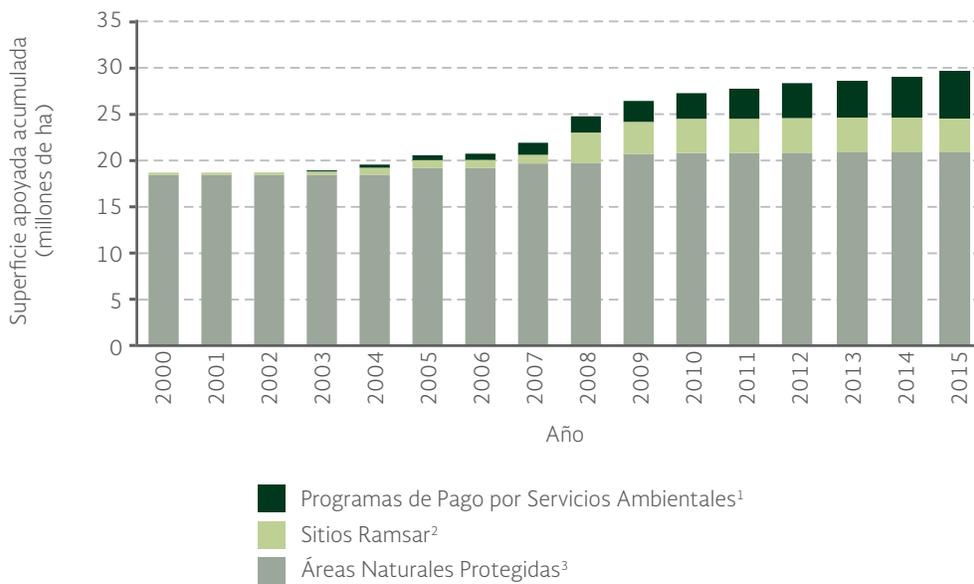
A nivel mundial, las áreas naturales protegidas han sido una de las estrategias más importantes para mantener la integridad de los ecosistemas. Estas áreas son superficies representativas de los diversos ecosistemas terrestres y marinos, en donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana. Las áreas naturales, por su integridad funcional y estructural, proporcionan servicios ambientales de diversos tipos y albergan recursos naturales y especies de importancia ecológica, económica y/o cultural. A nivel global, las áreas protegidas cubren aproximadamente 17 millones de kilómetros cuadrados, lo que equivale a alrededor del 13% de la superficie terrestre (UNEP, 2011).

La estrategia de conservación de los ecosistemas terrestres pretende proteger las zonas naturales importantes por su biodiversidad y/o servicios ambientales que brindan. Dentro de esta estrategia, los instrumentos más importantes en México 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, hasta 2015, alrededor de 29.4 millones de hectáreas, lo que equivale aproximadamente al 15% de la superficie nacional continental (Figura 2.37).

En México, el crecimiento de la superficie protegida de ecosistemas terrestres por ANP federales ha sido importante: pasó de 16.4 millones a 20.8 millones de hectáreas entre 1994 y 2015⁹, lo que representa hasta este último año, alrededor del 11% de la superficie continental nacional (**Cuadro D3 BIODIV04_13; IB 6.1-6**). De la superficie protegida por las ANP en 2015, el 81% corresponde a zonas terrestres y el 19% a zonas marinas (para mayores detalles ver el capítulo de **Biodiversidad**). En las ANP federales terrestres los ecosistemas naturales mayormente representados son los matorrales xerófilos (cerca de 8.4 millones de ha, 45.7%), los bosques templados (4.2 millones de ha, 23%) y las selvas subhúmedas y húmedas (3.2 millones de ha en conjunto, 9.7 y 7.7%, respectivamente).

⁹ Datos a septiembre de 2015.

Figura 2.37 Superficie apoyada por programas con enfoque de conservación de los ecosistemas, 2000 - 2015



Notas:

¹ 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).

² La superficie Ramsar corresponde a la que se encuentra fuera de las ANP.

³ La superficie de Áreas Naturales Protegidas sólo incluye las de carácter federal.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat. México. 2015.

Conanp, Semarnat. México. 2014.

Semarnat, Conafor. *Coordinación General de Planeación e Información*. Mayo 2015.

Semarnat. *Programa anual de trabajo 2016*. Semarnat. México. 2016.

Semarnat. *Cuarto Informe de labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

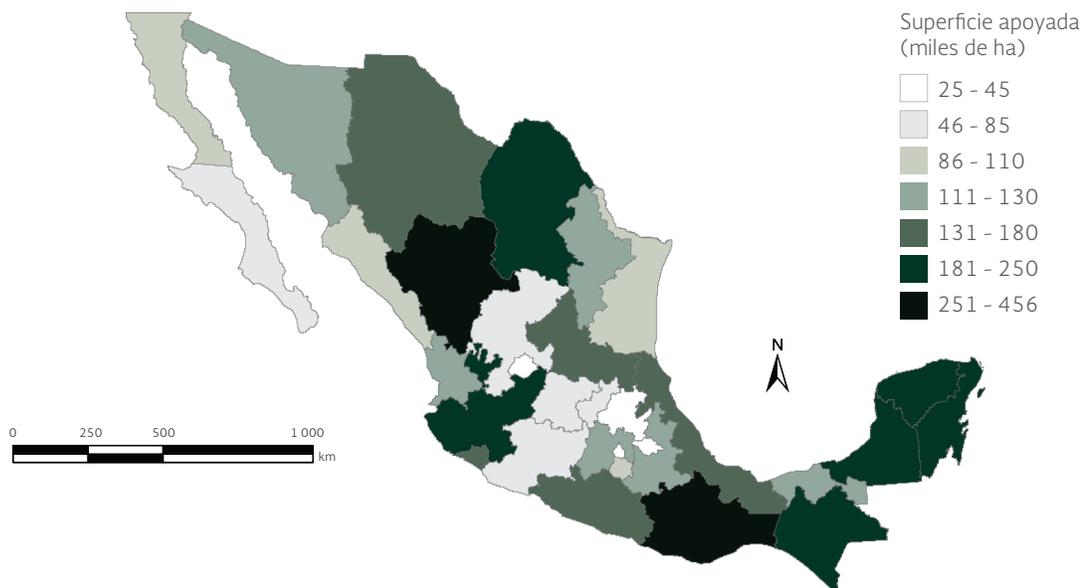
México también participa en la Convención Internacional Ramsar para la protección de humedales, a la cual se adhirió en 1986. La Convención busca la conservación y el uso racional de los humedales en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos e hidrológicos. Entre otros ecosistemas que protegen se encuentran manglares, ciénegas, lagunas y desembocaduras de ríos (para mayor información de los humedales de la Convención Ramsar, ver el capítulo de **Biodiversidad**). En México, de los sitios Ramsar en humedales, 80 están total o parcialmente incluidos dentro de 177 ANP - con una superficie de cerca de 7.2 millones de hectáreas - mientras que 62 se ubican fuera de las áreas protegidas (con un área de alrededor de 1.9 millones de ha).

La importancia de los servicios ambientales ha llevado al gobierno mexicano a diseñar un grupo de estrategias que pretenden recompensar a los propietarios que conserven sin cambios ecosistemas que producen servicios ambientales dentro de sus tierras. La recompensa es un pago que, además de ser una fuente de ingreso, también incentiva la protección y el no cambio de uso del suelo. Esta estrategia ha estado dirigida hacia la protección de las cuencas, la conservación de los bosques y el mantenimiento de la biodiversidad y la captura de carbono.

En el año 2003 inició el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), a cargo de la Conafor. El objetivo principal del PSAH ha sido el mantenimiento de los servicios ambientales hidrológicos brindados por los bosques y selvas. Los propietarios de las tierras apoyados tienen la obligación de mantener en buen estado su terreno - sin cambio de uso del suelo - durante el tiempo que dure el convenio. El apoyo se ha dirigido hacia zonas de cuencas hídricas críticas, con acuíferos sobreexplotados o que abastecen a poblaciones con más de 5 mil habitantes.

En el año 2004 inició 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). Este programa promueve el acceso de los propietarios de terrenos forestales a los mercados (nacionales e internacionales) de los servicios ambientales derivados de la captura de carbono y de la biodiversidad de los ecosistemas forestales. Los pagos a los propietarios tratan de incentivarlos a realizar las acciones que mantengan o mejoren la provisión de los servicios ambientales que capturan, secuestran y fijan el carbono como una estrategia para mitigar el cambio climático global, así como la conservación de la biodiversidad. En conjunto, la superficie beneficiada principalmente de bosques templados, mesófilos de montaña y selvas por los PSAH y PSA-CABSA alcanzaron hasta diciembre de 2015 los 4.91 millones de hectáreas. Entre 2003 y 2014 el estado que contó con la mayor superficie beneficiada fue Oaxaca (con poco más de 456 mil ha, es decir, 10.2% de la superficie total beneficiada por el programa, Mapa 2.17), seguido por Durango (332 mil ha; 7.4%), Quintana Roo (238 mil ha, 5.3%), Jalisco (222 mil ha, 5%) y Coahuila (201 mil ha; 4.5%).

Mapa 2.17 | Superficie apoyada por los Programas de Pago por Servicios Ambientales¹ (PSA) por entidad federativa, 2003 - 2014



Nota:

¹ 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:

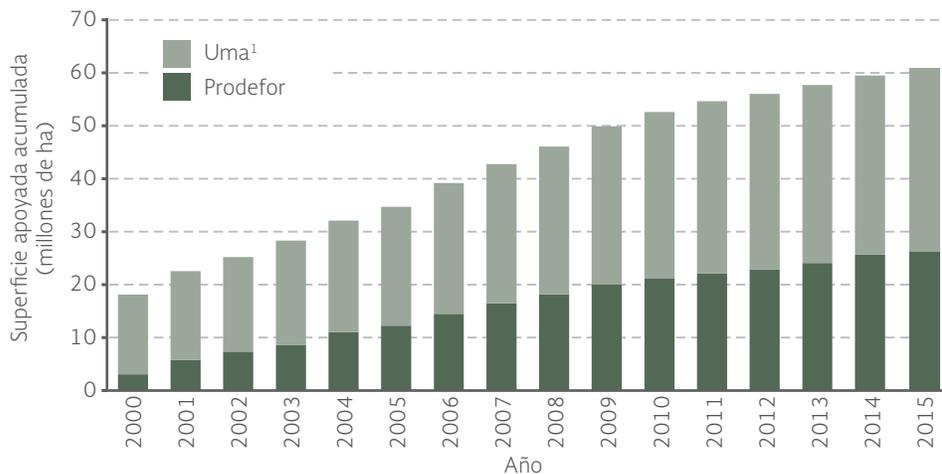
Elaboración propia con datos de: Conafor, Semarnat. México. 2015.

USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

En un afán de cubrir la demanda del mercado o las necesidades de corto plazo, en muchas regiones del país se sobreexplotaron los recursos naturales de muchos ecosistemas y no se permitió o dio tiempo al medio ambiente para recuperarse. Como consecuencia, las poblaciones de muchas especies se redujeron rápidamente, algunas se extinguieron localmente, lo que produjo la caída de su producción y, en los casos más graves, su extinción definitiva. No sólo la explotación comercial irracional provoca la extracción no sustentable de los recursos naturales, también ciertas prácticas extractivas tradicionales pueden llevar al deterioro de las poblaciones silvestres, por lo cual se hace necesario aplicar regulaciones específicas que aseguren su aprovechamiento en el largo plazo y permitan el uso sustentable de la vida silvestre. Para este fin se han diseñado e implementado diversos instrumentos, los cuales pueden agruparse en dos ejes principales: 1) los encaminados 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 2) aquellos que apoyan el desarrollo de la actividad forestal a través del aumento de la productividad y la diversificación en el uso de los ecosistemas forestales, tal es el caso del Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor). Ambos instrumentos también tienen el objetivo de mejorar la calidad de vida de los propietarios de los terrenos donde se encuentran los ecosistemas naturales aprovechados.

Hasta 2015, los programas de ambos ejes han apoyado una superficie total de más de 61 millones de hectáreas (Figura 2.38), lo que representa poco más del 31% de la superficie

Figura 2.38 | Superficie apoyada con programas con enfoque de uso sustentable de los ecosistemas, 2000 - 2015



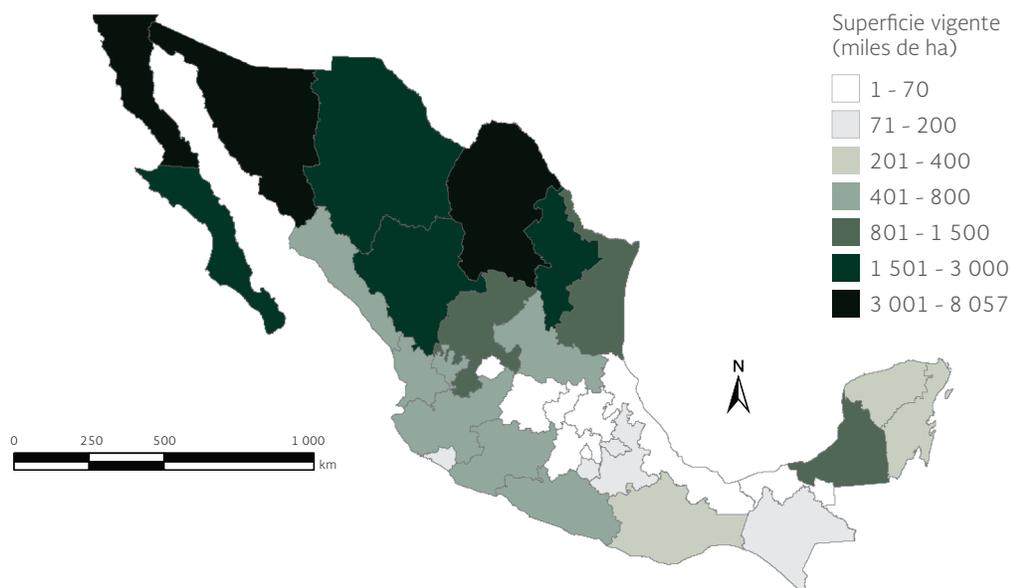
Nota:

¹ La superficie de Uma reportada corresponde a la que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como de las unidades vigentes a diciembre de 2014.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conanp, Semarnat. México. 2015.
 Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2015.
 Semarnat. *Programa anual de trabajo 2016*. México. 2016.
 Semarnat. *Cuarto Informe de labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

Mapa 2.18 | Superficie de Unidades de Manejo de la Vida Silvestre (Uma)¹ extensivas por entidad federativa, 1999 - 2014



Nota:

¹ La superficie de Uma reportada para cada entidad corresponde a la que la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) considera como de las unidades vigentes a diciembre de 2014.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conanp, Semarnat. México. 2015.
 Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2015.

terrestre del país. De esta superficie beneficiada, el 57% pertenece a las Uma (alrededor de 34.8 millones de ha¹⁰) y 43% al Prodefor (26.5 millones de ha).

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). Las Uma tienen como objetivo aprovechar la vida silvestre de forma legal y viable, al mismo tiempo que promueven alternativas de producción compatibles con el cuidado del ambiente, así como con el uso racional, ordenado y planificado de los recursos naturales. Las Uma también constituyen una alternativa para mejorar la calidad de vida de los poseedores de los terrenos donde se establecen las unidades, pues se vuelven empresarios y promotores del cuidado del hábitat donde se desarrollan las poblaciones de las especies objetivo, así como de los servicios ambientales que generan.

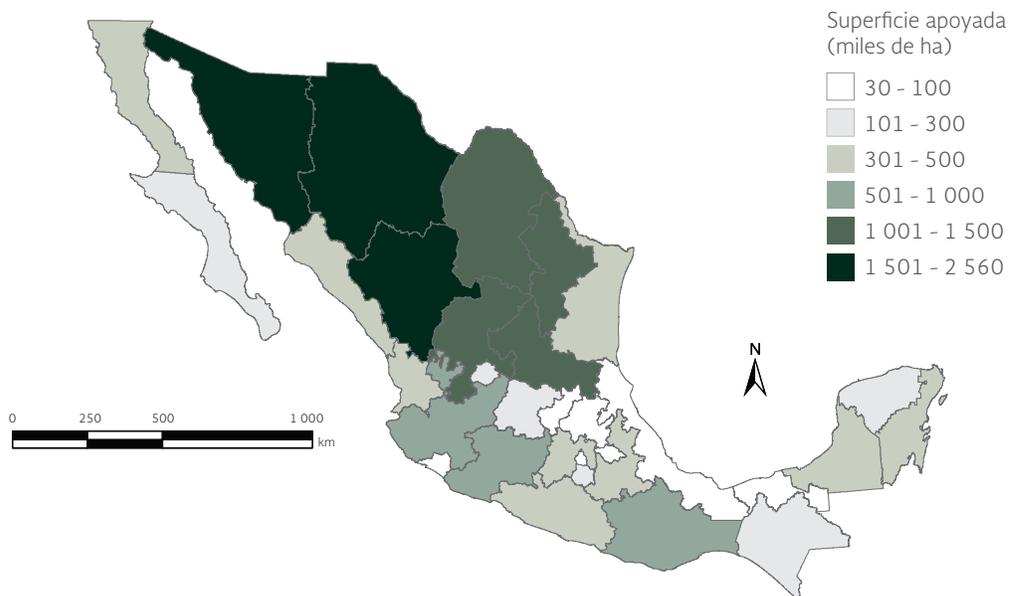
Las mayoría de las Uma se han concentrado en la zona norte del país, siendo los matorrales xerófilos, seguidos de los pastizales y los bosques templados, los principales ecosistemas beneficiados por este instrumento. Los estados con mayor superficie acumulada de Uma extensivas vigentes entre 1999 y 2014 fueron Sonora (8.1 millones de ha, 23.8% de la superficie nacional de Uma), Coahuila (5 millones de ha, 14.8%), Baja California (3.2 millones de ha; 9.5%), Baja California Sur (2.7 millones de ha, 7.9%) y Chihuahua (2.5 millones de ha, 7.3%; Mapa 2.18).

¹⁰ La cifra presentada corresponde a datos reportados por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de las unidades vigentes a diciembre de 2014. De acuerdo a la DGVS (revisión junio de 2015) el histórico acumulado del periodo 1999 a 2014 reporta una superficie cercana a los 34.2 millones de hectáreas.

En algunos casos, las Uma se han instalado dentro de las ANP, lo que ha traído beneficios adicionales, entre ellos la disminución de la presión de las comunidades humanas vecinas sobre los recursos de las zonas protegidas. Hasta 2014 la superficie de Uma incluida en ANP ascendía a cerca de 3.6 millones de hectáreas, poco más del 9.4% de la superficie total de Uma. Mayores detalles de las Uma pueden encontrarse en el capítulo de **Biodiversidad** en la sección de **Protección de la biodiversidad**.

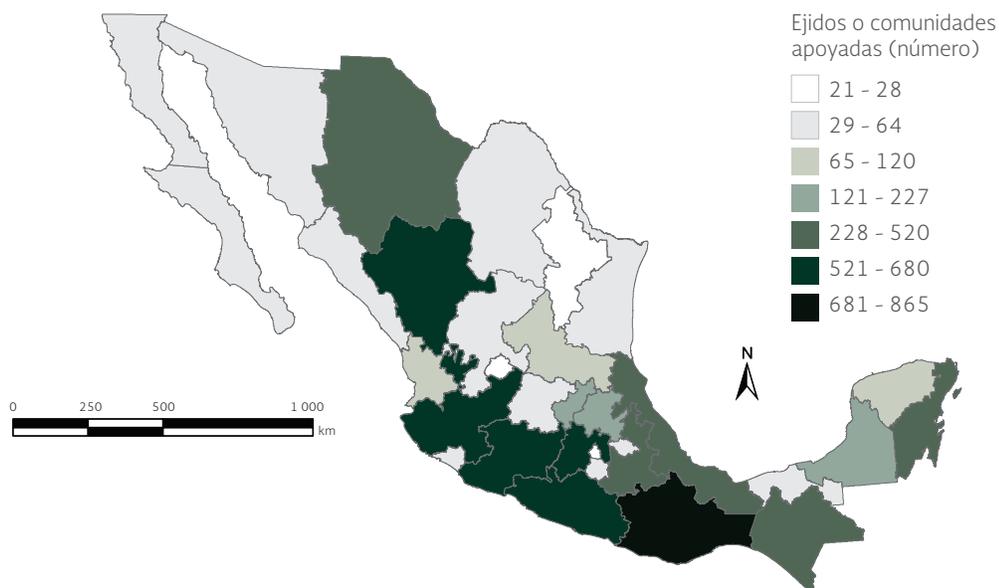
Por su parte, el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor), iniciado en 1997 y coordinado por la Conafor, ha impulsado la productividad y la diversificación del uso de los ecosistemas forestales, así como el desarrollo de la cadena productiva del mercado forestal; todo a través del otorgamiento de apoyos económicos a los dueños de los terrenos forestales, 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 a 2000, a 26.5 millones de hectáreas en 2015. Los principales ecosistemas beneficiados han sido los matorrales xerófilos que se caracterizan por su riqueza en productos no maderables, los bosques templados y las selvas. Entre 2003 y 2015, los estados con mayor superficie apoyada por Prodefor fueron Chihuahua (13.4% de la superficie total apoyada, 2.6 millones de ha), Durango (10.5%, 2 millones de ha), Sonora (9.6%, 1.84 millones ha), Coahuila (7.3%, 1.4 millones de ha) y San Luis Potosí (6.6%, 1.3 millones de ha; Mapa 2.19). En cuanto al Programa de Desarrollo Forestal Comunitario (Procymaf) en el periodo de 2007 a 2014, los ejidos o comunidades que más apoyos económicos fueron los ubicados en los estados de Oaxaca (11.3% del total para el periodo), Michoacán (8.8%), Durango (8.3%), estado de México (7.7%) y Jalisco (7.7%). Los estados con menos apoyo fueron Aguascalientes (0.27% del total del periodo), Distrito Federal (0.31%) y Nuevo León (0.36%; Mapa 2.20).

Mapa 2.19 | Superficie apoyada por el Programa de Desarrollo Forestal (Prodefor) por entidad federativa, 2003 - 2015



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat. México. 2015.

Mapa 2.20 | *Ejidos o comunidades con apoyos económicos para el desarrollo forestal comunitario (Procymaf), 2007 - 2014*



Fuente:
Coordinación General de Planeación e Información, Conafor. México. Mayo 2015.

RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

Para enfrentar la pérdida y alteración de los ecosistemas naturales del país, se hizo necesario diseñar e implementar instrumentos de política ambiental orientados a la recuperación de zonas degradadas o afectadas por plagas o enfermedades, y en la medida de lo posible, recuperar zonas donde los ecosistemas naturales hubiesen desaparecido. Las principales estrategias de esta línea de acción han sido la reforestación, el impulso al establecimiento de plantaciones forestales, la recuperación de suelos, el combate a los incendios forestales y las prácticas de sanidad forestal.

La recuperación reconoce el hecho de que no se pueden restablecer las condiciones originales de los ecosistemas en cuanto a su biodiversidad y a sus procesos ecológicos en que se encontraban antes de la intervención humana. Sin embargo, la recuperación contribuye a detener la degradación ambiental y a mantener ciertos servicios ambientales, como son la recarga de los acuíferos y la productividad del suelo; también puede evitar una mayor pérdida y alteración de los ecosistemas terrestres. Para ello se ejecutan programas de combate a los incendios forestales, control de plagas y enfermedades, y se elaboran acciones para la recuperación de suelos.

Los programas de recuperación de los ecosistemas terrestres 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, y de sanidad forestal) y el Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan). Hasta el cierre de 2015, la superficie acumulada atendida por los dos programas ascendió a 6.5

millones de hectáreas, de éstas poco más de 68% correspondió a la reforestación (alrededor de 4.4 millones de ha), 12% a las labores de sanidad forestal (alrededor de 809 mil ha), 15% a la conservación y restauración de suelos forestales (cerca de 972 mil ha) y 4.7% a las plantaciones forestales comerciales (alrededor de 305 mil ha; Figura 2.39). En total, la superficie atendida por estos instrumentos representó el 3.3% de la superficie terrestre nacional.

El Programa Nacional de Reforestación (Pronare) se creó en 1995 con el objetivo de detener y revertir el deterioro de la cubierta forestal del país a través de la reforestación apropiada de sitios estratégicos. En 2001 el Pronare fue transferido a la Conafor y actualmente forma parte del Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref). Las labores de reforestación se realizan en zonas forestales perturbadas, en particular en las afectadas por incendios, y las que han sufrido tala ilegal, sobrepastoreo, erosión y las que son susceptibles de reconversión a zonas forestales. Una parte de la reforestación también se realiza dentro de las ANP. El programa da prioridad al empleo de especies nativas para la reforestación de cada ecosistema. En el caso de las especies tropicales, se prefiere el cedro rojo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), el palo de rosa (*Tabebuia rosea*) y la primavera (*Tabebuia donnell-smithii* y *Tabebuia chrysantha*), mientras que para las regiones templadas se utilizan coníferas, principalmente pinos (*Pinus* spp.). Para las regiones semiáridas¹¹ se usan agaves (*Agave* spp.), nopales (*Opuntia* spp.), mezquites (*Prosopis* spp.), sotoles (*Dasyliirion* spp.) y pinos piñoneros (*Pinus* spp.).

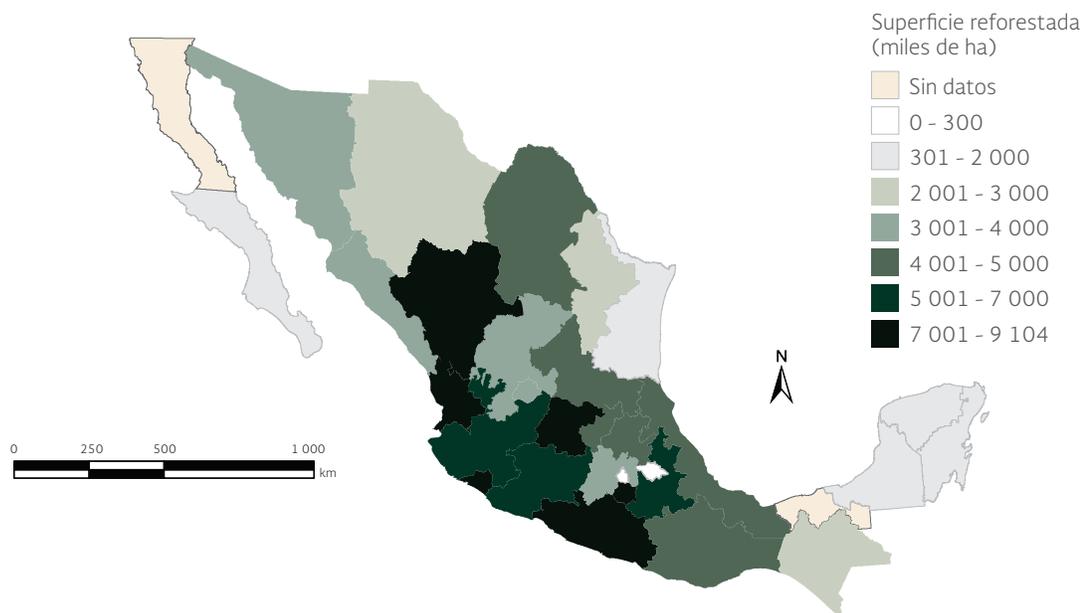
Figura 2.39 Superficie apoyada con programas con enfoque de recuperación de los ecosistemas, 2000 - 2015



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conafor. Programa de recuperación de suelos y Prodeplan. Conafor. México. 2015.
 Semarnat. Programa Anual de Trabajo 2016. Semarnat. México. 2016.
 Semarnat. Cuarto Informe de labores 2015-2016. Semarnat. México. 2016.

¹¹ En los ecosistemas de matorral xerófilo y zonas semiáridas se prefiere la reforestación con especies suculentas en lugar de árboles, debido a que son especies adaptadas a condiciones de poca humedad y poseen propiedades importantes para conservación del suelo y el control de las escorrentías.

Mapa 2.21 | Superficie reforestada por entidad federativa, 2014



Fuente:
Conafor, Semarnat. Programa Nacional de Reforestación. Junio, 2014.

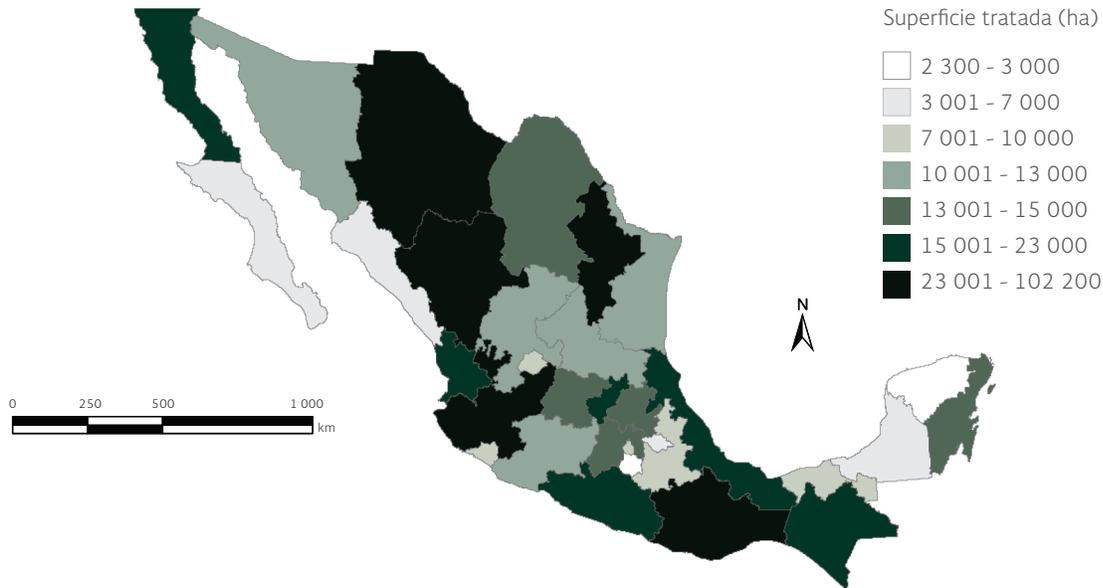
La superficie reforestada en el país ha seguido una tendencia creciente, mientras que en 1993 se reforestaron cerca de 14 512 hectáreas, en 2014 se alcanzaron las 128 mil hectáreas. En 2014, los estados en los que se reforestó una mayor superficie fueron Nayarit (9 104 ha), Guerrero (8 664 ha), Durango (8 435 ha) y Colima (8 209 ha). En contraste, los estados con menores superficies reforestadas fueron el Distrito Federal (285 ha), Campeche (780 ha) y Baja California Sur (853 ha; Mapa 2.21).

Como se ha mencionado, las plagas y enfermedades forestales pueden ocasionar graves impactos ecológicos sobre los ecosistemas, lo que a su vez puede generar problemas sociales y económicos en las comunidades rurales dedicadas a la actividad forestal. Al respecto, la Procoref brinda apoyo para prevenir y combatir las plagas y enfermedades forestales. Las acciones incluyen el diagnóstico fitosanitario en zonas de vegetación natural y 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 2014, la superficie anual tratada a nivel nacional fue de poco más de 59 mil hectáreas al año. En este periodo, los estados con mayor superficie tratada fueron Chihuahua (102 mil ha), Durango (83 mil ha), Nuevo León (46 mil ha), Jalisco (45 mil ha) y Oaxaca (44 mil ha); los estados con menor superficie tratada fueron Morelos (2 358 ha), Yucatán (2 751 ha) y Sinaloa (6 082 ha; Mapa 2.22).

A pesar del esfuerzo nacional en el tratamiento de las superficies afectadas por enfermedades o plagas forestales, es necesario incrementar su alcance, por ejemplo, de la superficie afectada en el periodo 2003 y 2014, sólo se realizaron actividades sanitarias en cerca del 64% de la superficie con algún tipo de afectación de los estados, en promedio.

Mapa 2.22 | Superficie tratada contra plagas y enfermedades forestales por entidad federativa, 2003 - 2014^{1, 2}



Notas:

¹ La superficie del año 2003 corresponde al acumulado para el periodo 1990-2003.

² Las enfermedades y plagas tratadas en el periodo corresponden a barrenadores, defoliadores, descortezadores, muérdagos y otras enfermedades (declinamiento del encino, royas y pudriciones de fuste y raíz, etcétera).

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

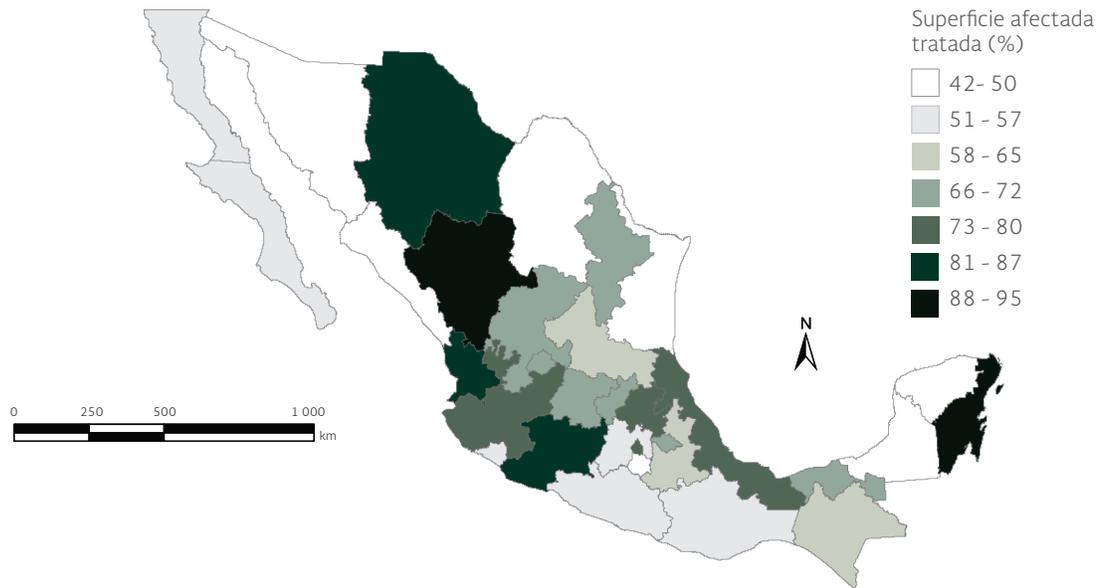
Conafor. Programa de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales (Procoref). Conafor. México. 2015.

Los estados que trataron el mayor porcentaje de su superficie afectada fueron Quintana Roo (en 95% del área afectada), Durango (88%), Chihuahua (87%), Michoacán (82%) y Nayarit (81%). En contraste, los estados que trataron una proporción menor de su superficie afectada fueron Morelos (42%), Yucatán (44%), Campeche (46%), Sonora (47%), Tamaulipas (48%), Sinaloa y Coahuila (49%; Mapa 2.23).

En el periodo 2003 a 2014, las plagas más combatidas fueron los descortezadores, con 260 363 hectáreas (equivalente al 40% de la superficie tratada en el periodo), seguidos de los muérdagos (186 458 ha, 29%), los defoliadores (145 970 ha; 23%) y los barrenadores (26 962 ha; 4%; Figura 2.40).

Una de las opciones empleadas en varias partes del mundo para reducir las presiones sobre las comunidades forestales, ha sido el establecimiento de sistemas de manejo o plantaciones forestales; de esta forma se obtienen los productos naturales de manera sencilla y rentable. Estos sistemas no solo reducen la presión sobre los recursos forestales, sino también previenen 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 anual del 2.01%, esto es, alrededor de 4.5 millones de hectáreas anuales; para 2015 se contabilizaba una superficie total de poco más de 1 212 millones de hectáreas de plantaciones forestales (FAO, 2015).

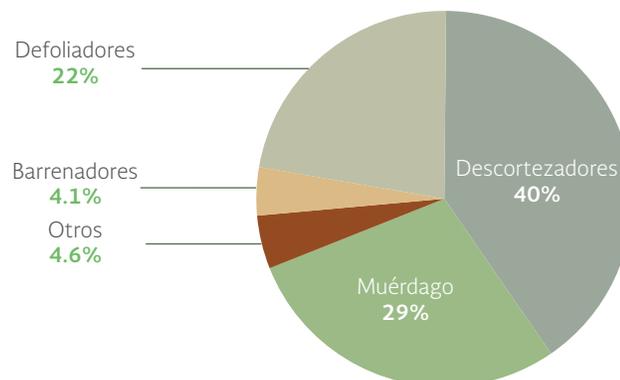
Mapa 2.23 | Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales que recibió tratamiento por entidad federativa, 2003 - 2014



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Gerencia de Sanidad Forestal. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015

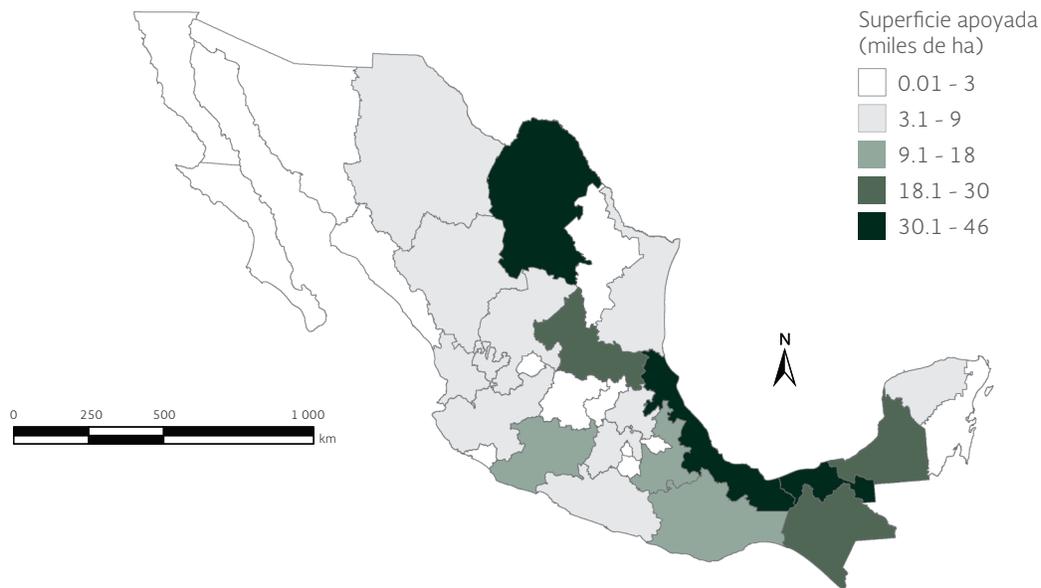
En México, en 1997 se puso en operación el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan), con el objetivo de apoyar el establecimiento (en terrenos no boscosos) y el mantenimiento de plantaciones comerciales que contribuyeran a la autosuficiencia en productos forestales. Este programa ha producido resultados notables en los últimos años, del año 1997 al 2014 se han apoyado más de 865 mil hectáreas de plantaciones en todas las entidades del país. Las entidades con mayor superficie apoyada en el periodo 2000 a 2014 fueron Veracruz (poco más de 45 mil ha), Coahuila (41 mil ha), Tabasco (32 mil ha), Campeche (25 mil ha) y Chiapas (24 mil ha; Mapa 2.24).

Figura 2.40 | Superficie tratada por plagas y enfermedades forestales, según tipo, 2003 - 2014



Fuente:
Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Junio 2015.

Mapa 2.24 | Superficie apoyada por el Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (Prodeplan) por entidad federativa, 2000 - 2014



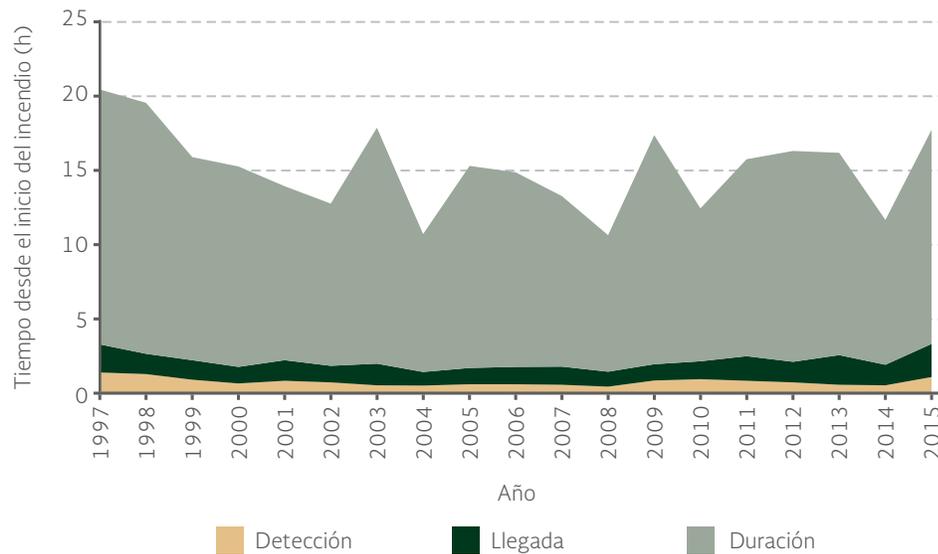
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat. México. 2015.

El combate a los incendios forestales es otro frente de lucha contra la destrucción de la cobertura vegetal. Para ello se siguen tres acciones: la prevención, el pronóstico y el combate directo. Las prácticas de prevención incluyen las brechas cortafuego y las quemas prescritas, programas de educación ambiental y acciones legales. Para el pronóstico de incendios se cuenta con el apoyo del Servicio Meteorológico Nacional (que proporciona información sobre sequías y altas temperaturas) y también se cuenta con el Sistema de Información de Incendios Forestales de México, que funciona mediante un acuerdo con el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá. Con la información de ambos centros se generan índices de riesgo de incendios, los cuales se construyen considerando varios elementos, como datos meteorológicos, cantidad de material combustible, topografía del sitio de interés, entre otros; y a partir de esta información se generan mapas que muestran los puntos críticos donde pueden presentarse los incendios. La detección de incendios en curso se realiza mediante avistamientos desde torres, aviones o vehículos terrestres. El combate de los incendios se realiza mediante brigadas apoyadas por las autoridades competentes, cuerpos de seguridad (marina y ejército) y voluntarios, todo bajo la supervisión de expertos y representantes de la Conafor.

En el periodo 1997 a 2015, el tiempo promedio de detección de los incendios fue de 46 minutos, mientras que las llegadas para iniciar su combate promediaron una hora con 22 minutos y la duración de los incendios fue de 13 horas en promedio (Figura 2.41).

En resumen, hasta el año de 2015 los instrumentos de conservación, uso sustentable y recuperación de los ecosistemas atendieron en conjunto, una superficie acumulada de casi 97

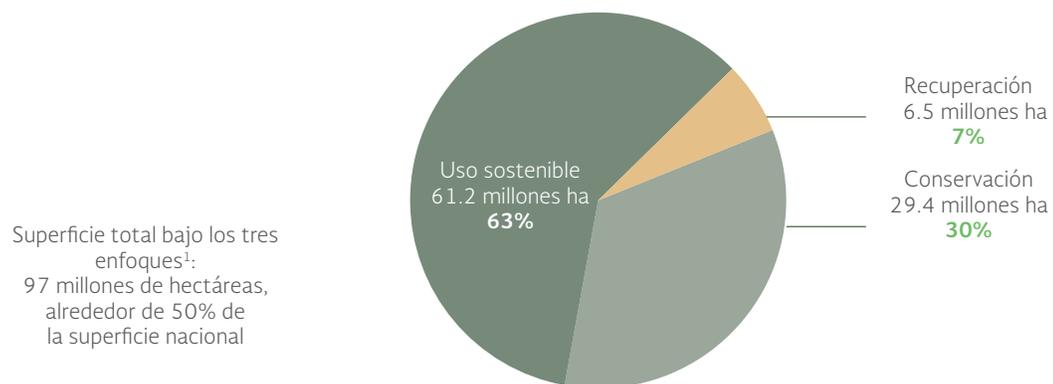
Figura 2.41 | Duración promedio de los incendios forestales en México, 1997 - 2015



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Gerencia de Incendios Forestales. Conafor, Semarnat. México. Septiembre 2015.

millones de hectáreas, lo que representa cerca del 50% del territorio nacional (Figura 2.42). Es importante señalar que debido a que existe traslape entre las superficies atendidas por algunos instrumentos (p. ej., las Uma y los PSA con las ANP o las zonas que se reforestan dentro de las ANP) la superficie atendida podría ser menor.

Figura 2.42 | Superficie nacional con programas de enfoque de conservación, uso sustentable y de recuperación de ecosistemas terrestres, 2015



Nota:
¹ Debido a que algunos instrumentos traslapan sus áreas de influencia, la superficie total real bajo los tres enfoques es menor a la citada en el texto.

Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conafor. México. 2015.
Conanp. México. 2015.
DGVS. México. 2015.

OTROS INSTRUMENTOS INDIRECTOS DE PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

El uso del suelo ha estado regido por las necesidades de alimento, vivienda y de la forma de convivencia social. La economía y la organización social son los principales motores de cambio de la humanidad y han promovido la transformación de varios ecosistemas hacia tierras de cultivo, de pastoreo y de construcción de zonas urbanas, entre otros usos. La planificada y la adecuada administración del uso del suelo traen consigo mejoras a la calidad de vida de la población y al uso sustentable de los recursos naturales. En contraste, la falta de planeación ha provocado la sobreexplotación de los ecosistemas, el establecimiento de poblaciones en zonas de alto riesgo, la deforestación y la eliminación de humedales para el desarrollo de granjas acuícolas o centros turísticos, entre otros.

El instrumento emanado de las consultas y estudios coordinados por el gobierno que pretende conciliar las aptitudes, prioridades y necesidades de los usos del suelo, es el ordenamiento ecológico del territorio, el cual se define 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, 2015).

Con base en el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en materia de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), se establece que el OET tiene por objetivo clasificar por grados de aptitud de la tierra o uso del suelo y vegetación al territorio nacional y las zonas sobre las cuales tiene soberanía y jurisdicción. La aptitud del uso de la tierra se refiere a las condiciones y recursos disponibles en el lugar para realizar una actividad determinada, sea ésta de conservación, de aprovechamiento o de urbanización. Estos lugares se denominan áreas prioritarias y de aptitud sectorial. En este sentido el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) orienta la vocación de la tierra para el establecimiento de actividades productivas o de asentamientos humanos; también procura mantener los bienes y servicios ambientales; promueve la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad; fortalece el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SNANP); media en la solución de conflictos ambientales, y facilita la gestoría de la Administración Pública Federal (APF). La clasificación ecológica del territorio nacional (aptitud sectorial), a su vez permite establecer las estrategias necesarias para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. El OET también orienta sobre las medidas de mitigación que podrían adoptarse ante impactos ambientales. Es importante mencionar que la ejecución del OET es independiente del cumplimiento de la normatividad aplicable a otros instrumentos de política ambiental, este es el caso de las Áreas Naturales Protegidas y de algunas las Normas Oficiales Mexicanas.

De acuerdo con la LGEEPA, existen cuatro niveles de ejecución de los programas de ordenamiento ecológico: 1) el ordenamiento ecológico general del territorio, de carácter indicativo para los particulares, pero obligatorio para la Administración Pública Federal y de competencia federal; 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](#)).

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, 2015). 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.

La mayoría de los ordenamientos ecológicos regionales o de nivel estatal decretados se localizan en el centro del país, la península de Yucatán y el norte de la península de Baja California. En estos ordenamientos han participado, de forma decisiva, los sectores de desarrollo turístico y urbano (Mapas 2.25 y 2.26). En el caso de ambas penínsulas, a través de los ordenamientos, se pretende no solo conservar el medio ambiente sino también ser foco de desarrollo y atracción de actividades turísticas que permitan mejorar la calidad de vida de las comunidades locales, al mismo tiempo que se conserva la belleza del paisaje. Esto implica la participación de otros sectores orientados hacia la preservación ecológica y las actividades productivas, como el agropecuario, pesquero y forestal.

Con respecto a los ordenamientos ecológicos locales, hasta junio de 2015 la Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial de la Semarnat (DGPAIRS) tenía registrados 71 ordenamientos locales decretados y algunos más en proceso de formulación a cargo de los gobiernos municipales. En lo referente a los ordenamientos regionales, en esa misma fecha, 45 contaban con decreto y varios más se encontraban en proceso de formulación a cargo de los gobiernos estatales (Figura 2.43). Actualmente, alrededor del 48% de la superficie terrestre nacional, es decir, 94.5 millones de hectáreas, cuenta con un ordenamiento ecológico decretado, ya sea regional o local.

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. 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 actividades económicas, tales como la pesca y el turismo, hacia zonas de mayor aptitud y menor impacto ambiental. Asimismo, busca que el Comité de Ordenamiento Ecológico se consolide como un 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.

El área sujeta a ordenamiento ecológico marino 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, la región es importante por su riqueza de ecosistemas, tanto en la zona marina, como en la terrestre e insular, que incluye arrecifes coralinos, humedales, selvas bajas y medianas y sistemas lagunares costeros. Desde el punto de

Mapa a | Ordenamientos ecológicos marinos



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:

DGPAIRS, 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).

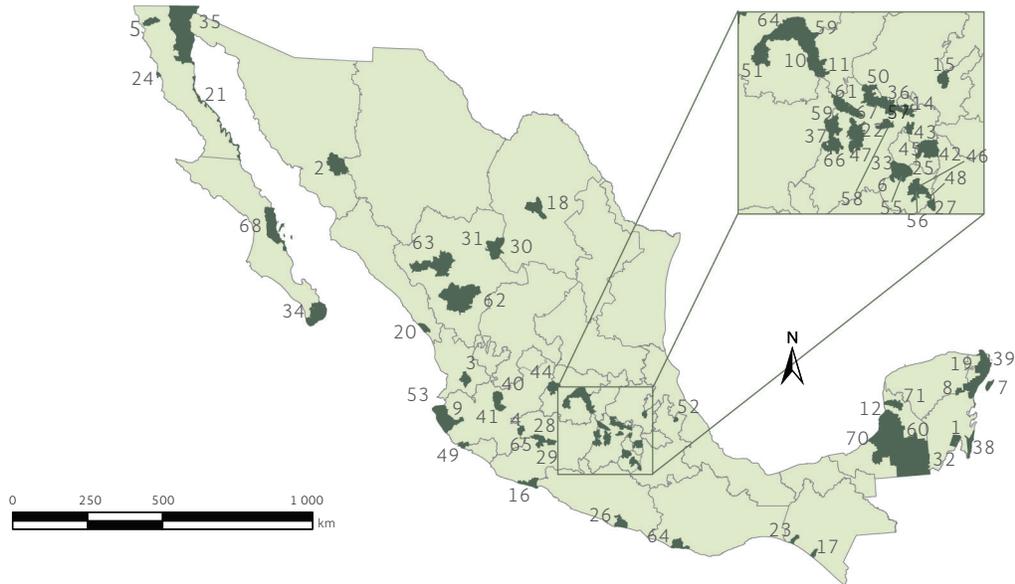
DOF. *Acuerdo por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa*. Diario Oficial de la Federación. México. 2012 (24 de noviembre).

Mapa 2.25 | Ordenamientos ecológicos regionales decretados, 2015



Fuente: Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2015.

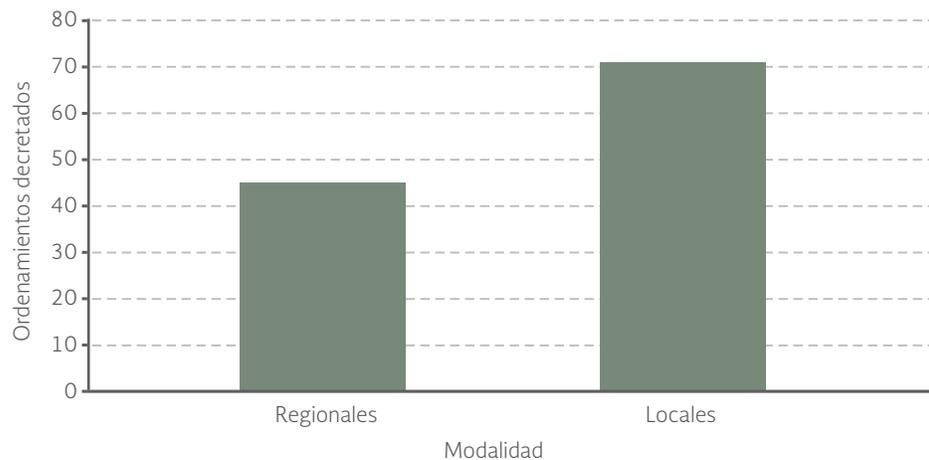
Mapa 2.26 | Ordenamientos ecológicos locales decretados, 2015



- | | | |
|--|--|--|
| 1 Laguna de Bacalar | 25 Municipal de Tepoztlán | 49 Municipal de Cihuatlán |
| 2 Municipal de Rosario Tesopaco | 26 Municipal ecológico y territorial de San Marcos | 50 Municipal de Jilotepec |
| 3 Municipal de Santa María del Oro | 27 Municipal de Axochiapan | 51 Municipal de Salamanca |
| 4 Municipal de Cotija | 28 Municipal de Salvador Escalante | 52 Municipal de Cuetzalan |
| 5 Corredor San Antonio de las Minas Valle de Guadalupe | 29 Municipal de Uruapan | 53 Municipal de Cabo Corrientes |
| 6 Municipal de Cuernavaca | 30 Municipal de Gómez Palacio | 54 Municipal de Allende |
| 7 Municipio de Cozumel | 31 Municipal de Lerdo | 55 Municipal de Jiutepec |
| 8 Municipal de Solidaridad | 32 Municipal de Calakmul | 56 Municipal de Ayala |
| 9 Municipal de Tomatlán | 33 Municipal de Huitzilac | 57 Municipal de Huehuetoca |
| 10 Corregidora | 34 Municipal de Los Cabos | 58 Municipal de Nicolás Romero |
| 11 Huimilpan | 35 Municipal de Mexicali | 59 Municipal de San José del Rincón |
| 12 Champotón | 36 Municipal de Tepeji del Río Ocampo | 60 Municipal de Campeche |
| 13 Ecatepec de Morelos | 37 Municipal de Villa de Allende | 61 Municipal de Temascalcingo |
| 14 Zumpango | 38 Costa Maya | 62 Municipal de Durango |
| 15 Municipal de Huasca de Ocampo | 39 Municipal de Benito Juárez | 63 Municipal de Santiago Papasquiaro |
| 16 Municipal de Lázaro Cárdenas | 40 Municipal de Zapopan | 64 Municipal de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo |
| 17 Cuenca Río Coapa | 41 Municipal de Tlajomulco | 65 Municipal de Ziracuaretiro |
| 18 Cuatrociénegas | 42 Municipal de Tlalmanalco | 66 Municipal de Donato Guerra |
| 19 Municipal de Isla Mujeres | 43 Municipal de Ixtapaluca | 67 Municipal de Atlacomulco |
| 20 Zona Costera del Municipio de Rosario | 44 Municipal de León | 68 Municipal de Loreto |
| 21 Costero Terrestre Puertecitos - Paralelo 28 | 45 Municipal de Chalco | 69 Municipal de Escárcego |
| 22 Municipal de Ixtlahuaca | 46 Municipal de Cuautla | 70 Municipal de Escárcega |
| 23 Subcuenca del Río Zanatenco | 47 Municipal de Almoloya de Juárez | 71 Municipal de Hecelchakan |
| 24 San Quintín | 48 Municipal de Jonacatepec | |

Fuente: Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2015.

Figura 2.43 | Ordenamientos ecológicos locales y regionales decretados, 2015



Fuente:
Dirección General de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial, Semarnat. México. 2015.

LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental se define como cualquier modificación del medio ambiente ocasionada por la acción del humano o la naturaleza. 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. El propósito de este análisis es identificar y cuantificar los impactos que la ejecución de un proyecto determinado puede ocasionar al ambiente. Los resultados de la evaluación determinan la factibilidad ambiental del proyecto (mediante el análisis costo-beneficio ambiental) y establece en su caso, las condiciones para su ejecución, así como las medidas de prevención y mitigación de los posibles 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 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (REIA). En el reglamento se establecieron tres modalidades para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA): 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 2012 fueron publicadas las modificaciones al Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, mismas que entraron en vigor el 29 de junio del mismo año (DOF, 2012). 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

Figura 2.44 | *Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por tipo de estudio, 2005 - 2014*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. Mayo 2015.

impacto ambiental de todas aquellas obras y actividades que no se encuentren en el listado de competencia federal. Otra reforma importante 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 Ambiental (MIA) 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 2005-2014 ([Cuadro D4_IMPACTO00_02](#)).

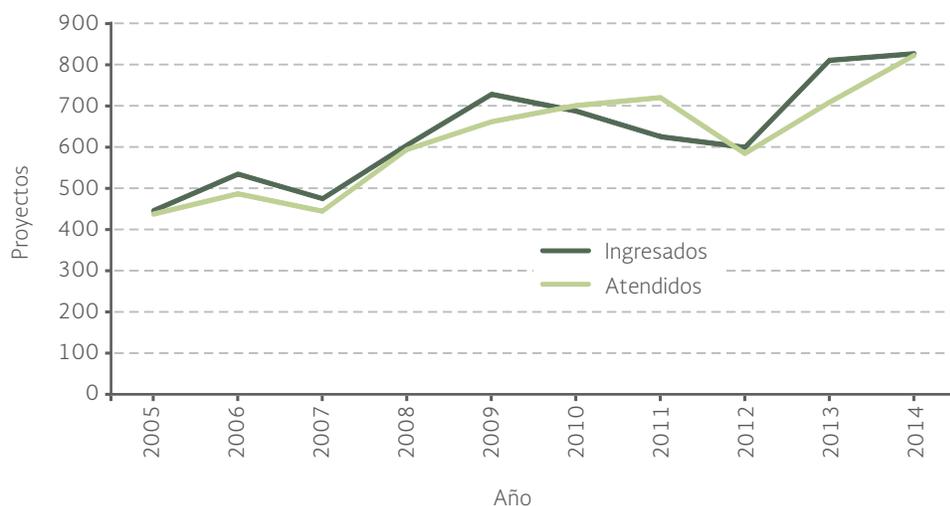
Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, la Semarnat emite la resolución correspondiente, la cual puede negar o aprobar la autorización para la ejecución del proyecto. En caso de aprobación, ésta puede darse en los términos solicitados o si se considera necesario, señalando las condiciones 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 2005-2014, la Semarnat recibió 6 322 proyectos (702 en promedio por año) y atendió 6 145 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 (4 282 proyectos), recursos hidráulicos (1 951), turismo (1 551), gasero (1 090) e industrial (957; Figura 2.46; Cuadro D4_IMPACTO00_03).

Los estados que en el periodo 2005-2014 ingresaron el mayor número de proyectos al procedimiento de impacto ambiental fueron Guerrero (570), Quintana Roo (499) y Veracruz (468); en contraste, Morelos (35), Distrito Federal (45), Tlaxcala (45), Zacatecas (52) y Durango (54) 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.

Figura 2.45 | *Proyectos ingresados y atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, 2005 - 2014¹*



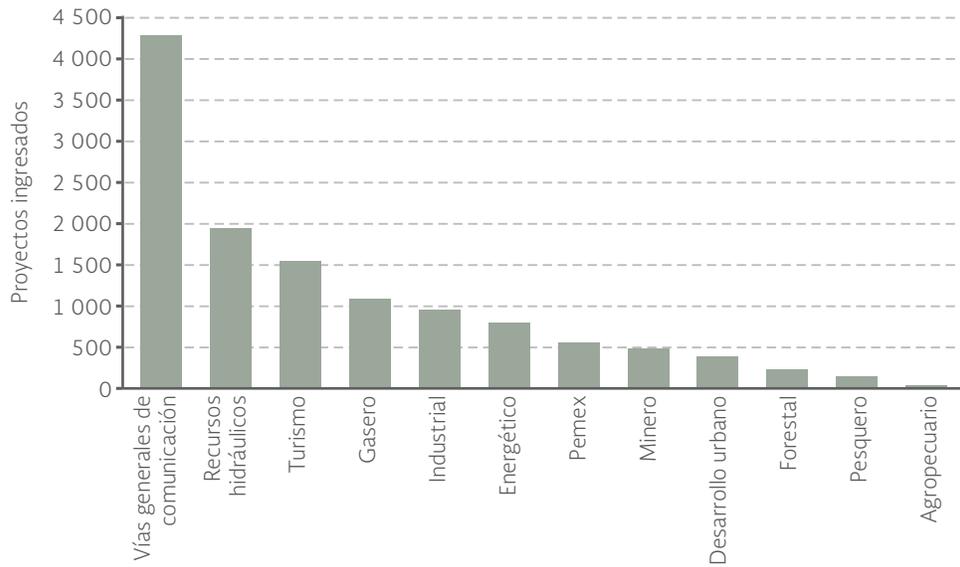
Nota:

¹ Los años en los que se atienden más proyectos que los ingresados se debe a que incluyen los rezagos de años anteriores. El hecho de que un proyecto sea reportado como atendido no significa que haya sido autorizado.

Fuente:

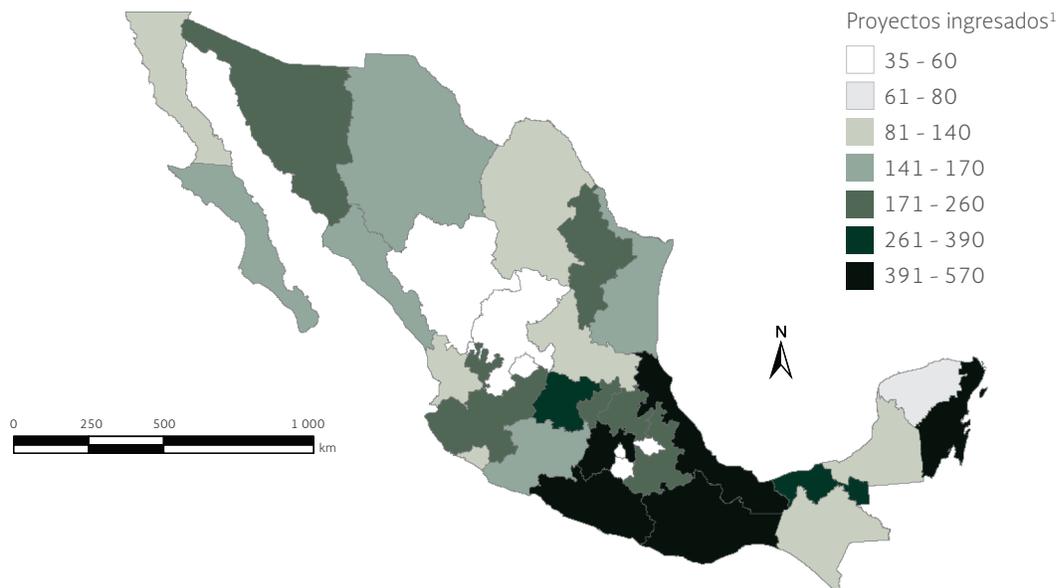
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. Mayo 2015.

Figura 2.46 | *Proyectos ingresados y atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por tipo de obra o actividad, 2005 - 2014*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. Mayo 2015.

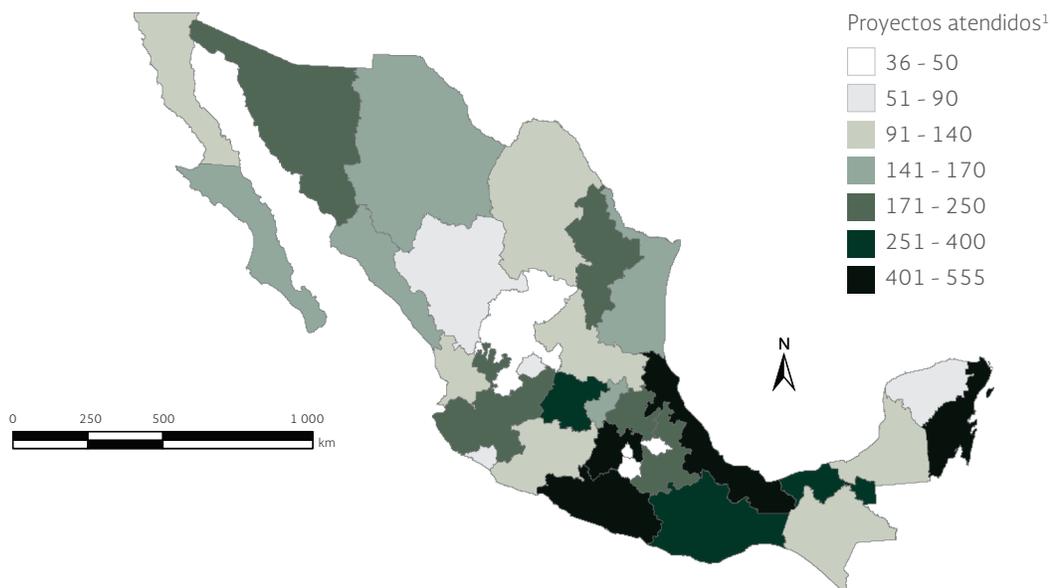
Mapa 2.27 | *Proyectos ingresados bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por entidad federativa, 2005 - 2014*



Nota:
¹ Los datos presentados no incluyen los proyectos atendidos en las Delegaciones Federales de la Semarnat.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. Mayo 2015.

Mapa 2.28 | *Proyectos atendidos bajo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental por entidad federativa, 2005 - 2014*



Nota:

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

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Semarnat. Mayo 2015.

REFERENCIAS

Brockway, D.G., E.F. Loewenstein y K.W. Outcalt. Proportional basal area method for implementing selection silviculture systems in longleaf pine forests. *Canadian Journal of Forest Research* 44: 977-985. 2014.

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.

Challenger, A. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. UNAM-Instituto de Biología. México. 1998.

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

Conanp. Áreas naturales protegidas. Conafor. México. Disponible en: www.conanp.gob.mx/. Sistema de información geográfica. <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/>. Fecha de consulta noviembre 2015.

Cotecoca y Sagarpa. *Monografías de Coeficientes de Agostadero*. Cotecoca, Sagarpa. México. Abril 2015.

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

DOF. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental*. México. 2014. (31 de octubre).

DOF. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental*. México. 2015. (9 de enero).

- FAO. *Global Forest Resources Assessment 2015*. FAO. Roma. 2015.
- FAO. *Global Forest Resources Assessment, terms and definitions 2012*. FAO. Roma. 2012.
- Haltenhoff, H. *Manual de efectos del fuego y evaluación de daños*. Proyecto FAO/TCP/ GUA/2903. Guatemala. 2005.
- INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie I (1968-1986), escala 1:250 000*. INEGI. México. 1993.
- INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie II (Reestructurada) (1993), escala 1:250 000*. INEGI. México. 2004.
- INEGI. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III (2002), escala 1:250 000 (Continuo Nacional)*. INEGI. México. 2005.
- INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (2007), escala 1:250 000*. INEGI. México. 2011.
- INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000*. INEGI. México. 2013.
- INEGI. *Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie V*. INEGI. México. 2015.
- INE y Semarnat. La modelación de la deforestación en México e implicaciones para proyectos de captura de carbono. INE, Semarnat. México. Disponible en: www2.inecc.gob.mx/cclimatico/definfesp.html. Fecha de consulta: noviembre de 2015.
- Kara, F. y E.F. Loewenstein. Influence of residual basal area on longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) first year germination and establishment under selection silviculture. *Open Journal of Forestry* 5: 10 -20. 2015.
- 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.
- Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington. 2005.
- Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas (RANP). Disponible en: www.anpestatales.mx/index.php. Fecha de consulta: noviembre 2015.
- 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: Dirzo, R., R. González y I.J. March (Comp.). *Capital Natural de México, Volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio. México. 2008.
- SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. SARH. México. 1994.
- SCBD. *The Value of Forest Ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity*. CBD Technical Series No. 4. Montreal, Canadá. 2001a.
- SCBD. *Sustainable management of non-timber forest resources*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. CBD Technical Series no. 6. Montreal, Canadá. 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 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*. Semarnat, CP. México. 2003.
- Semarnat, DGPAIRS. *Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio. México. 2012*. Disponible en: www.Semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/programa-de-ordenamiento-ecologico-general-del-territorio-poegt. Fecha de consulta: septiembre 2015.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2012*. Semarnat. México. 2013.
- Conafor, Semarnat. *Inventario Forestal Nacional 2000*. Conafor, Semarnat. México. 2001.
- UNEP. *Keeping Track of Our Changing Environment: From Rio to Rio+20 (1992-2012)*. UNEP. Nairobi. 2011.
- Vargas-Larreta, B.; J.J. Corral-Rivas, O. Aguirre-Calderón y J. Nagel. Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. *Madera y Bosques* 16 (4): 81-104. 2010.
- 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.



3

Suelos

El suelo es un elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra. Además de ser el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y el hábitat de la biodiversidad, participa de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. El suelo, al igual que los bosques, el agua, e incluso los yacimientos minerales, es un recurso finito que forma parte del capital estratégico natural de cualquier país. Sin embargo, a pesar de ser el sostén de muchas de las economías agrícolas del mundo, se encuentra bajo una creciente presión de deterioro derivada tanto del crecimiento poblacional como de los patrones insostenibles de producción y consumo globales. Su degradación puede explicarse, al menos en parte, a que no se le considera aún en las políticas públicas como un recurso patrimonial ni ambiental de primer orden, debido, en gran medida, a que no es un bien directamente consumible y a la percepción errónea de que es renovable en la escala de tiempo humana, sin embargo, se calcula que una capa de un centímetro de espesor de suelo puede tardar en formarse alrededor de cien años (Zinck, 2005; Guevara *et al.*, 2012; Gardi *et al.*, 2014; FAO, 2015).

Si bien es necesario fortalecer la conciencia sobre el papel fundamental de los suelos, tanto para el funcionamiento de los ecosistemas como para el bienestar humano (ver el recuadro **Los servicios ambientales del suelo**), también es prioritario contar con información actualizada y confiable sobre su inventario, características y estado, así como de sus dinámicas de formación y degradación. El conocimiento y manejo de la información edafológica constituye la base estratégica para planificar e implementar acciones dirigidas a su estudio, conservación y manejo sustentable (Gardi *et al.*, 2014). En este contexto, el contenido de este capítulo se centra en presentar la información relativa al estado nacional de los suelos, el estado de su degradación y los procesos de desertificación a los que está siendo sometido, así como los programas de conservación y recuperación de suelos que están en marcha en el país.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Exceptuando los glaciares, los cuerpos de agua y las zonas urbanas, el suelo cubre de manera continua la superficie terrestre en una variada gama de tipos. Sin embargo, las ciencias del suelo (p. ej., la edafología y la pedología), no poseen un sistema de clasificación universalmente aceptado y los que son utilizados por la mayoría de los países dependen, en gran medida, de la inversión

Recuadro | Los servicios ambientales del suelo

Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de manera directa o indirecta 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 cada una de estas categorías, siendo particularmente importante su participación en las tres primeras.

El suelo provee una gran variedad de microambientes para las bacterias, protozoarios, artrópodos y nemátodos, cuya participación es fundamental en los ciclos biogeoquímicos. En el caso particular del ciclo del carbono, y debido a la importancia de este gas en el contexto del cambio climático, la capacidad de almacenamiento del suelo se convierte en un elemento clave en el ciclo global de este elemento. Se ha estimado que 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. Algunos cálculos ubican el reservorio de carbono en el suelo en el orden de 2 300 gigatoneladas¹ en los primeros tres metros de profundidad, y con capacidad para permanecer retenido por cientos o miles de años, hasta que la propia actividad biológica o geológica lo libera en forma de CO₂. Sin embargo, las actividades humanas, principalmente las agrícolas, han roto este balance natural. Se estima que durante las primeras décadas en que el suelo es cultivado, arriba del 50% del almacén de carbono se pierde como CO₂. Esto ha llevado a que a lo largo de la historia humana, ya se podrían haber liberado entre 50 y 70 gigatoneladas de carbono a la atmósfera (Amudson *et al.*, 2015).

El suelo tiene también un papel muy importante en el ciclo hidrológico. El agua almacenada en el suelo, llamada agua verde (ver la sección **Huella hídrica**, en el capítulo de **Población y medio ambiente** de este Informe) representa cerca del 90% del agua consumida por los cultivos alrededor del mundo. Se estima que el flujo global de agua verde representa en torno al 65% del flujo global de agua dulce. Este servicio, junto con la capacidad del suelo para absorber y posteriormente emitir calor, lo convierten también en un importante regulador climático.

Otros servicios de regulación que se obtienen del suelo están asociado a la disponibilidad de nutrientes y compuestos tóxicos. Las cargas eléctricas de sus partículas, combinadas con su tamaño pequeño y su amplia superficie de contacto, proveen las condiciones para que se realicen una amplia gama de reacciones químicas. Estas reacciones pueden desactivar o reducir la toxicidad de los contaminantes que llegan al suelo, y con ello evitar su paso a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

El servicio ambiental más conocido que provee el suelo es el de provisión, ya que es el sustrato para la obtención de cultivos comestibles, para forraje, fibras y combustible. Se estima que 95% de los alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos. También es la veta de materiales utilizados en la construcción (arenas, gravas y arcillas) y para objetos diversos

¹ Una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas.

(piedras y metales preciosos). El suelo es el hábitat de organismos que son fuente de genes utilizados en el desarrollo biotecnológico, en el control de los patógenos o para promover el crecimiento vegetal.

Atendiendo a la importancia del suelo como recurso fundamental en la lucha contra el hambre y la inseguridad alimentaria, y como proveedor de otros servicios ambientales, la FAO junto a sus Estados miembros, implementaron la Alianza Mundial por el Suelo como estrategia para promover su manejo sostenible e incluirlo en las diversas agendas de desarrollo. Así mismo, la Asamblea General de las Naciones Unidas decretó a 2015 como el Año Internacional de los Suelos, entre cuyos objetivos específicos se encontraban apoyar políticas y medidas eficaces para la gestión y protección sostenibles del suelo, promover inversiones en actividades sostenibles y generar conciencia sobre este recurso tanto en la sociedad civil como en los responsables de la toma de decisiones.

Referencias:

Amudson, R., A.A. Berche, J.W. Hopmans, C. Olson, A.E. Sztein y D.L. Sparks. Soil and human security in the 21st century. *Science* 348 (6235): 1261071-1 - 1261071-6. 2015.

FAO. *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soils Resources Reports. No. 102. FAO. Rome. 2004. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr102.pdf>. Fecha de consulta: enero de 2016.

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

ONU. *Resolución aprobada por la Asamblea General del 20 de diciembre de 2013*. 68/232. Día Mundial del Suelo y Año Internacional de los Suelos. 7 de febrero de 2014.

Sposito, G. Green water and global food security. *Vadose Zone Journal* 12(4). 2013.

que se realiza en el levantamiento de los suelos para su diagnóstico. De hecho, muchos países cuentan con un método propio de clasificación que puede basarse simplemente en necesidades prácticas, a tal grado, que los nombres que utilizan son locales y tienen sentido sólo en esa región (Gardi *et al.*, 2014). Esta situación complica la comparación internacional, ya que normalmente no hay una equivalencia entre estos sistemas clasificatorios. Existen, sin embargo, un par de intentos para armonizar la forma de clasificar y caracterizar los suelos: la taxonomía de suelos de la USDA¹ y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (World Reference Base for Soil Resources, conocida como WRB por sus siglas en inglés), liderada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Esta última retoma las características mínimas indispensables de los suelos y es menos costosa, además de que es importante en algunos sistemas nacionales porque incorpora los suelos típicos de varias regiones del mundo a su descripción general, por lo que su objetivo no es sustituir, sino facilitar la comunicación internacional a través de un lenguaje que incorpore los términos edáficos comunes (WRB, 2014).

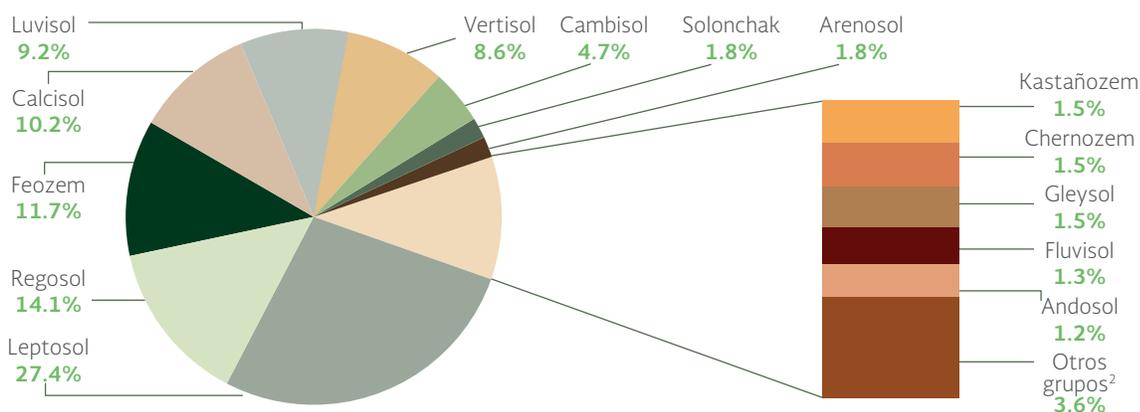
¹ USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Para la WRB, el suelo es cualquier material dentro de los dos metros de superficie terrestre que está en contacto con la atmósfera, con exclusión de los organismos vivos, las áreas con hielo continuo que no están cubiertas por otro material y los cuerpos de agua con profundidades mayores a dos metros. Sin embargo, incluye la roca continua, los suelos urbanos pavimentados, de áreas industriales, de cuevas y los suelos subacuáticos (WRB, 2014). La clasificación más actualizada de la WRB (2014) incluye 32 unidades de suelo, y está basada en las diferencias que existen en sus características diagnósticas (horizontes, propiedades físicas, químicas y biológicas) y la relación con sus factores formadores (roca madre, clima, topografía, biota y tiempo; Gardi *et al.*, 2014; WRB, 2014). El sistema de clasificación edáfica utilizado oficialmente en México por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el de la WRB adaptado para las condiciones ambientales nacionales a partir de 1968, y reportado en la primera versión de las cartas edafológicas del INEGI.

SUELOS DE MÉXICO

El INEGI reporta la presencia en México de 25 de las 32 unidades de suelo que aparecen en la clasificación WRB. Esta riqueza edáfica se puede explicar por las múltiples combinaciones de los factores que forman el suelo y que se presentan en el territorio nacional. A pesar de que seis grupos cubren en conjunto el 80.7% de la superficie nacional, la diversidad edáfica nacional la determinan los restantes 19 grupos distribuidos en un gran número de microrrelieves, microclimas y tipos de vegetación (Cruz *et al.*, 2007). Las seis unidades dominantes son: Leptosoles (con 52.6 millones de ha, 27.4% del territorio), Regosoles (27 millones de ha; 14.1%), Feozems (22.5 millones de ha; 11.7%), Calcisoles (19.6 millones de ha; 10.2%), Luvisoles (17.7 millones de ha; 9.2%) y Vertisoles (16.5 millones de ha; 8.6%; Figura 3.1). Las 19 unidades minoritarias cubren una superficie aproximada de 36 millones de hectáreas (Mapa 3.1). Para mayores detalles respecto a las características de los suelos mencionados, consultar el recuadro **Unidades principales de suelo en México**.

Figura 3.1 | Superficie relativa¹ de los principales grupos de suelo en México



Notas:

¹ Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

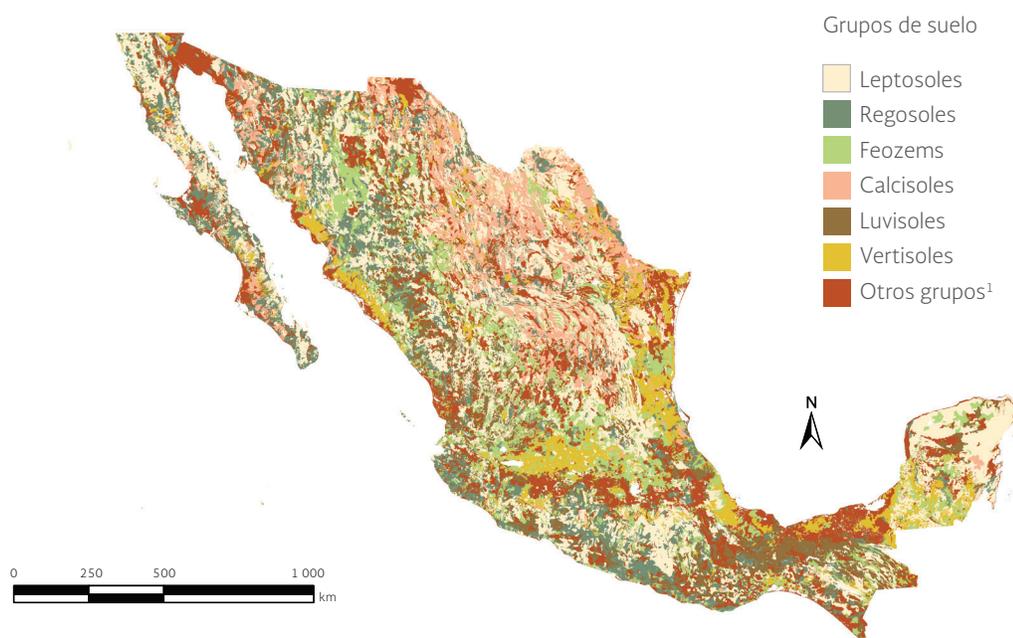
² Incluye: Acrisol, Alisol, Durisol, Gypsisol, Histosol, Lixisol, Nitisol, Planosol, Plintosol, Solonetz y Umbrisol.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Serie II, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2007.

Mapa 3.1 | Principales grupos de suelo en México



Nota:

¹ Incluye: Acrisol, Alisol, Andosol, Arenosol, Cambisol, Chernozem, Durisol, Fluvisol, Gleysol, Gypsisol, Histosol, Kastañozem, Lixisol, Nitisol, Planosol, Plintosol, Solonetz, Solonchak y Umbrisol.

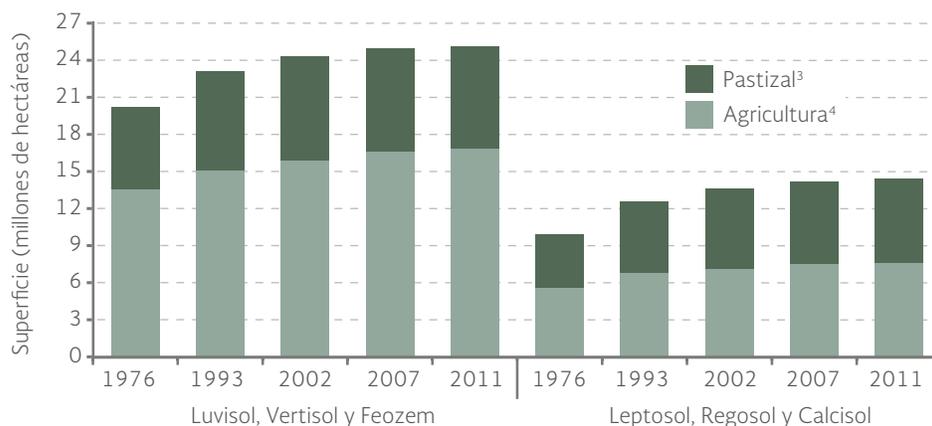
Fuente:

Elaboración propia con datos de:
INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Serie II, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2007.

AGRICULTURA Y GRUPOS DE SUELO

De las seis unidades de suelo dominantes en México, tres tienen características que las vuelven apropiadas para su aprovechamiento agrícola: los Luvisoles, Vertisoles y Feozems. La superficie conjunta de estos suelos que está dedicada a labores agropecuarias ha crecido significativamente en las últimas décadas. A mediados de los años setenta del siglo pasado, del área total ocupada por estos suelos, el 35.8% era utilizada en actividades agropecuarias (24.1% dedicado a la agricultura y 11.7% para pastizales ganaderos), alcanzando en 2011 el 44.7% (30% en agricultura y 14.7% en pastizales; Figura 3.2). Los tres restantes grupos de suelo dominantes tienen propiedades que dificultan su aprovechamiento agrícola y aumentan su vulnerabilidad a la erosión. Los Leptosoles tienen severas limitaciones para el enraizamiento de las plantas, debido a su poca profundidad, los Regosoles son relativamente jóvenes por lo que tienen poco o nulo desarrollo del perfil, mientras que los Calcisoles tienen elevadas concentraciones de carbonato de calcio. Sin embargo, a pesar de estas características su uso para actividades agropecuarias ha aumentado. A mitad de la década de los setenta, el 9.9% de la superficie que ocupaba este conjunto de suelos estaba dedicado a las actividades agropecuarias, mientras que a finales de la primera década del siglo XXI, esta cifra alcanzaba 14.4% (7.6% en agricultura y 6.8% en pastizales; Figura 3.2).

Figura 3.2 | Superficie agropecuaria según grupo de suelos, 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011^{1,2}



Notas:

¹ 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.

² Los valores 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, 2011 y 2013) para los años 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011.

³ Pastizal incluye: pastizal cultivado, inducido y sabanoide.

⁴ Agricultura incluye: riego, temporal y humedad.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

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

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

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

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

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000. INEGI. México. 2013.

INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Serie II, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2007.

LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

Los procesos de la degradación del suelo son un fenómeno presente en todo el mundo, con diferentes niveles e impactos en la sociedad. Implican la reducción de su complejidad biológica, de su capacidad para producir bienes económicos y de llevar a cabo funciones de regulación directamente relacionadas con el bienestar humano, como son la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y el aire (Lal, 1998). La FAO define a la degradación como un cambio en la salud del suelo, que se refleja en la disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios ambientales, tanto directos como indirectos (FAO, s/a). Puede ser de origen natural y humano, y es el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima; de factores socioeconómicos como la densidad poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi et al., 2014).

La preocupación e importancia de la degradación de los suelos se debe a la pérdida y deterioro de la calidad de los servicios ambientales que se obtienen de él, siendo quizá los más importantes la producción de alimentos y la captación de agua. El problema de la degradación y de la pérdida de productividad de los suelos se extiende, en muchos casos, más allá de las afectaciones a este recurso, cuando zonas con coberturas forestales o de otros ecosistemas naturales se transforman a campos de cultivo, con lo cual, además de los daños a la biodiversidad, se producen grandes pérdidas de carbono orgánico del suelo y, por ende, la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Recuadro | Unidades principales de suelo en México

En México existe una gran diversidad edáfica, representada por 25 grupos de suelo. Sin embargo, sólo seis de ellos (Leptosoles, Regosoles, Feozems, Calcisoles, Luvisoles y Vertisoles) ocupan en conjunto 81.7% del territorio. Las características principales de estos suelos son:

Los Leptosoles (del griego *leptos*, delgado) son suelos someros y pedregosos que pueden tener roca continua en o muy cerca de la superficie. Se encuentran en todos los tipos de climas (secos, templados, húmedos) y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en planicies calizas superficiales. El calcio que contienen puede inmovilizar los minerales, lo cual junto con su poca profundidad y alta pedregosidad, limita su uso agrícola si no se utilizan técnicas apropiadas, por lo que debe preferirse mantenerlos con su vegetación original. Son los suelos de mayor distribución a nivel mundial con alrededor de 1 655 millones de hectáreas (IUSS, 2007). En México, los Leptosoles cubren 54.3 millones de hectáreas y son particularmente comunes en las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, las penínsulas de Yucatán y Baja California, y una vasta región del Desierto Chihuahuense.

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 general, son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado¹, de colores claros y pobres en materia orgánica y con mínimo desarrollo de perfil. 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. Los Regosoles de las zonas áridas tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (IUSS, 2007), mientras que los de regiones montañosas son frágiles y susceptibles a la erosión, por lo que no son convenientes para actividades agropecuarias. A nivel mundial, los Regosoles ocupan alrededor de 260 millones de hectáreas (IUSS, 2007), mientras que en México lo hacen en 26.3 millones de hectáreas, distribuidos entre otras zonas en la Sierra Madre Occidental y del Sur, y en la Península de Baja California.

Los Feozems (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra) son suelos porosos, oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que se utilizan intensivamente en la agricultura; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. 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, están en aproximadamente 22.5 millones de hectáreas que se distribuyen, entre otras regiones, en porciones del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente.

¹ Es un agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

Los Calcisoles (del latín *calx*, cal) son suelos con acumulación sustancial de material calcáreo. Están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos. Proviene principalmente de depósitos aluviales, coluviales y eólicos de material meteorizado. 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). Los matorrales xerófilos son los ecosistemas naturales típicos de estos suelos. 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, cubren alrededor de 20 millones de hectáreas y se encuentran principalmente 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 forman a partir de 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 marcada estacionalidad de lluvia y sequía. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado, sobre todo para 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 y en México en 17.3 millones, siendo la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán, algunas de sus zonas de distribución.

Los Vertisoles (del latín *vertere*, invertir) son suelos muy comunes 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 y con alto riesgo de salinización (IUSS, 2007). Su uso agrícola, particularmente de riego, es muy extenso, variado y productivo. A nivel mundial ocupan alrededor de 335 millones de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad se destinan al cultivo de maíz. En México cubren 16.5 millones de hectáreas y ocupan gran parte de los principales distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz.

Referencias:

INEGI. *Conjunto Nacional de Información Edafológica*. Serie II. INEGI. México. 2007.

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.

Por lo anterior, es necesario dar a conocer la información sobre la extensión de la degradación, sus tipos y niveles para tomar las medidas necesarias de prevención, recuperación y, sobre todo, de su remediación (Zinck, 2005).

Regularmente, la información sobre la degradación de los suelos se obtenía a partir de los inventarios edáficos nacionales o regionales. Sin embargo, desde la década de los años noventa muchos países dejaron de actualizarlos, principalmente por lo complejo y costoso de su levantamiento, ya que involucran personal altamente especializado, tanto para realizar determinaciones en campo y laboratorio, como para el uso de herramientas de teledetección (p. ej., imágenes de satélite) y de sistemas de información geográfica (Zinck, 2005).

En México, los estudios sobre la degradación de suelos datan de mediados del siglo pasado, pero debido a diferencias metodológicas, a los objetivos en su valoración, las estimaciones difieren significativamente entre sí y no son comparables (Tabla 3.1; Semarnat y CP, 2003). Esto implica no tener una descripción precisa de los cambios ocurridos a través del tiempo con respecto a la superficie nacional de suelos degradados.

En los primeros años de la década pasada, se publicó 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). En este estudio se determinó de manera indirecta la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica a partir de información cartográfica (p. ej., de edafología y precipitación) y de modelos paramétricos (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y Ecuación de la Erosión Eólica) que fueron alimentados

Tabla 3.1 | Estimaciones de la superficie nacional afectada por erosión¹ del suelo

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Superficie nacional afectada (%)</i>	<i>Forma de cuantificación</i>
Baldwin	1945	45	Indirecta
SARH	1960	69	Estimaciones visuales
Andrade	1975	80	
Estrada y Ortiz	1982	98	Ecuaciones paramétricas
García	1983	71	Imágenes de satélite
SARH	1986	81	Imágenes de satélite
Geissert y Rossignol	1987	86	Indirecta

Nota:

¹ Se refiere a un grupo de procesos (lluvia, viento u oleaje) que descomponen, desintegran, remueven, transportan y acumulan materiales sobre la superficie de la tierra, modelando y transformando el paisaje.

Fuente:

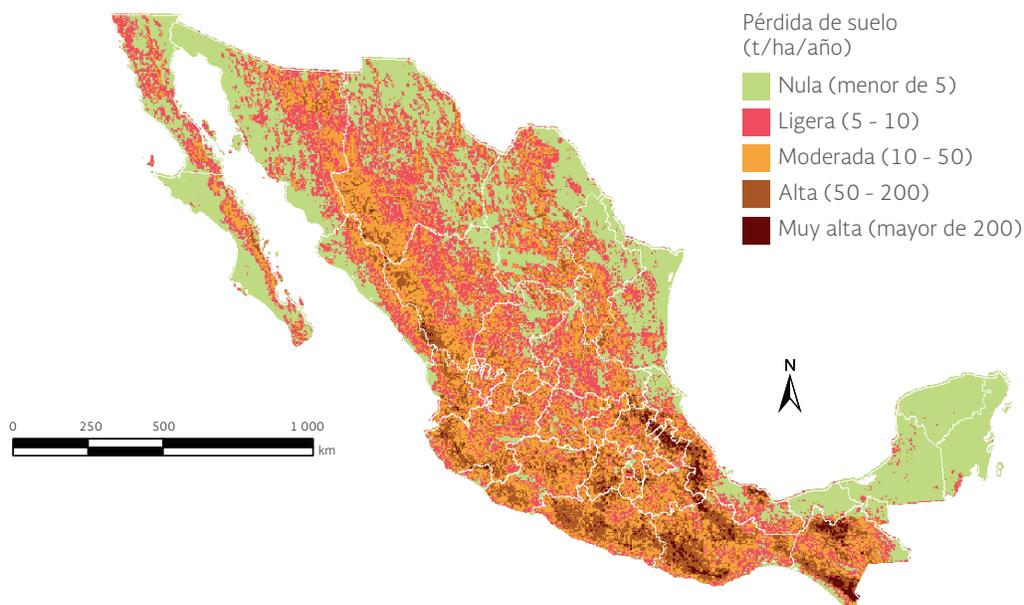
Tomado de: Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II*. Conafor, UACH. México. 2013.

por diversas variables evaluadas en muestras de suelo. Por su metodología, la estimación resultante es más una medida de la degradación potencial² y es una evaluación indirecta 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 la toma de 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 estar afectada por erosión hídrica, y que 17 entidades federativas presentarían daño en más de 50% de su territorio, entre ellas Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y 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).

Con respecto a la erosión eólica, 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).

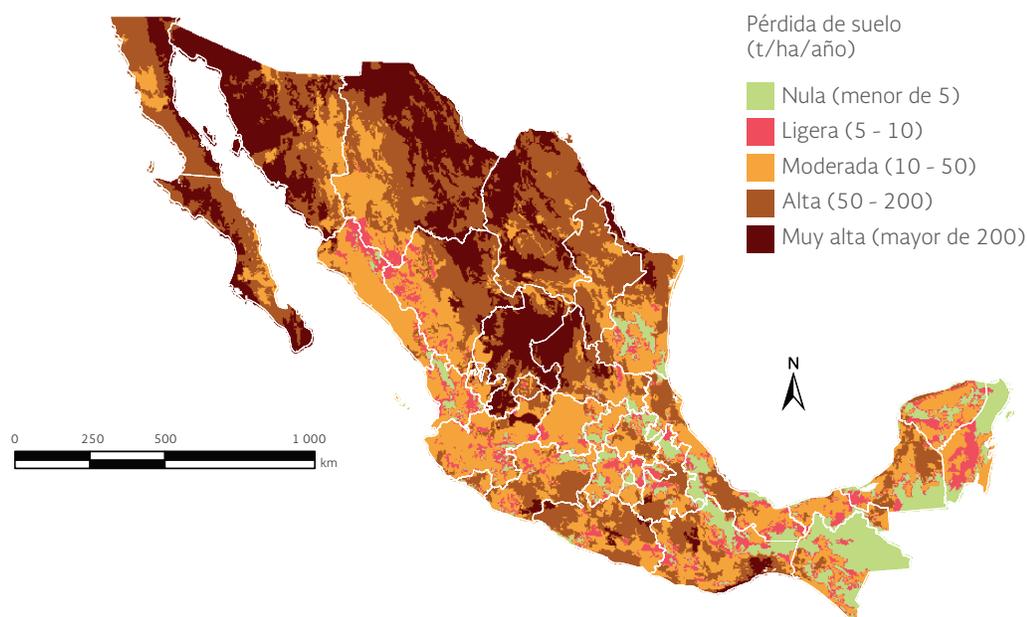
Mapa 3.2 | Erosión hídrica potencial de suelos según nivel, 2002



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.* Semarnat y UACH. México. 2003.

² Se refiere a que el trabajo al que se hace referencia es cartográfico, con puntos de reconocimiento en campo y apoyado en datos cuantitativos generados en otros estudios.

Mapa 3.3 | Erosión eólica potencial de suelos según nivel, 2002



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.* Semarnat y UACH. México. 2003.

En el año 2003 se publicaron los resultados del estudio denominado *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000* (Semarnat y CP, 2003)³. Esta evaluación parte de la metodología de Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en el Sur y Sureste de Asia (ASSOD, por sus siglas en inglés), la cual es una modificación de otra metodología usada por el Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos (ISRIC) para elaborar el Mapa Mundial de la Degradación del Suelo inducida por el Hombre (GLASSOD, por sus siglas en inglés). En la metodología ASSOD no se consideró el proceso de degradación biológica debido a lo complejo de su documentación, y se sustenta en un amplio muestreo en campo que permitió determinar de manera directa cuatro procesos de degradación: degradación física y química y erosión eólica e hídrica, cada uno de ellos con diversos tipos específicos y niveles (ligero, moderado, fuerte y extremo); así como las causas de cada proceso. Estas variables se ubicaron en espaciomapas de INEGI en escala 1: 250 000. Con estas bases, la Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el hombre en la República Mexicana es hasta hoy el estudio de degradación de mayor resolución que se ha hecho para México.

Los resultados de esta evaluación indican que el 44.9% de los suelos del país se encontraban afectados por algún proceso de degradación. La degradación química ocupaba el primer lugar en extensión (34 millones de ha, 17.8% del territorio nacional), seguida por la erosión hídrica (22.7 millones de ha, 11.9%), eólica (18.1 millones de ha, 9.5%) y, al final, la degradación física

³ Aunque existen evaluaciones más recientes realizadas en la presente década, sus resultados están sujetos a validación, por lo que los datos que continúan siendo oficiales para México en cuanto a superficie afectada por degradación del suelo son los que se reportan en la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*.



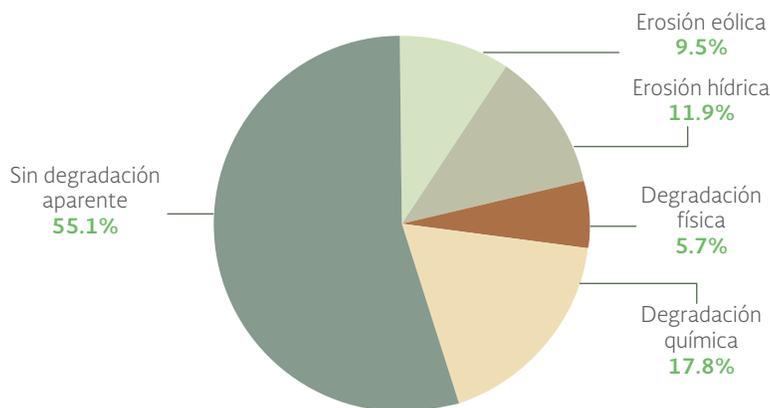
(10.8 millones de ha, 5.7%); mientras que los suelos sin degradación aparente ocupaban el 55.1% restante del territorio nacional (105.2 millones de ha; Figura 3.3; **IB 3.3, IC 13**). Los cuatro procesos de degradación del suelo, así como la superficie sin degradación aparente, se detectaron tanto en suelos de ecosistemas naturales como manejados.

Para profundizar en el análisis de la degradación, cada proceso se subdividió en tipos específicos. En los casos de erosión hídrica y eólica se dividieron en pérdida de suelo superficial, deformación de terreno y efectos fuera de sitio. En ambos casos, la pérdida de suelo superficial representó el tipo específico dominante, ya que en la erosión hídrica alcanzó 88%, y en la eólica, el 95.5% de la superficie nacional afectada por cada uno de estos procesos de degradación.

Para la degradación química, los tipos específicos fueron la disminución de la fertilidad, contaminación, salinización-alcalinización y eutrofización; mientras que para la física, fueron la compactación, pérdida de la función productiva, disminución de la disponibilidad de agua, encostramiento y sellamiento y anegamiento. En la degradación química predominó la disminución de la fertilidad (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**).

El otro ángulo de análisis de la degradación de suelo fue a través del nivel de afectación, el cual se determinó a partir de la reducción de la productividad biológica⁴. De esta manera, el 2.1% (3.97 millones de ha) del país presentaba niveles de degradación fuerte y extremo y el 42.8% (81.78 millones de ha), ligero y moderado (Figura 3.5; **Cuadro D3_SUELO03_01**).

Figura 3.3 | Superficie relativa¹ afectada por procesos de degradación del suelo en México, 2002²



Notas:

¹ Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

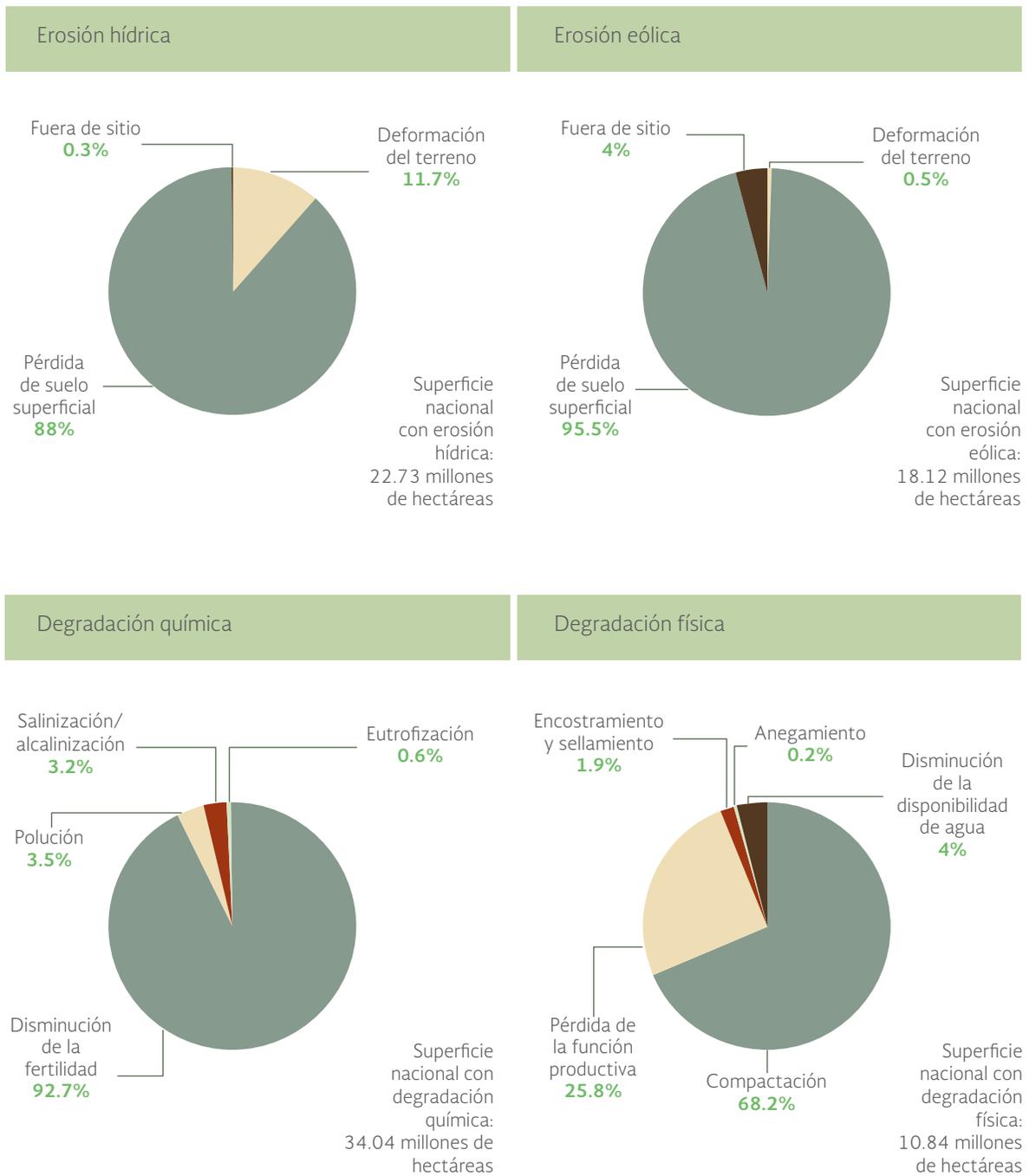
² Superficie nacional considerada: 1 909 818.5 km². No incluye cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, regiones desprovistas de vegetación y superficie insular.

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*. Semarnat y CP. México. 2003.

⁴ El estudio describe cuatro niveles de afectación: ligero, donde los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad; moderado, en el cual los terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas presentan una marcada reducción en su productividad; fuerte, en donde 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; y extremo, cuya productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible.

Figura 3.4 | Superficie relativa¹ afectada por degradación del suelo por proceso y tipo en México, 2002



Nota:

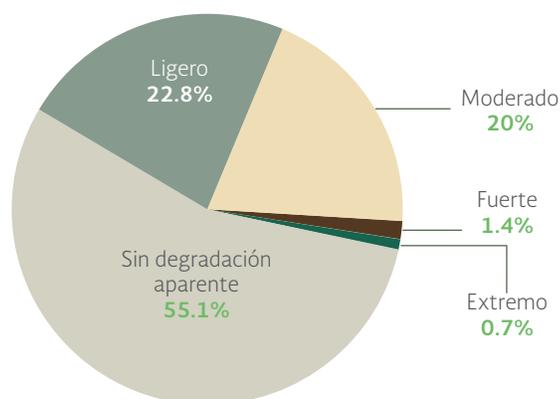
¹ Los porcentajes pueden no sumar 100% debido al redondeo de las cifras.

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.* Semarnat y CP. México. 2003.

Figura 3.5 Superficie relativa afectada por degradación del suelo según nivel en México, 2002



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.* Semarnat y CP. México. 2003.

La combinación de los dos criterios descritos (procesos y niveles) mostró que entre 55 y 62% de la superficie con erosión hídrica y degradación química y física, se encontraba en nivel ligero, mientras que para el caso de la erosión eólica, la mayor proporción de superficie afectada (alrededor de 67%) se encontraba en el nivel moderado (Figura 3.6).

Los resultados nacionales anteriormente descritos muestran diferencias importantes en cuanto a la degradación del suelo en cada entidad federativa. Por ello, en las siguientes secciones se describen de manera detallada los cuatro procesos de degradación (erosión hídrica y eólica y degradación química y física), los niveles de afectación en que se presentan y su distribución geográfica en el territorio nacional.

EROSIÓN HÍDRICA

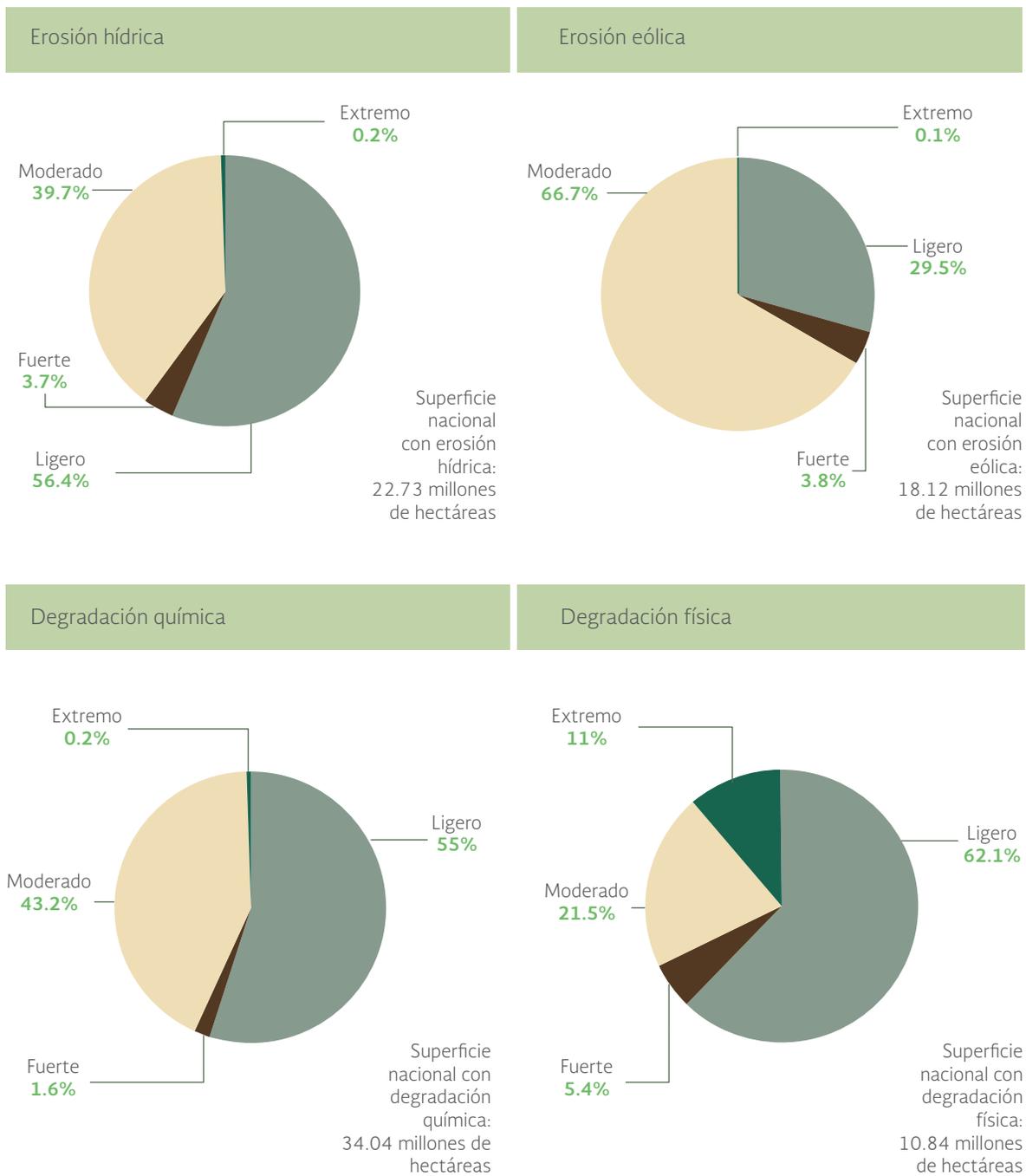
La tasa y magnitud de la erosión hídrica están controladas principalmente por la intensidad de la lluvia, la erodabilidad propia de los suelos, la pendiente del terreno y la cubierta vegetal. Estos factores, combinados con el manejo inadecuado de las tierras forestales, agrícolas y ganaderas, provocaron que para el 2002 la erosión hídrica estuviera presente en casi 12% del territorio nacional (22.73 millones de ha). De esta superficie, 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 3.4, Cuadro D3_SUELO03_03). Si se analiza a nivel estatal, en proporción relativa a su territorio, Guerrero resultó la entidad mayormente afectada con 31.8% con este tipo de erosión; mientras que Baja California Sur (0.03%), Baja California (0.1%) y Veracruz (1%) se encontraban entre las menos afectadas (Tabla 3.2).

EROSIÓN EÓLICA

La erosión eólica comparte con la erosión hídrica dos de los factores que controlan su tasa y magnitud, estos son la erodabilidad y la presencia de la vegetación. Sin embargo, en este proceso, la rugosidad del suelo⁵ y el clima también desempeñan papeles significativos. Este tipo de erosión afecta principalmente a las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, aunque no es exclusiva de ellas. Su presencia está asociada 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, de la superficie nacional con erosión eólica, 66.7% se encuentra en nivel moderado, 29.5% en ligero y 3.9% entre fuerte y extremo (Figura 3.6; Mapa 3.5; Cuadro D3_SUELO03_03).

⁵ La rugosidad es importante porque las superficies planas y lisas ofrecen menos resistencia al viento, y en el caso del clima, resulta relevante porque la dirección y velocidad del viento determina el movimiento de las partículas y la desecación del suelo.

Figura 3.6 | Superficie relativa¹ afectada por degradación del suelo por proceso y nivel en México, 2002



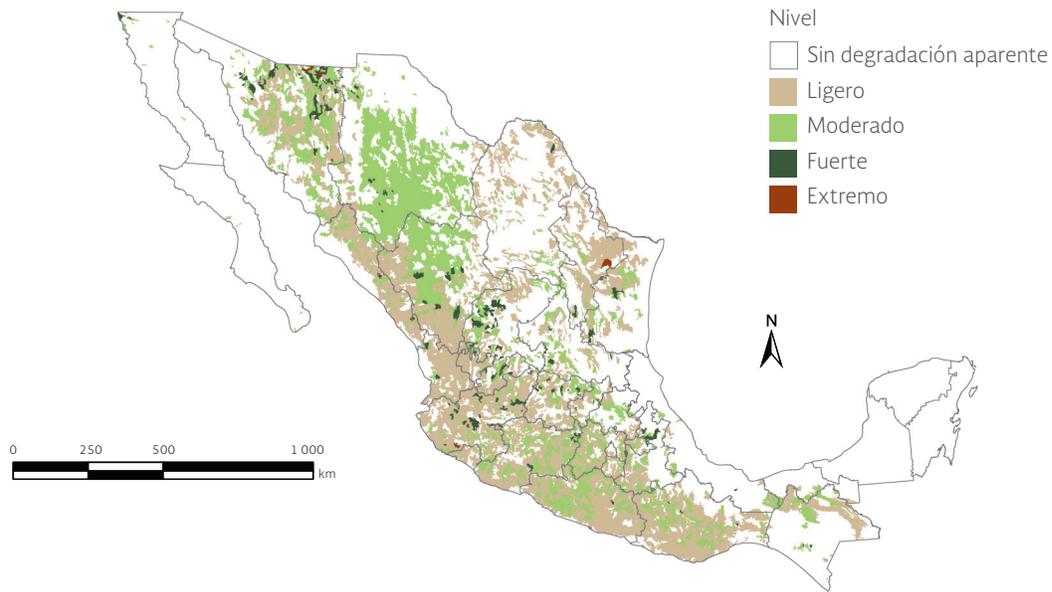
Nota:

¹ 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.* Semarnat y CP. México. 2003.

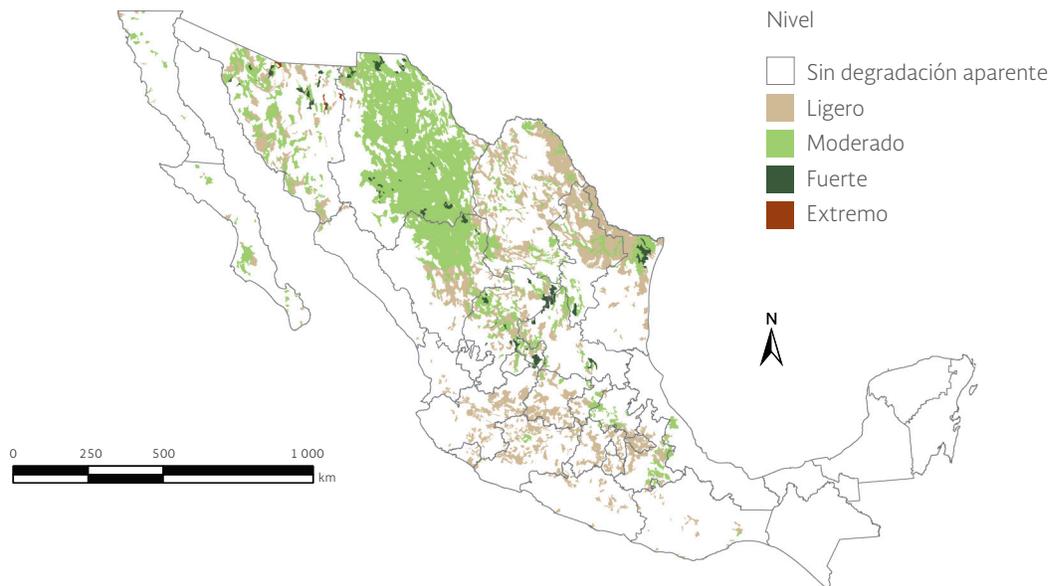
Mapa 3.4 | Erosión hídrica de suelos según nivel en México, 2002



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.*
Semarnat y CP. México. 2003.

Mapa 3.5 | Erosión eólica de suelos según nivel en México, 2002



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.*
Semarnat y CP. México. 2003.

Tabla 3.2 | Erosión hídrica según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	20	3.7	110.67	20.5	0	0	130.66	24.1
Baja California	2.7	0.04	3.93	0.1	0	0	6.58	0.1
Baja California Sur	1.1	0.02	1.14	0.02	0	0	2.20	0.03
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	108.3	0.7	495.53	3.3	0	0	603.85	4.0
Colima	5.7	1.1	109.61	20.2	0	0	115.31	21.3
Chiapas	42.5	0.6	324.71	4.5	0	0	367.18	5.1
Chihuahua	35.3	0.1	2 915.07	11.9	0	0	2 950.42	12.0
Distrito Federal	0.7	0.9	15.77	17.9	0	0	16.52	18.8
Durango	208.4	1.7	2 608.14	21.5	0	0	2 816.59	23.2
Guanajuato	104.4	3.5	598.01	20.2	1.79	0.1	704.19	23.8
Guerrero	351	5.6	1 643.62	26.2	0	0	1 994.65	31.8
Hidalgo	10.9	0.5	120.73	5.9	0	0	131.61	6.5
Jalisco	182.7	2.4	1 723.26	22.8	6.52	0.1	1 912.51	25.3
México	158.0	7.5	382.92	18.2	0	0	540.94	25.7
Michoacán	243.0	4.3	1 292.23	22.8	0	0	1 535.22	27.1
Morelos	12.3	2.6	51.64	11.0	0	0	63.93	13.7
Nayarit	5.0	0.2	482.55	17.8	0	0	487.59	18.0
Nuevo León	102.8	1.6	564.42	9.0	0	0	667.21	10.6
Oaxaca	231.7	2.5	1 436.73	15.7	0	0	1 668.44	18.3
Puebla	105	3.1	232.42	6.9	0	0	337.46	10.1
Querétaro	11.6	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	80.0	1.3	352.25	5.9	33.46	0.6	465.68	7.8
Sinaloa	41.7	0.8	821.60	15.4	0	0	863.27	16.2
Sonora	162	0.9	2 150.64	12.0	0	0	2 312.60	12.9
Tabasco	0.6	0	55.59	2.4	0	0	56.15	2.4
Tamaulipas	119.7	1.6	496.50	6.6	4.13	0.1	620.37	8.3
Tlaxcala	21.2	5.4	50.87	13.0	0	0	72.02	18.4
Veracruz	2.8	0.04	57.17	0.8	6.12	0.1	66.13	1.0
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	289.3	3.9	757.31	10.2	6.87	0.1	1 053.51	14.2
Superficie nacional afectada	2 660.4	1.4	20 003.97	10.5	61.3	0.03	22 725.7	11.9

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

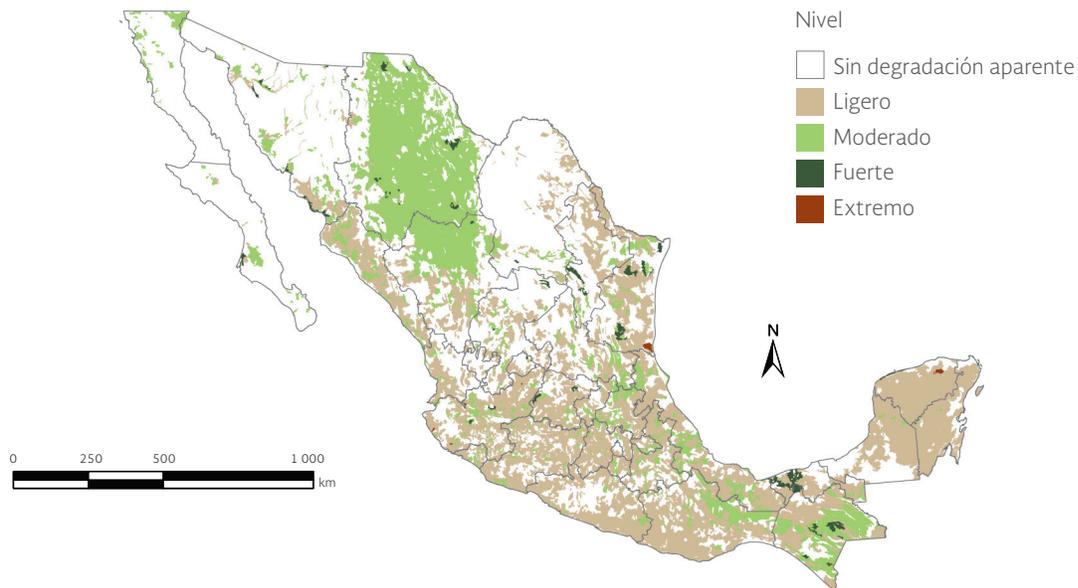
Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. Semarnat y CP. México, 2003.

Las entidades más afectadas por la erosión eólica, en proporción a su territorio, 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 3.3). Considerando los tipos específicos de la erosión eólica, las entidades más afectadas por la pérdida de suelo superficial fueron Tlaxcala (26%), Chihuahua (25.9%) y Nuevo León (18.9%). Los otros dos tipos específicos de erosión eólica, 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 entidades como Chihuahua, Durango, Coahuila y Puebla (Tabla 3.3).

DEGRADACIÓN QUÍMICA

La degradación química es el proceso de degradación del suelo más extendido en el país, con alrededor de 34.04 millones de hectáreas (17.8% del territorio). De éstos, 55% se encuentra en nivel ligero y 43.2% en moderado; mientras que los niveles fuerte y extremo ocupan en conjunto 1.8% de la superficie nacional afectada con este tipo de degradación (Figura 3.6; Mapa 3.6; Cuadro D3_SUELO03_03). La degradación química se presenta en prácticamente todas las entidades del país, aunque con diferencias importantes. Por ejemplo, en Baja California Sur sólo el 1.9% de su territorio mostró evidencias de este tipo de degradación; mientras que en Yucatán la afectación alcanzaba el 55.1% de la superficie estatal (Tabla 3.4).

Mapa 3.6 | Degradación química de suelos según nivel en México, 2002



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.*
Semarnat y CP. México. 2003.

Tabla 3.3 | Erosión eólica según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)

	Deformación de terreno		Pérdida de suelo superficial		Fuera de sitio		Superficie estatal afectada	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	0	0	66.4	12.3	0	0	66.4	12.3
Baja California	0	0	19.6	0.3	0	0	19.6	0.3
Baja California Sur	0	0	83.4	1.2	0	0	83.4	1.2
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	29.9	0.2	2 038.7	13.6	0	0	2 068.7	13.8
Colima	0	0	15.1	2.8	0	0	15.1	2.8
Chiapas	0	0	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	0	0	6 367.2	25.9	636.7	2.6	7 003.9	28.5
Distrito Federal	0	0	2.1	2.4	0	0	2.1	2.4
Durango	0.5	0	2 097.9	17.3	81.3	0.7	2 179.7	17.9
Guanajuato	0	0	242.5	8.2	0	0	242.5	8.2
Guerrero	0	0	53.0	0.8	0	0	53.0	0.8
Hidalgo	2.5	0.1	109.2	5.4	0	0	111.7	5.5
Jalisco	0	0	204.6	2.7	0	0	204.6	2.7
México	0	0	99.5	4.7	0	0	99.5	4.7
Michoacán	0	0	183.5	3.2	0	0	183.5	3.2
Morelos	0	0	20.0	4.3	0	0	20.0	4.3
Nayarit	0	0	9.7	0.4	0	0	9.7	0.4
Nuevo León	0	0	1 187.8	18.9	0	0	1 187.8	18.9
Oaxaca	0	0	43.8	0.5	0	0	43.8	0.5
Puebla	43.1	1.3	280.3	8.4	0	0	323.4	9.6
Querétaro	0	0	82.9	7.3	0	0	82.9	7.3
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	0	0	449.1	7.5	0	0	449.1	7.5
Sinaloa	2.7	0.1	22.6	0.4	0	0	25.3	0.5
Sonora	0	0	1 279.2	7.1	0	0	1 279.2	7.1
Tabasco	0	0	0	0	0	0	0	0
Tamaulipas	0	0	1 021.3	13.7	0	0	1 021.3	13.7
Tlaxcala	0	0	101.5	26.0	0	0	101.5	26.0
Veracruz	0	0	47.9	0.7	0	0	47.9	0.7
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	4.8	0.1	1 194.6	16.1	0	0	1 199.4	16.2
Superficie nacional afectada	83.4	0.04	17 323.4	9.1	718.1	0.4	18 124.9	9.5

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. Semarnat y CP. México. 2003.

Tabla 3.4 | Degradación química según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)

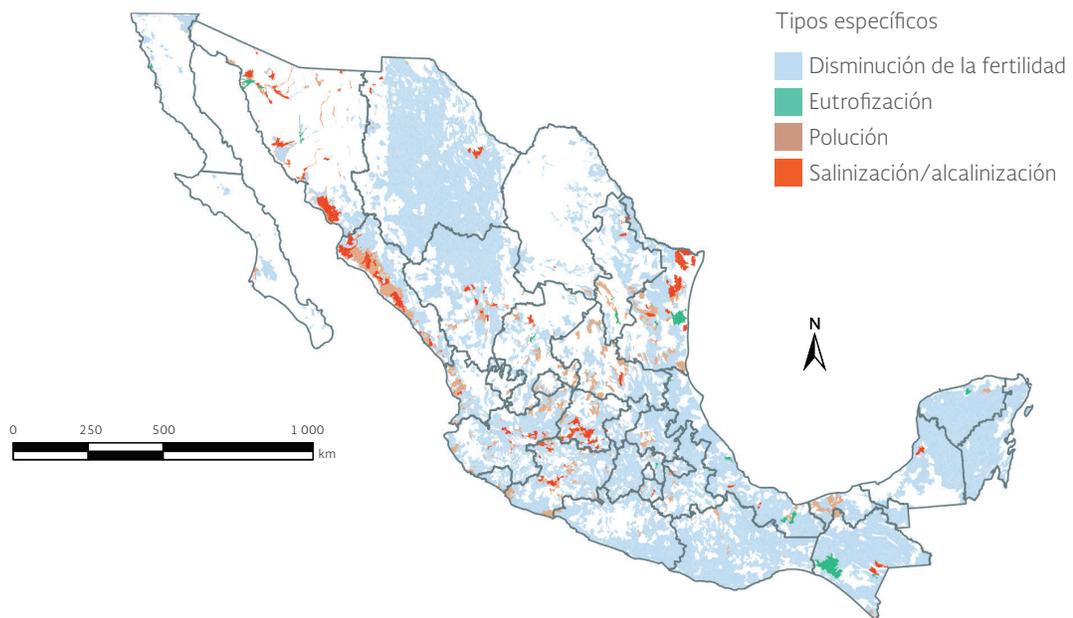
	Disminución de la fertilidad		Polución		Salinización - Alcalinización		Eutrofización		Superficie estatal afectada	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	57.8	10.7	15	2.8	0	0	2.9	0.5	75.7	14
Baja California	111.7	1.6	0	0	98.1	1.4	50.4	0.7	260.3	3.6
Baja California Sur	132.7	1.9	1.6	0.02	0	0	0	0	134.3	1.9
Campeche	1 401.2	25.5	0	0	4.3	0.1	0	0	1 405.5	25.6
Coahuila	344.8	2.3	18.5	0.1	1.4	0	0	0	364.7	2.4
Colima	142.2	26.2	3.1	0.6	0.8	0.1	0	0	146.1	27
Chiapas	2 330.2	32.5	4.4	0.1	25.2	0.4	40.1	0.6	2 399.9	33.5
Chihuahua	5 455.3	22.2	5.1	0.02	30.5	0.1	0	0	5 490.8	22.4
Distrito Federal	11.8	13.4	0	0	0	0	0	0	11.8	13.4
Durango	2 107.8	17.4	19	0.2	16.7	0.1	0	0	2 143.5	17.6
Guanajuato	658.2	22.2	101.0	3.4	97.4	3.3	0	0	856.6	28.9
Guerrero	891.5	14.2	6.7	0.1	0.1	0	0	0	898.3	14.3
Hidalgo	473.7	23.2	80.3	3.9	0.1	0	0	0	554.1	27.2
Jalisco	1 528.9	20.2	99.3	1.3	28.5	0.4	0	0	1 656.6	21.9
México	544.7	25.9	0.5	0	0.1	0	0.5	0.02	545.7	26
Michoacán	1 218.9	21.5	28.5	0.5	67.0	1.2	0	0	1 314.4	23.2
Morelos	138.4	29.6	0.6	0.1	1.4	0.3	0	0	140.4	30
Nayarit	507.7	18.7	15.3	0.6	14.8	0.5	0	0	537.8	19.8
Nuevo León	464	7.4	133.1	2.1	9.3	0.1	7.9	0.1	614.3	9.8
Oaxaca	1671	18.3	5.9	0.1	0	0	1.8	0.02	1 678.6	18.4
Puebla	735.8	22.0	5.5	0.2	0	0	0	0	741.3	22.1
Querétaro	198.1	17.5	0	0	1.1	0.1	0	0	199.2	17.6
Quintana Roo	1 020.1	25.7	0	0	0	0	0	0	1 020.1	25.7
San Luis Potosí	697.7	11.6	158.4	2.6	6.0	0.1	1.9	0.03	864.0	14.4
Sinaloa	1 410.8	26.5	50	0.9	194.0	3.6	0	0	1 654.8	31.1
Sonora	564.5	3.2	19.9	0.1	307.3	1.7	33.8	0.2	925.5	5.2
Tabasco	695.4	30.1	34.1	1.5	0	0	0	0	729.5	31.6
Tamaulipas	1 201.1	16.1	280.3	3.8	145.6	1.9	19.7	0.3	1 646.6	22
Tlaxcala	90.3	23.1	1.5	0.4	0	0	0	0	91.8	23.5
Veracruz	2 120.2	31	15.8	0.2	10.9	0.2	18.1	0.3	2 165.0	31.6
Yucatán	2 128.3	55	1.6	0.04	0	0	1.3	0.03	2 131.3	55.1
Zacatecas	549.7	7.4	78.5	1.1	4	0.1	11.9	0.2	644.1	8.7
Superficie nacional afectada	31 604.4	16.6	1 183.4	0.6	1 064.6	0.6	190.2	0.1	34 042.6	17.8

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.* Semarnat y CP. México, 2003.

Mapa 3.7 | Degradación química de suelos según tipos específicos en México, 2002



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.*
Semarnat y CP. México. 2003.

De los tipos de degradación química evaluados en el estudio, la disminución de la fertilidad fue el más extendido, cubriendo el 92.7% de la superficie afectada por degradación química en el país. Este agotamiento de los nutrientes es un fenómeno que puede haber sido originado por erosión hídrica o eólica o por malas prácticas de manejo. Los resultados indican que 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. Los otros tres tipos específicos ocupaban en conjunto 7.3% de la superficie con degradación química del país. La polución⁶, salinización y eutrofización se encontraron principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Guanajuato, Sonora, Sinaloa y Zacatecas (Mapa 3.7).

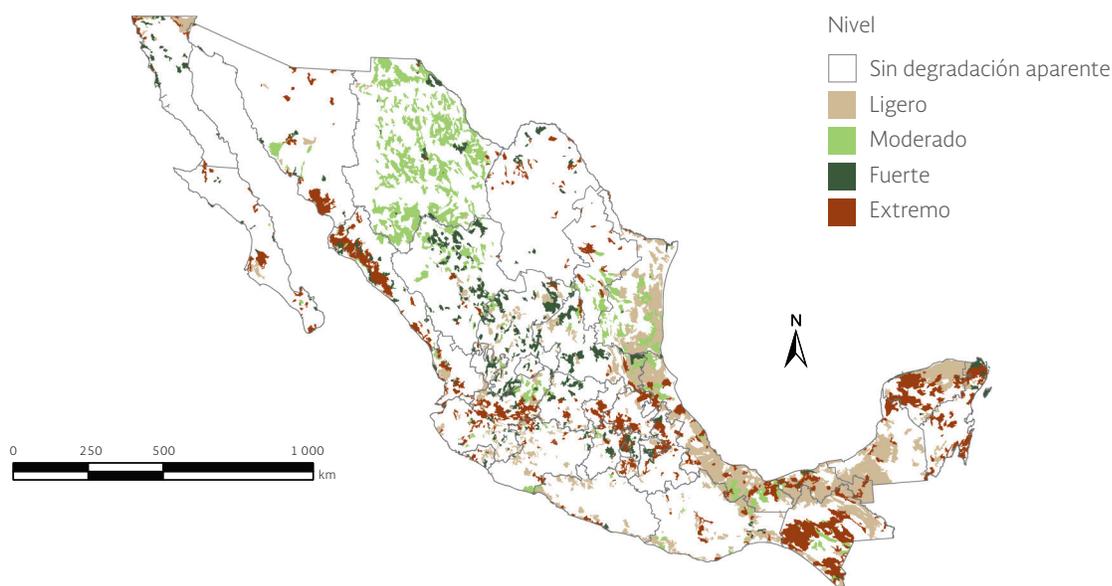
DEGRADACIÓN FÍSICA

La degradación física del suelo se manifiesta de manera evidente a través del sellado, encostramiento, y compactación, los cuales en términos generales afectan los ciclos de nutrientes y la infiltración del agua, provocando el anegamiento en las zonas donde se acumulan las escorrentías.

En 2002, la degradación física era el proceso de degradación menos extendido en el país, ya que afectaba 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.

⁶ La polución y la salinización son tipos de degradación química. En el primer caso la degradación del suelo ocurre como consecuencia de la localización, concentración y efecto biológico adverso de una sustancia. Mientras que la salinización ocurre debido al uso de sistemas de irrigación inadecuados, que permiten la formación de capas de salitre en la superficie de los suelos. Ambos tipos afectan la infiltración de agua y la productividad biológica.

Mapa 3.8 | Degradación física de suelos según nivel en México, 2002



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*. Semarnat y CP. México. 2003.

En escala estatal, la entidad más afectada fue Tabasco (38.4% de su territorio) y las menos afectadas Coahuila, Sonora, Querétaro, Nuevo León y Michoacán con menos de 2% cada una (Mapa 3.8; Tabla 3.5).

Los tipos de degradación física del suelo que fueron evaluados corresponden a la compactación, encostramiento y sellamiento, anegamiento, disminución de la disponibilidad de agua y pérdida de la función productiva. Los de 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 fue Tabasco (36.5% de su territorio) y entre las menos afectadas se encontraron Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Chihuahua, Baja California y Baja California Sur, con menos de 1% en cada una. 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 3.5).

CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación de los suelos es ocasionada por actividades humanas de muy diversa índole. En México, las más importantes son los cambios en el uso del suelo asociadas a la agricultura mecanizada, el sobrepastoreo y el desarrollo urbano e industrial (Semarnat y CP, 2003).

Tabla 3.5 | Degradación física según tipo por entidad federativa, 2002
(Superficie en miles de hectáreas y en porcentaje)

	Encostramiento y sellamiento		Pérdida de la función productiva		Anegamiento		Disminución de la disponibilidad de agua		Compactación		Superficie estatal afectada	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	0	0	4.7	0.9	0	0	0	0	7.9	1.5	12.6	2.3
Baja California	0	0	93.2	1.3	0	0	0	0	42.8	0.6	136.0	1.9
Baja California Sur	0.2	0.003	81.0	1.1	0	0	0	0	4.3	0.1	85.5	1.2
Campeche	0	0	29.7	0.5	0	0	0	0	716.6	13.1	746.3	13.6
Coahuila	0	0	46.5	0.3	0	0	0	0	0	0	46.5	0.3
Colima	0	0	5.3	1.0	2.3	0.4	0	0	10	1.8	17.7	3.3
Chiapas	0	0	150.0	2.1	0	0	0	0	820.6	11.4	970.6	13.5
Chihuahua	0.6	0.002	445.5	1.8	0	0	421.2	1.7	90.9	0.4	958.2	3.9
Distrito Federal	0	0	8.8	10.0	0	0	0	0	1.4	1.6	10.2	11.5
Durango	0.2	0.001	161.3	1.3	0	0	0	0	83.2	0.7	244.7	2
Guanajuato	2.1	0.1	54.6	1.8	0	0	0	0	17.9	0.6	74.7	2.5
Guerrero	0	0	16.4	0.3	0	0	0	0	110.6	1.8	126.9	2
Hidalgo	0	0	34.0	1.7	0	0	0	0	44.8	2.2	78.8	3.9
Jalisco	13.0	0.2	170.5	2.3	5.5	0.1	0	0	113.3	1.5	302.3	4
México	0	0	61.6	2.9	0	0	0	0	25.2	1.2	86.8	4.1
Michoacán	3.9	0.1	35.4	0.6	0.6	0.01	0	0	61.7	1.1	101.6	1.8
Morelos	0	0	13.5	2.9	0	0	0	0	12	2.6	25.5	5.5
Nayarit	16.8	0.6	27.0	1	0.8	0.03	0	0	36.9	1.4	81.5	3
Nuevo León	0	0	62.2	1	0	0	4.2	0.1	7.0	0.1	73.5	1.2
Oaxaca	1.3	0.01	31.3	0.3	8.2	0.1	0	0	442.6	4.8	483.3	5.3
Puebla	0	0	32.3	1.0	0	0	0	0	65	1.9	97.3	2.9
Querétaro	0	0	11.5	1.0	0	0	0	0	7.5	0.7	19.0	1.7
Quintana Roo	0	0	80.1	2.0	0	0	0	0	104.1	2.6	184.2	4.6
San Luis Potosí	0	0	78.3	1.3	0	0	0	0	422.2	7.0	500.5	8.3
Sinaloa	100.8	1.9	135.2	2.5	0.2	0.004	0	0	3.4	0.1	239.6	4.5
Sonora	52.6	0.3	126.8	0.7	0	0	28.7	0.2	31.6	0.2	239.7	1.3
Tabasco	0	0	42.6	1.8	0.7	0.03	0	0	844.2	36.5	887.6	38.4
Tamaulipas	15.3	0.2	128.3	1.7	0	0	0	0	812.2	10.9	955.8	12.8
Tlaxcala	0	0	14.4	3.7	0	0	0	0	7	1.8	21.4	5.5
Veracruz	0	0	59.8	0.9	0	0	0	0	1 961.8	28.7	2 021.6	29.5
Yucatán	1.5	0.04	116.4	3.0	0	0	0	0	623.6	16.1	741.4	19.2
Zacatecas	0	0	101.1	1.4	0	0	0	0	165.7	2.2	266.7	3.6
Superficie nacional afectada	208.2	0.1	2 459.2	1.3	18.3	0.0	454.1	0.2	7 697.9	4.0	10 837.8	5.7

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

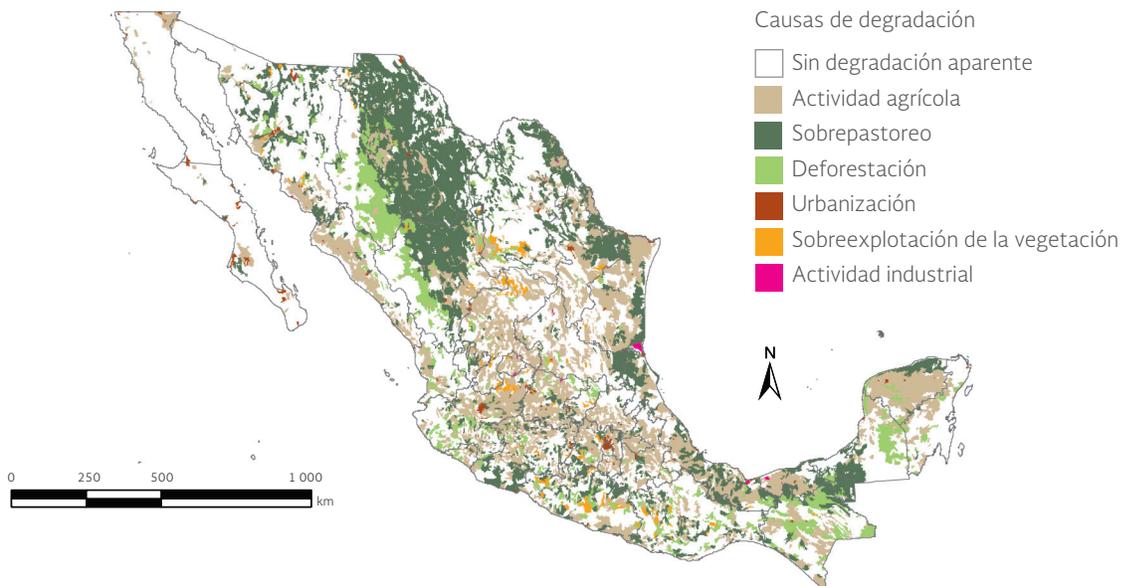
Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. Semarnat y CP. México. 2003.

Desde la Revolución Industrial, la intensa demanda de suelo para la producción de alimentos ha hecho que alrededor del 12% de la superficie libre de hielo del planeta sea zona de cultivo y 26% sean pastizales; esto equivale a que 38% de la superficie terrestre esté destinada a satisfacer la creciente demanda de productos agropecuarios (Foley *et al.*, 2011). La urbanización como proceso de cambio en el uso del suelo también compite en algunas zonas con las actividades agropecuarias, con el agravante de que es un proceso irreversible en la escala de tiempo humana.

Particularmente para México, las áreas urbanas y los asentamientos humanos ocupan una superficie aproximada de 1.85 millones de hectáreas (INEGI, 2013). En 2002 alrededor del 77.4% de la superficie nacional degradada estaba asociada con actividades agrícolas y pecuarias (38.7% cada una de ellas) y 16.4% a deforestación y remoción de la vegetación. El resto de la superficie degradada del país (alrededor de 5.3 millones de ha; 6.1% de la superficie degradada total) se debe a urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales.

A nivel de entidad federativa, estas actividades tienen un impacto diferente. Las actividades agrícolas contribuyen más a la degradación de los suelos en Aguascalientes (85.4% de su superficie degradada se debe a esta causa), Hidalgo (83.4%) y Tlaxcala; el sobrepastoreo en Chihuahua (71.2%), Sonora (55.5%) y Durango (52.2%); la deforestación en Nayarit (42.8%), Campeche (38.6%) y Chiapas (35.6%), y la urbanización al Distrito Federal (65.6%), Baja California Sur (29.8%) y Baja California (26.2%; Mapa 3.9).

Mapa 3.9 | Principales causas de degradación del suelo en México, 2002



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.*
Semarnat y CP. México. 2003.

LOS PROCESOS QUE LLEVAN A LA DESERTIFICACIÓN

La degradación de la tierra es un concepto más amplio que la degradación del suelo. De hecho, de esta última sólo una parte corresponde a la degradación de la tierra. Para la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), “tierra” es el área específica de la corteza terrestre que cuenta con características particulares de suelo, atmósfera, geología, hidrología y biología, en la que se aprecian los resultados de la actividad humana pasada y las interacciones entre todos los elementos (UNCCD, 1994). En este contexto, considera que 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”. Por ello, además del deterioro del suelo, la degradación de la tierra incluye aspectos biofísicos, como la disminución de la capacidad productiva debido al cambio de cobertura vegetal y de los recursos hídricos, y aspectos socioeconómicos, como la respuesta del mercado, estrategias políticas y niveles de educación y pobreza (UNCCD, 1994).

Es común que la palabra desertificación se interprete literalmente como formación de desiertos, por esta razón es importante diferenciar ambos conceptos. Los desiertos son ecosistemas altamente complejos, que pueden albergar una alta diversidad biológica y cuyo origen se encuentra en procesos diferentes a los que provocan la desertificación. No obstante, sus características biológicas y sobre todo climáticas, los sitúan dentro de las tierras secas susceptibles a la desertificación. Ésta se produce cuando el proceso de degradación de la tierra afecta a las tierras secas (UNCCD, 1994). En este sentido, la desertificación es un proceso, no solo una situación extrema.

Existen diferentes definiciones de tierras secas, lo que lleva a que las estimaciones sobre la superficie desertificada sean variables. En el presente capítulo se adoptó el criterio de la UNCCD, el cual las clasifica de acuerdo a su índice de aridez en las siguientes categorías: hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Esta clasificación está basada a su vez en el Atlas Mundial de la Desertificación que señala que las tierras secas son aquellas áreas en donde el índice de aridez es menor a 0.65 (PNUMA, 1997).

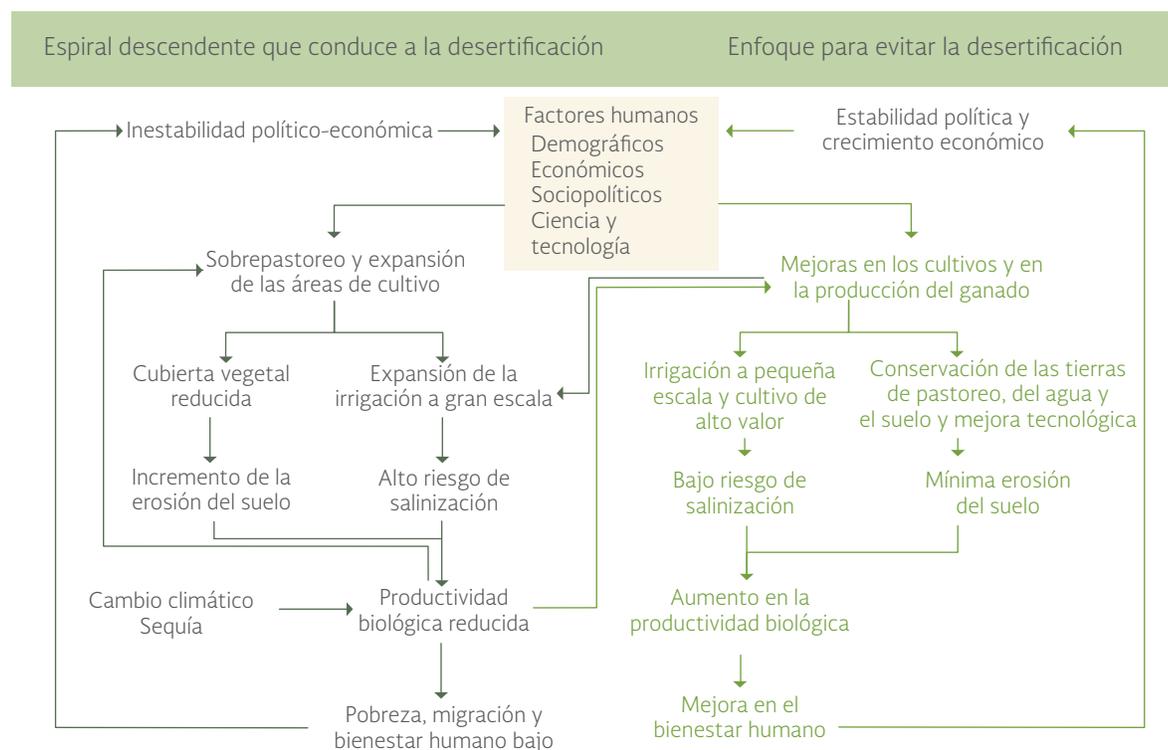
En México, de acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el concepto de desertificación se aplica a todos los ecosistemas existentes en el territorio nacional, debido a que la pérdida de la capacidad productiva de las tierras no está restringida a las zonas secas (DOF, 2012). Sin embargo, lo anterior no reduce la prioridad que la UNCCD establece para las tierras secas. Parte de esta importancia se debe a que sus características climáticas, como la precipitación escasa e irregular, la gran diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y la elevada evapotranspiración potencial, así como la presencia de suelos con poca materia orgánica y humedad, elevan la susceptibilidad de sufrir degradación del suelo y alteraciones de los sistemas biofísicos y sociales.

CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA DESERTIFICACIÓN

Los procesos de desertificación no son fáciles de delimitar en una línea directa de causa-efecto. De acuerdo con la UNCCD, los impulsores de la desertificación se pueden agrupar alrededor de las variaciones climáticas y de las actividades humanas. Con respecto al primer grupo se pueden encontrar la baja humedad del suelo (aridificación), los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación; mientras que en el segundo, la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, el manejo forestal inapropiado, las tendencias del mercado e incluso, las dinámicas sociopolíticas en las cuales la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación (UNCCD y Zoï, 2011). En la misma medida de complejidad, las acciones para solucionar o evitar el problema de la desertificación deben atender también las esferas ambiental, política y social (Figura 3.7).

Las consecuencias más importantes de la desertificación se agrupan en las afectaciones a las poblaciones humanas y a los ecosistemas, las primeras tienen que ver con la insuficiencia alimentaria, la pobreza, el agravamiento de problemas de salud debido a las partículas

Figura 3.7 | Rutas de conducción y prevención de la desertificación



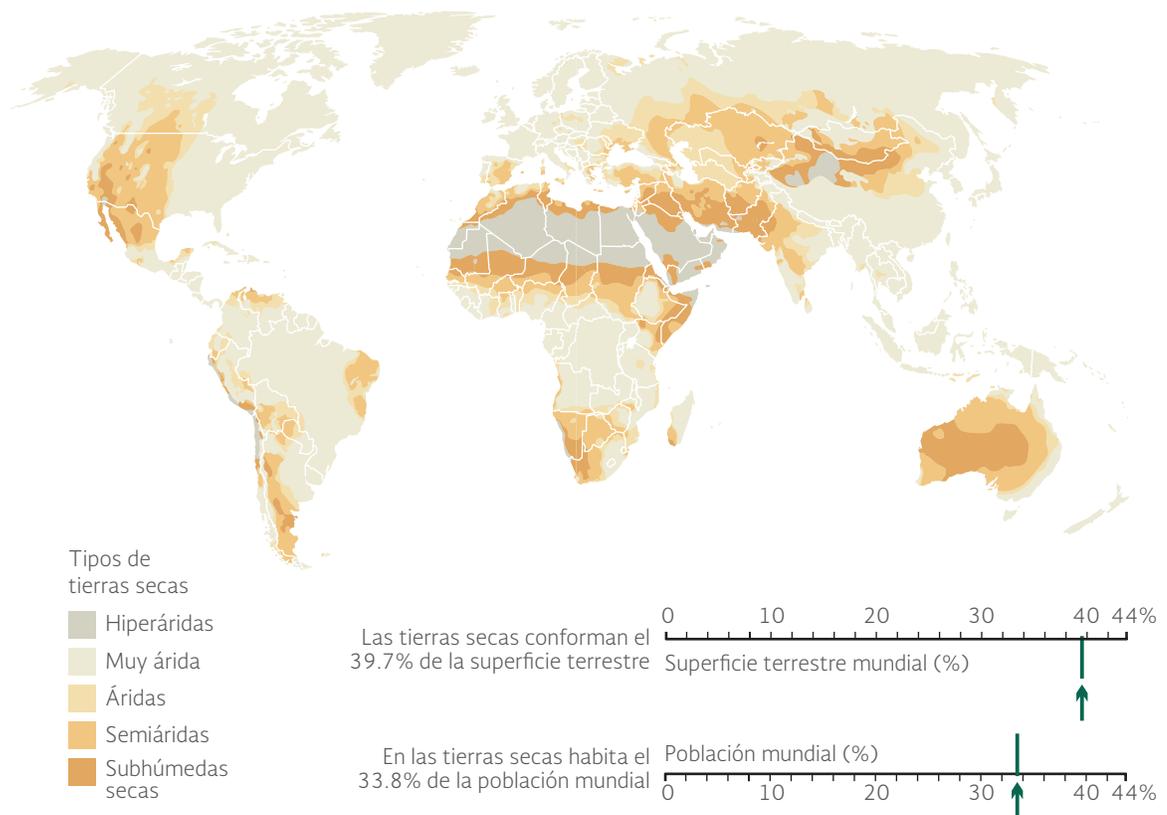
Fuente:
Tomado de:
MEA. *Ecosystems and human well-being. Desertification synthesis.* Millennium Ecosystems Assessment. 2005.

transportadas por el viento (p. ej., infecciones oculares, enfermedades respiratorias y alergias), o por alimentación insuficiente, y la segunda incluye la baja en la fertilidad del suelo, mayor salinización y erosión, reducción de la capacidad de resiliencia de la tierra, incremento de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas por la afectación del ciclo hidrológico, escasez de agua, desecación y sedimentación de cuerpos de agua y la alteración de los ciclos biológicos (UNCCD-Zoï, 2011).

Distribución de las tierras secas

Según la UNCCD y Zoï (2011), 12.1% de la superficie terrestre del planeta está ocupada por zonas áridas; 17.7% por zonas semiáridas y 9.9% por subhúmedas secas. En ellas viven poco más de 2 mil millones de personas (aproximadamente uno de cada tres habitantes del planeta), la mayoría en países en vías de desarrollo. Además, en conjunto, las tierras secas albergan alrededor del 50% del ganado y el 44% de las tierras agrícolas del mundo, y son amplias extensiones territoriales que representan hábitats forestales, de pastos y agropecuarios muy valiosos para la vida silvestre y los grupos humanos que las habitan. Las mayores extensiones de tierras secas se encuentran en Australia, China, Federación de Rusia, Estados Unidos y Kazajstán (Mapa 3.10).

Mapa 3.10 | Distribución de las tierras secas en el mundo



Fuente:
UNCCD-Zoï. *Desertification. A visual synthesis*. UNCCD-Zoï Environment Network. UNCCD-Zoï. France. 2011.

En México, en 2013 la Conafor, en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo, publicó el estudio para la determinación de la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. En este trabajo se usó la delimitación de las zonas secas del país utilizando el índice de aridez calculado con el método de Penman. Bajo esta metodología, se estimó una superficie aproximada de 125.3 millones de hectáreas de tierras secas, lo que significa aproximadamente el 65% del territorio nacional. El cual se distribuye entre las zonas semiáridas (34.7%), áridas (18.9%), subhúmedas secas (10.8%) e hiperáridas (0.7%). El resto corresponde a otros climas (subhúmedos, húmedos, muy húmedos y perhúmedos; Tabla 3.6).

Las tierras hiperáridas sólo se concentran en una pequeña franja al noreste de la Península de Baja California; las áridas en la península de Baja California, la porción costera de Sonora y la parte centro-norte del Desierto Chihuahuense. Las tierras semiáridas se encuentran principalmente en la Mesa Central del país y hacia las vertientes de las Sierras Madre Oriental y Occidental, llegando a cubrir gran parte de Nuevo León y Tamaulipas. Finalmente, la mayor parte de las subhúmedas secas se encuentran en el Eje Neovolcánico Transversal y en las Sierras de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Mapa 3.11).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2011), en las tierras secas del país vivían en 2010 alrededor de 66.2 millones de personas, lo que representaba casi el 60% de los habitantes del país, los cuales se encontraban distribuidos en 95 968 localidades. De éstas, 98% eran rurales y sólo 2% urbanas. En las tierras semiáridas se encontraba la mayor cantidad de personas y localidades (62 y 54%, respectivamente) asentadas en la totalidad de las tierras secas (Figura 3.8).

Tabla 3.6 | Superficie nacional ocupada por tierras secas¹

<i>Tipo de tierra seca</i>	<i>Superficie (miles de ha)</i>	<i>Superficie nacional (%)</i>
Hiperárido	1 286.9	0.7
Árido	36 437.5	18.9
Semiárido	66 727.1	34.7
Subhúmedo seco	20 852.3	10.8
Total de tierras secas	125 303.7	65.1
Otros climas	67 060.5	34.9

Nota:

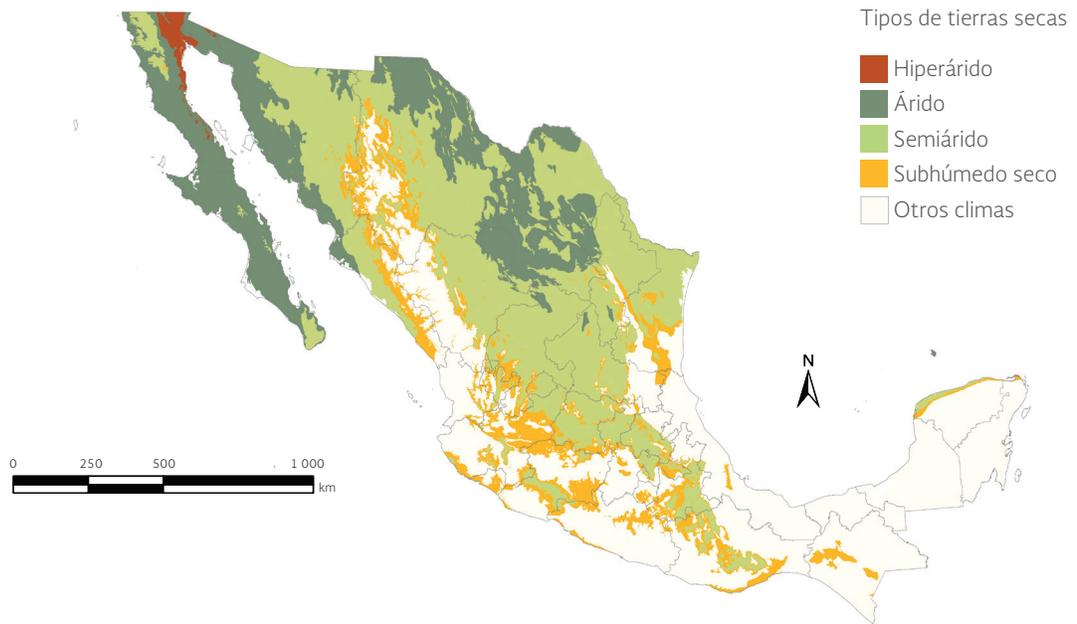
¹ Las tierras secas se delimitaron por el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México, 2013.

Mapa 3.11 | Distribución de las tierras secas en México¹



Nota:

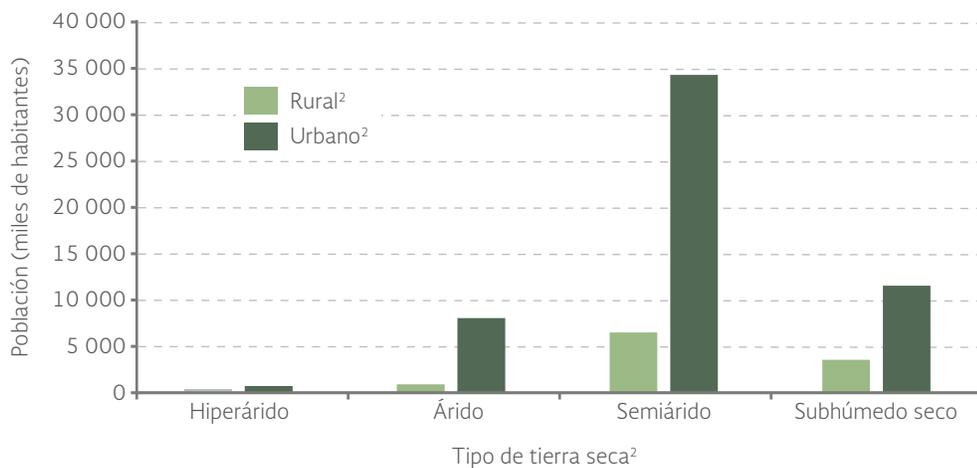
¹ Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

Figura 3.8 | Población en las tierras secas¹ de México, 2010



Notas:

¹ Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.

² Las localidades rurales comprenden hasta 2 500 habitantes; las urbanas, más de 2 500 habitantes.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

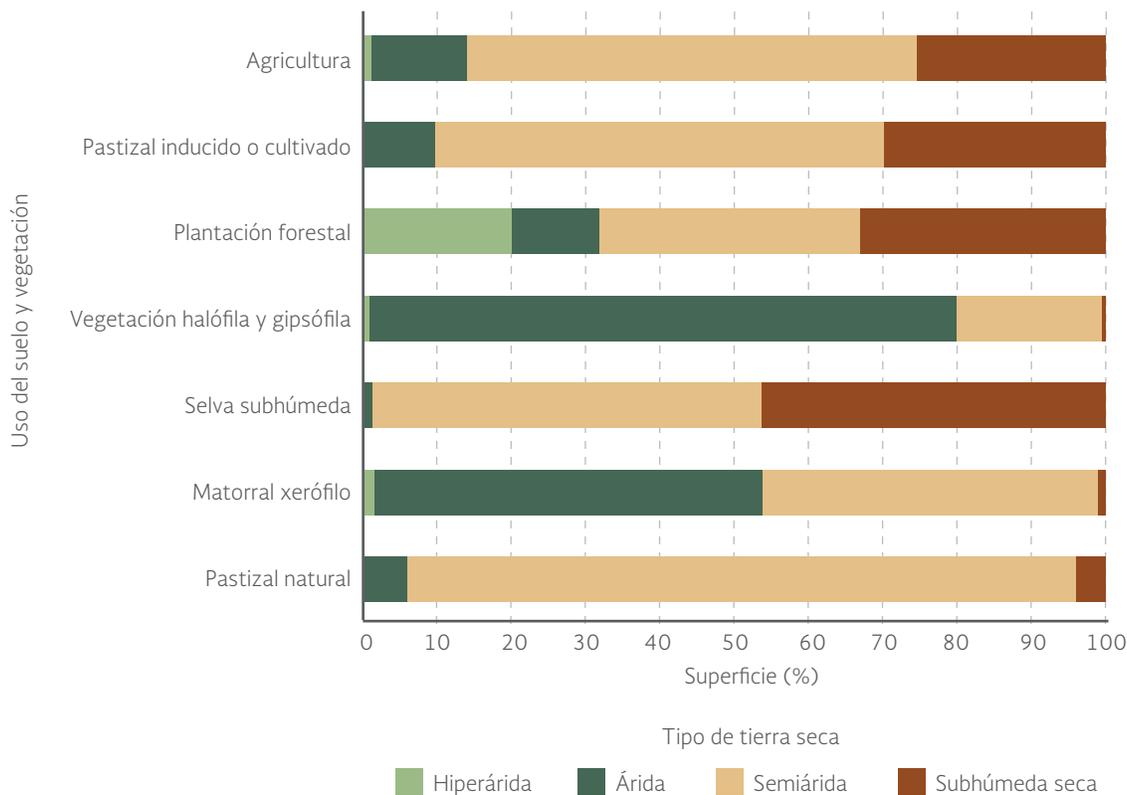
Conafor, Semarnat y UACH. *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010.* INEGI. México. 2011.

Con respecto a los tipos de vegetación y usos del suelo presentes en las tierras secas, éstos comprenden ecosistemas naturales como vegetación halófila y gipsófila y matorrales xerófilos y actividades productivas como agricultura, pastizales inducidos o cultivados y plantaciones forestales. En las tierras hiperáridas, están presentes pequeñas porciones de pastizal inducido y cultivado y de agricultura que no alcanzan el 1% de la superficie con estos usos del suelo en el país (0.02 y 0.63%, respectivamente) y menos de 5% de las plantaciones forestales. En el resto de las tierras secas se presenta el 66% de la superficie agrícola nacional (21.5 millones de ha) distribuida en las tierras semiáridas (40%; 13.2 millones de ha), subhúmedas secas (17%; 5.5 millones de ha) y áridas (9%; 2.8 millones de ha). El resto de la actividad agrícola (33%; 10.8 millones de ha) se realiza en otro tipo de climas (Figura 3.9).

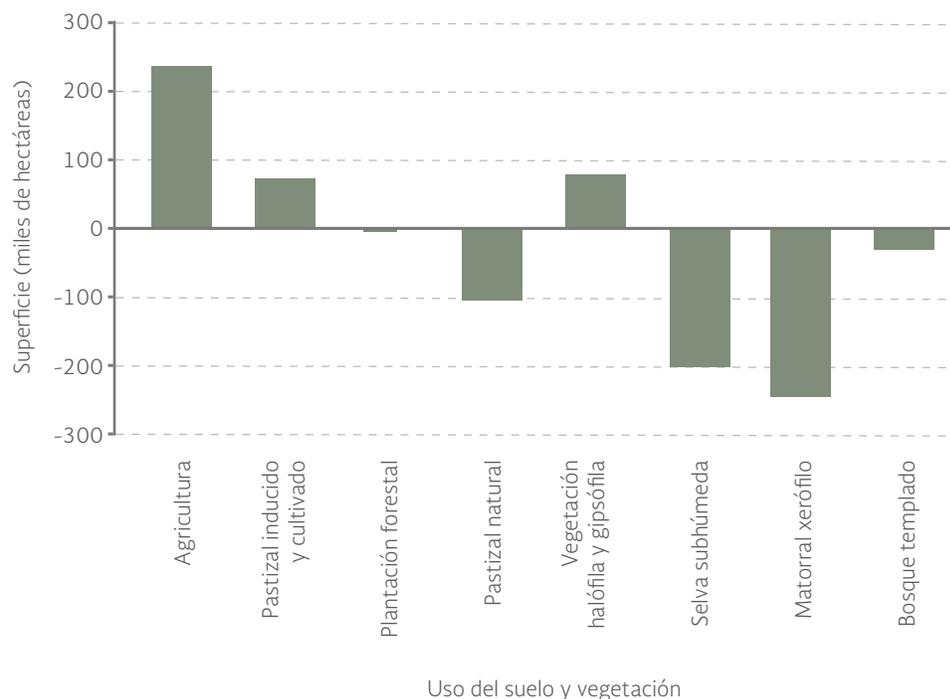
Casi la totalidad de los matorrales xerófilos (alrededor de 96%) se encuentra en las tierras áridas y semiáridas, así como la vegetación halófila y gipsófila (alrededor del 98%); mientras que en las tierras semiáridas se concentra el 90% del pastizal natural. Alrededor del 52% de las selvas subhúmedas del país se ubican en tierras secas, particularmente en las regiones semiáridas (28%) y subhúmedas secas (24%; Figura 3.9).

Figura 3.9 | Algunos usos del suelo y vegetación por tipo de tierra seca en México



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conafor, Semarnat y UACH. 2013. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000.* INEGI. México. 2013.

Figura 3.10 | Cambios en la superficie en algunos usos del suelo y vegetación en las tierras secas de México, 2007-2011



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II*. Conafor y UACH. México. 2013.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV (2007)*, escala 1: 250 000. INEGI. México. 2011.
 INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1:250 000. INEGI. México. 2013.

Los ecosistemas naturales presentes en las tierras secas también han sido transformados. Entre 2007 y 2011 se perdieron casi 246 mil hectáreas de matorral xerófilo, poco más de 200 mil de selva subhúmeda y alrededor de 105 mil de pastizales naturales; mientras que la superficie agrícola, se incrementó en cerca de 240 mil hectáreas y los pastizales inducidos y cultivados en 72 mil hectáreas (Figura 3.10).

EXTENSIÓN DE LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN

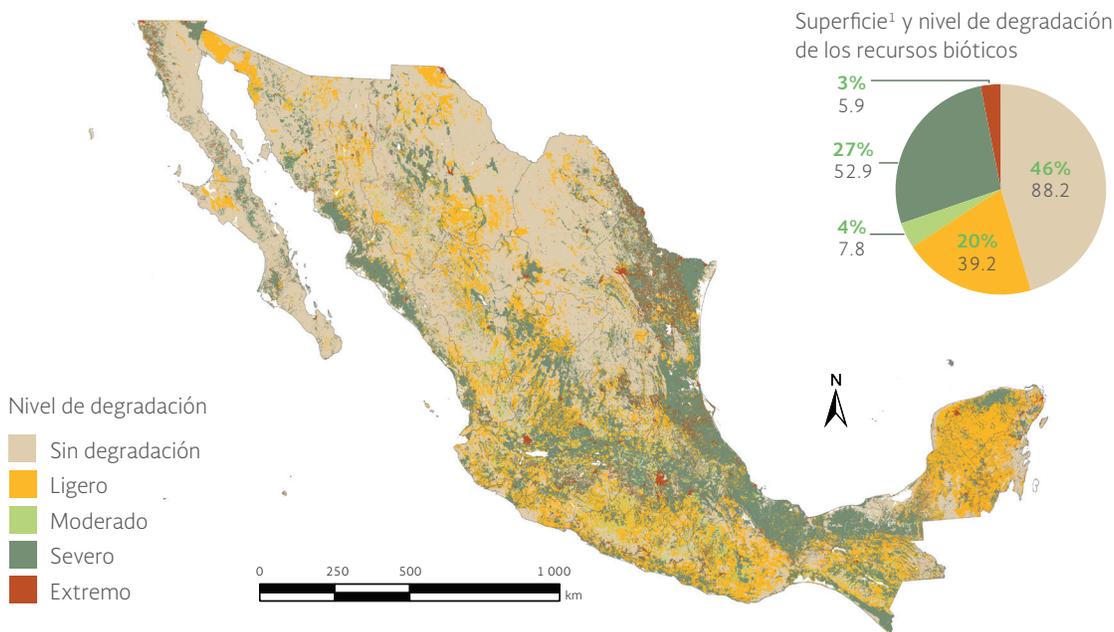
La UNCCD calcula que entre 71 y 75% de las tierras secas del mundo están desertificadas. En el caso particular de México, el estudio de la Línea Base Nacional de Degradación y Desertificación (Conafor, Semarnat y UACH, 2013) delimitó la superficie de tierras secas que se encuentran en esta condición a partir de un indicador integrado por tres componentes: recursos bióticos, recursos hídricos y recursos edáficos.

El estado del componente de recursos bióticos se determinó a partir del análisis de la cobertura vegetal, ya que se parte de la premisa de que la degradación está asociada con su grado de

conservación⁷. Para los recursos hídricos se contemplaron las condiciones de los acuíferos nacionales de acuerdo con la información de la Comisión Nacional del Agua⁸; mientras que para los indicadores de degradación del recurso edáfico se adecuaron los resultados de la erosión hídrica y eólica y de la degradación física y química descritos anteriormente en este capítulo (Semarnat y CP, 2003).

Los resultados nacionales indican que en lo relacionado a los recursos bióticos, la superficie afectada sería de aproximadamente 105.7 millones de hectáreas, lo que equivale a 54% del territorio nacional. Los niveles ligero y moderado, que afectarían a 20 y 4% del territorio, respectivamente, se aprecian a lo largo de las sierras, entre los límites de Baja California y Sonora y en la península de Yucatán, principalmente. Las mayores extensiones de degradación con grado severo (27% del territorio nacional) y extremo (3%) se ubican en la costa del Golfo del México, en las costas de Sinaloa y a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal. La superficie sin degradación aparente de los recursos bióticos, que representaría el 46% del país (88.2 millones de ha) se encuentra principalmente entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, y en la península de Baja California (Mapa 3.12).

Mapa 3.12 | Degradación de los recursos bióticos



Nota:

¹ La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

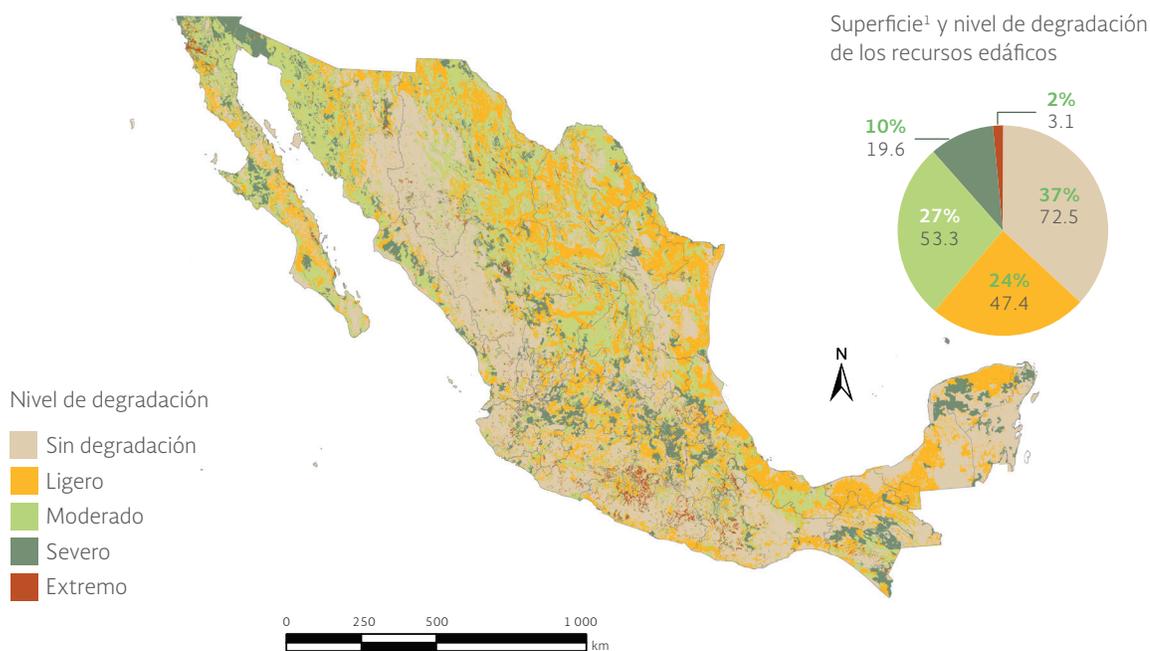
Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

⁷ De acuerdo con la fuente, la Serie IV de la Carta de Usos del Suelo y Vegetación del INEGI (2007) fue considerada para el uso del suelo actual, y se comparó con la Carta de Vegetación Primaria Potencial, a partir de lo cual se asignó un grado de degradación a la vegetación.

⁸ Se utilizó la información para el periodo 2000 a 2012, referente a disponibilidad de agua superficial en las cuencas del país, contaminación potencial de los acuíferos por actividades agropecuarias, desecación de los cuerpos de agua e intrusión salina en los acuíferos, así como los resultados reportados por la Red Nacional de Monitoreo de calidad del agua superficial.

Mapa 3.13 | Degradación de los recursos edáficos



Nota:

¹ La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

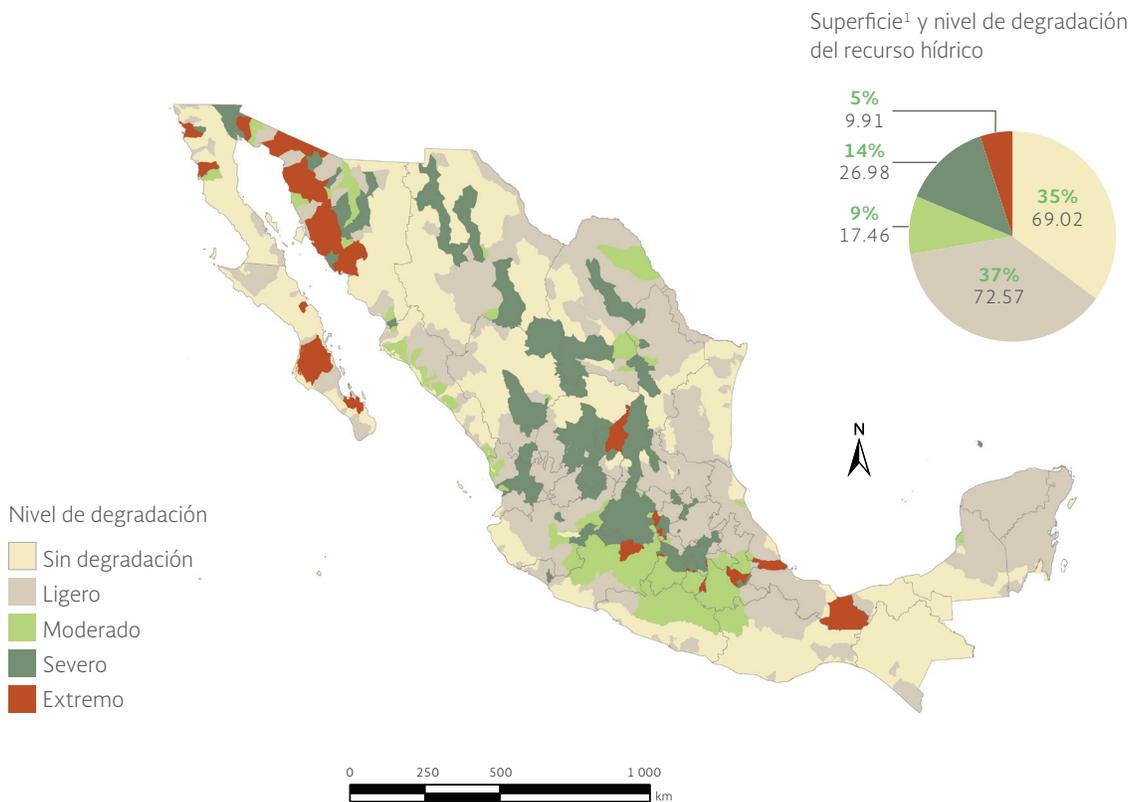
Para los recursos edáficos, los resultados mostraron que 111.4 millones de hectáreas, equivalentes a 63% del territorio nacional, se encontrarían afectados en niveles de ligero a extremo. Los niveles ligero y moderado cubren 51% del territorio nacional, aproximadamente 100 millones de hectáreas; mientras que 10% (19.6 millones de ha) se encuentra en nivel severo y 2% en extremo. En el análisis de este componente, la superficie sin degradación comprende alrededor del 37% del país, y se encuentra en la Sierra Madre Occidental, en la costa del Pacífico y en la península de Yucatán, principalmente. El nivel extremo se localiza de manera importante en el noreste de Sonora y en la península de Yucatán; mientras que el ligero, moderado y extremo se distribuyen en grandes extensiones de la Mesa Central y en la costa del Golfo de México (Mapa 3.13).

En el caso de los recursos hídricos, la superficie afectada a nivel nacional asciende a 64.8% del territorio (126.9 millones de ha). De esta superficie, 72.6 millones (37% del territorio nacional) están afectadas por degradación con nivel ligero, mientras que entre los niveles moderado, severo y extremo alcanzan 54.4 millones de hectáreas (27.8% del territorio nacional). El 35% de la superficie no muestra señales aparentes de degradación de los recursos hídricos y se ubican en la península de Baja California, en el límite entre Sonora y Chihuahua, en Durango y la costa sureste del país hasta cubrir casi la totalidad de Chiapas. En la parte central del país y en la península de Yucatán, prácticamente no se presentan regiones sin degradación de los recursos hídricos (Mapa 3.14).

La superficie nacional con desertificación se obtuvo al combinar los tres componentes (recursos bióticos, edáficos e hídricos) con el índice de aridez a partir del cual se delimitaron las tierras secas. De acuerdo con este estudio, alrededor de 92.4% de la superficie nacional de tierras secas (125.3 millones de ha; 64% del territorio nacional) presentaba algún grado de desertificación. El 40.1% se encontraba con grado de desertificación severo; 9.9% con grado extremo y 42.4% con ligero y moderado (Figura 3.11 y Tabla 3.7).

Todos los tipos de tierras secas del país presentan algún grado de desertificación; sin embargo, en las tierras semiáridas se concentra la mayor parte de la superficie afectada (49.4% de todas las tierras secas), seguida por las áridas (27.6%), subhúmedas secas (14.4%) y finalmente las hiperáridas (1%). Con excepción de las tierras áridas, donde domina el nivel de desertificación moderado, en el resto de las tierras secas la desertificación severa es el nivel con mayor superficie afectada (Tabla 3.7 y Mapa 3.15).

Mapa 3.14 | Degradación del recurso hídrico en México



Nota:

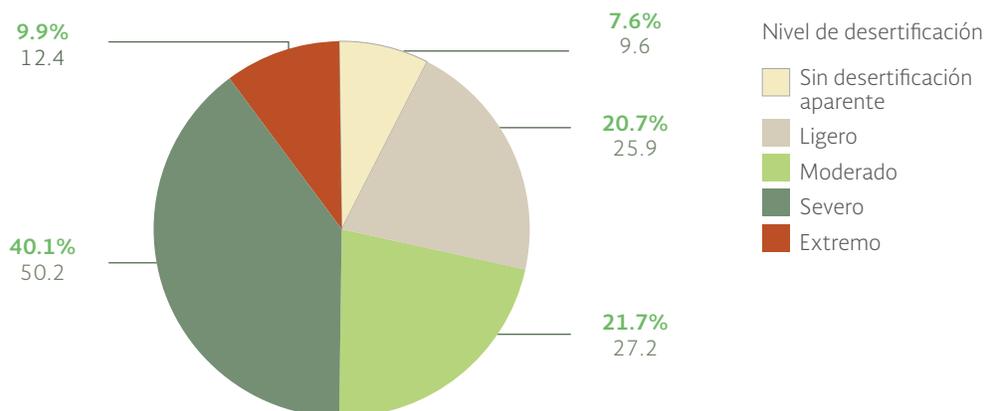
¹ La superficie se muestra en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

Figura 3.11 | Superficie¹ de tierras secas afectadas con algún nivel de desertificación



Nota:

¹ La superficie se reporta en porcentaje del territorio nacional y millones de hectáreas, la cual se calculó con respecto a la superficie nacional con tierras secas, que es de 125.3 millones de hectáreas.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

Tabla 3.7 | Superficie afectada por desertificación por tipo de tierra seca en México (miles de hectáreas¹)

Tipo de tierra seca / Nivel de desertificación	Hiperárido		Árido		Semiárido		Subhúmedo seco		Superficie con desertificación por nivel	%
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%		
Ligero	23.4	0.02	8 371.9	6.7	12 701.2	10.1	4 793.3	3.8	25 889.9	20.7
Moderado	442.9	0.4	10 195.3	8.1	13 362.2	10.7	3 197	2.6	27 197.4	21.7
Severo	711.5	0.6	9 933.01	7.9	30 905.1	24.7	8 651.7	6.9	50 201.3	40.1
Extremo	77.8	0.1	6 031.8	4.8	4 944	3.9	1 393.2	1.1	12 446.8	9.9
Desertificación por tipo de tierra seca	1 255.6	1.0	34 532	27.6	61 912.6	49.4	18 035.2	14.4	115 735.5	92.4
Sin degradación aparente	31.2	0	1 905.5	1.5	4 814.4	3.8	2 817.1	2.2	9 568.2	7.6

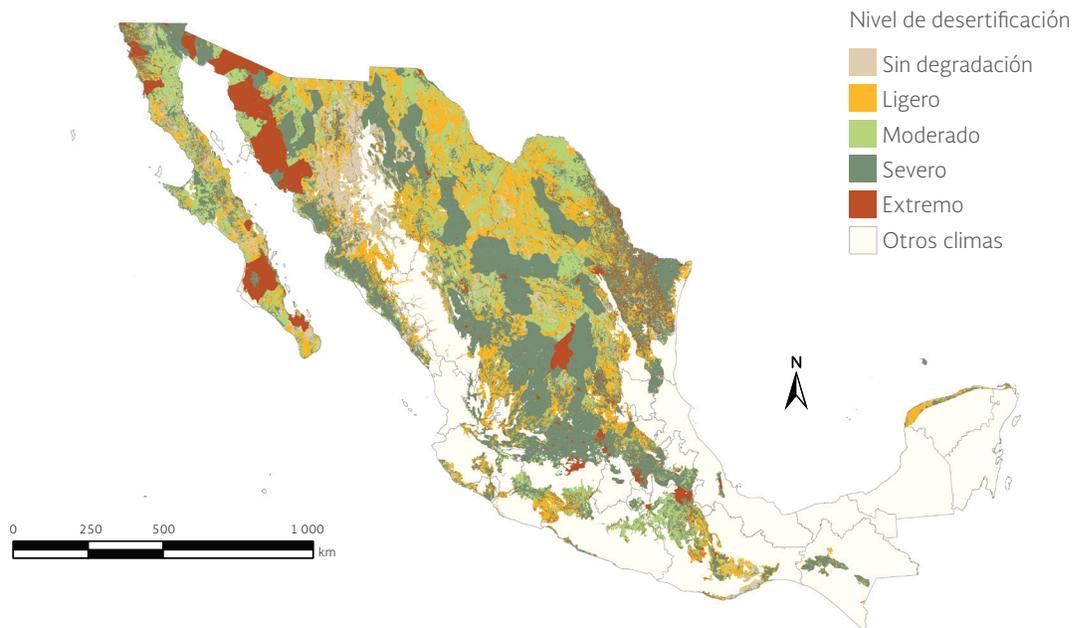
Nota:

¹ Los porcentajes se calcularon respecto al total de las tierras secas del país, que es de: 125.3 millones de hectáreas.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conafor, Semarnat y UACH. 2013. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2013.

Mapa 3.15 | Nivel de desertificación en las tierras secas¹ de México



Nota:

¹ Delimitación basada en el índice de aridez calculado con el método de Penman.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II.* Conafor y UACH. México. 2003.

CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS

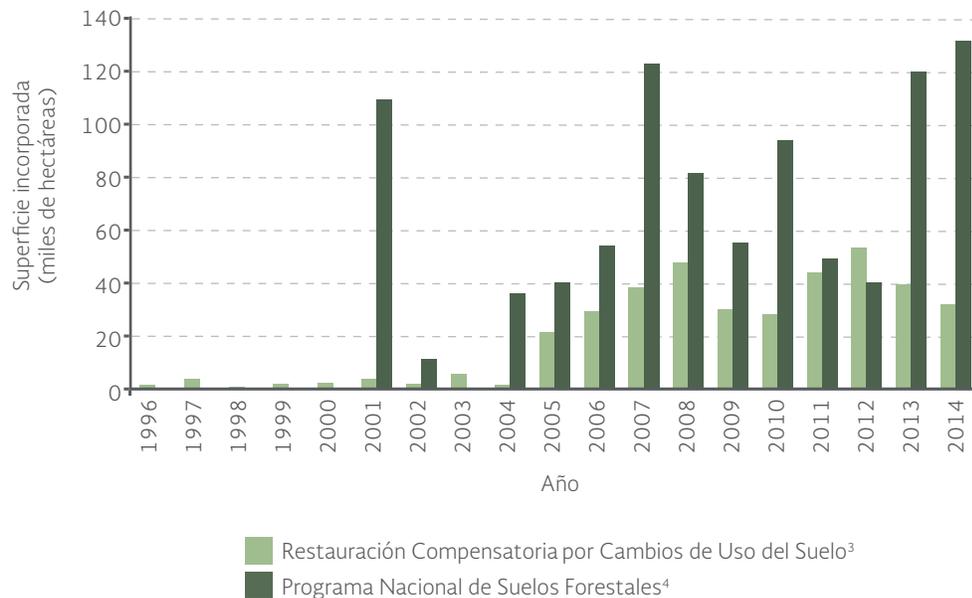
El suelo ha sido, en general, un recurso natural poco atendido tanto por los gobiernos como por la sociedad en general, al grado de que la orientación de los programas de apoyo se dirige hacia fines productivos como los agrícolas, pecuarios y forestales. De esta manera dichos programas no han considerado, o sólo lo han hecho superficialmente, su conservación y la mejora de sus propiedades. Incluso, cuando se realizan acciones con fines de restauración ambiental, en su mayoría están enfocadas a la protección o ampliación de la vegetación más que a la protección del suelo como su objetivo principal (Gardi *et al.*, 2014).

En México, el Programa Nacional Forestal (Pronafor) liderado por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) cuenta con un componente orientado a la Restauración Forestal y Reconversión Productiva. Este componente apoya acciones y proyectos integrales de restauración forestal y de reconversión productiva con el fin de recuperar la capacidad y el potencial natural de los suelos forestales y de la cobertura forestal bajo condiciones de deterioro; además de la recuperación gradual de la capacidad de provisión de bienes y servicios ambientales. Estas acciones se aplican en terrenos que presentan procesos de deterioro por degradación de suelos, pérdida

de cobertura de vegetación forestal o áreas perturbadas por incendios, enfermedades o plagas forestales y desastres naturales que se encuentren ubicados en microcuencas prioritarias por su importancia ambiental y/o forestal.

Para el 2014, la suma de la superficie incorporada a los programas de Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en terrenos Forestales y el Programa Nacional Forestales, ambos de la Conafor, fue de 163.1 mil hectáreas, que equivalen a 0.2% de la superficie nacional con degradación de suelo (85.7 millones de ha; Figura 3.12). La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (Conaza) opera el programa Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA), el cual se enfoca a terrenos pecuarios, por lo que queda pendiente el tema de la conservación y rehabilitación de suelos agrícolas, así como programas de captación de agua de lluvia y de combate de la desertificación.

Figura 3.12 | Superficie incorporada a programas institucionales relacionados con conservación y rehabilitación de suelos, 1996 - 2014^{1,2}



Notas:

¹ Los datos reportados para cada programa no están disponibles para todos los años debido a que están sujetos a diseño y concertación de recursos para su operación. Entre 2001-2006 se ubicaron en el Programa Nacional Forestal, estrategia "Restauración y conservación de Suelos". Entre 2007-2012, en ProÁrbol, categoría "Conservación de Suelos" y "Restauración de Suelos". En 2013 en Pronafor, Componente III "Conservación y Restauración". En 2014 en Pronafor, Componente III "Restauración Forestal y Reconversión Productiva".

² Las superficies no son acumulables entre años porque los productores pueden entrar, retirarse o refrendar su permanencia en el programa dependiendo de su interés o del cumplimiento de las obligaciones con el mismo.

³ Se trata de la superficie a compensar por la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

⁴ Tiene la finalidad de apoyar la ejecución de acciones y proyectos para la recuperación de la cobertura forestal, y la conservación y restauración de suelos ubicados en cuencas con terrenos forestales y preferentemente forestales con algún nivel de degradación.

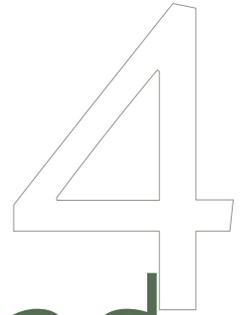
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Semarnat. México. Junio de 2015.

Gerencia de Suelos, Comisión Nacional Forestal, Semarnat. México. Junio de 2015.

- Conafor, Semarnat y UACH. *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II*. Conafor y UACH. México. 2013.
- Cruz, C., C. Balboltin, F. Paz, J. Etchevers y P. Krasilnikov. 2007. *Variabilidad Morfogenética de los Suelos de México y su relación con el Modelo Fisiográfico Nacional*. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato. México. 17 al 21 de septiembre de 2007. Disponible en: www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/06/22/68351.
- DOF. *Ley de Desarrollo Rural Sustentable*. Diario Oficial de la Federación. México. 2012 (12 de enero).
- FAO. *Alianza Mundial por el Suelo. Sección ¿Por qué una Alianza Mundial por el Suelo?* 2015. Disponible en: www.fao.org/globalsoilpartnership/es/. Fecha de consulta: enero de 2016.
- FAO. *Portal de Suelos de la FAO*. s/a. Disponible en: www.fao.org/soils-portal/es/. Fecha de consulta: enero de 2016.
- Foley, J.A., N. Ramankutty, K.A. Brauman, et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342. 2011.
- Gardi, C., M. Angelini, S. Barceló, et al. (Eds). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg. 2014.
- Guevara, M., C. Aguilar, C. Arroyo, F. González y J. Larson. La diversidad de los datos sobre los suelos de México: perfiles y clases, escalas y modelos continuos. *Biodiversitas* 105: 13-16. 2012.
- INEGI. *Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos. Serie II, escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2007.
- INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. México. 2011.
- INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000*. INEGI. México. 2013.
- Lal, R. Soil Quality and sustainability. En: Lal, R., W.H. Blum, C. Valentine y B.A. Stewart (Eds). *Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Science*. Boca Raton, New York, CRC Press. 1998.
- PNUMA. *Atlas Mundial de la Desertificación*. Middleton, N. y D. Thomas (Eds.).Oxford. Oxford University Press. 1997.
- 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*. Semarnat y CP. 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*. Semarnat y UACH. México. 2003.
- UNCCD y Zoï. *Desertification. A visual synthesis*. UNCCD-Zoï Environment Network France. 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. Fecha de consulta: enero de 2016.
- WRB. IUSS Working Group. *World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome. 2014.
- Zinck, A. Suelos, información y sociedad. *Gaceta Ecológica* 76: 7-22. Instituto Nacional de Ecología. 2005.



Biodiversidad

El cambio climático global y la pérdida de la biodiversidad son dos de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad hoy día. La expansión e intensificación de las actividades humanas desde mediados del siglo pasado han cambiado radicalmente el funcionamiento en muchos ecosistemas en diversas regiones del mundo e, incluso, han alterado los patrones de biodiversidad a nivel local y regional. En algunos casos, estos cambios han provocado la extinción de muchas especies. Estimaciones sugieren que la tasa actual de extinción de especies a nivel mundial podría ser entre 10 y 1 000 veces mayor a la registrada con anterioridad a la presencia humana (Pimm *et al.*, 1995).

No obstante, los grandes esfuerzos que se han hecho en las últimas dos décadas a nivel internacional para conservar y utilizar sustentablemente la biodiversidad, han sido insuficientes para avanzar hacia el cumplimiento de las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica (SCBD, 2014). De no haber cambios importantes, los pronósticos basados en la proyección de las tendencias actuales de los factores de presión más importantes, sugieren que la pérdida de la riqueza biológica global podría continuar cuando menos hasta el año 2020 (SCDB, 2010).

Los efectos de la pérdida de la biodiversidad no se restringen al aspecto ambiental. Es ampliamente reconocido que el bienestar social y el desarrollo económico de las naciones, y en particular el de los países en desarrollo y el de las comunidades más vulnerables, están fincados en la continuidad de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas y su biodiversidad (MEA, 2005).

Para muchos países, incluido México, la pérdida de biodiversidad cobra mayor relevancia debido a que es considerado como uno de los centros de diversidad biológica más importantes del planeta, de hecho, forma parte del grupo de los 15 países megadiversos que concentran en conjunto entre el 60 y 70% de la biodiversidad global (Mittermeier *et al.*, 1997; UNEP 2010). En el caso mexicano, también debe mencionarse su riqueza biocultural, que permitió el desarrollo de uno de los centros de domesticación de especies de plantas más importantes del mundo.

MÉXICO Y SU DIVERSIDAD BIOLÓGICA

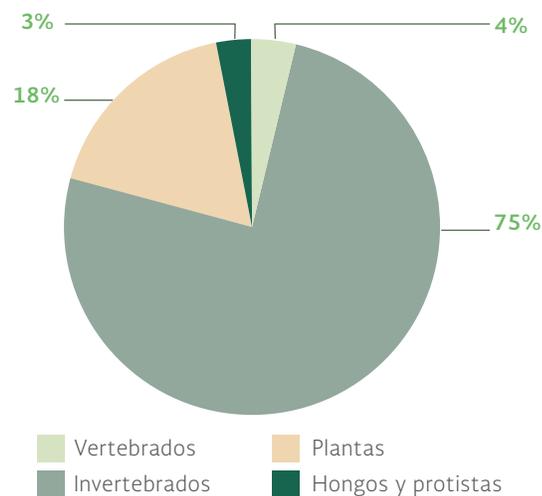
La notable diversidad biológica de México se explica por la influencia e interacción de diversos factores, entre los que destacan su historia geológica y su posición geográfica. En cuanto al primer aspecto, el territorio nacional se caracteriza por una variada topografía, con amplias serranías, cadenas volcánicas y mesetas. Sobresalen la Sierra Madre Occidental, que se extiende paralela a la costa del Pacífico, la Sierra Madre Oriental, que corre hacia el sur paralela al Golfo de México hasta el Escudo Mixteco, y el Eje Neovolcánico Transversal, en el que sobresalen los picos volcánicos de mayor altura en el país.

La ubicación geográfica de México y su topografía explican, en parte, su variedad de climas, los cuales van desde los cálidos húmedos hasta los fríos alpinos, pasando por los subhúmedos, los templados y los secos de las zonas áridas. Además, su ubicación lo coloca en una zona de transición entre dos regiones biogeográficas: la Neártica (dominada por asociaciones y especies de clima templado-frío emparentadas con las del Viejo Mundo), que abarca el centro y norte de México, las zonas templadas y frías de las sierras Madre Oriental y Occidental, y las sierras volcánicas del centro del país; y la región Neotropical (con especies de afinidad Afrotropical), que comprende las tierras bajas cálido-húmedas o subhúmedas, así como algunas zonas altas de las sierras de Chiapas y de la Sierra Madre del Sur (Sánchez *et al.*, 2007).

Todos estos factores han generado en México las condiciones necesarias para permitir la presencia de la mayoría de los ecosistemas reconocidos en el planeta (Rzedowski, 1978 y 2006). Las comunidades vegetales que pueden encontrarse en nuestro territorio van desde las selvas húmedas, subhúmedas y secas, pasando por los bosques templados y mesófilos de montaña, hasta los matorrales xerófilos, pastizales, manglares y otros tipos de humedales. Esta diversidad lo coloca, junto con Brasil y Colombia a nivel latinoamericano, como uno de los países con mayor variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos en su territorio (Dinerstein *et al.*, 1995). Para más información sobre la vegetación nacional y su dinámica en el país, se sugiere consultar el capítulo sobre **Ecosistemas terrestres**.

México se ubica como el décimo segundo país con mayor extensión de litorales y de superficie marina del mundo (Lara-Lara *et al.*, 2008). El estar flanqueado por el Océano Pacífico, el Golfo de California, el Golfo de México y el Caribe, además de contar con un gran número de islas e islotes, lo hace también poseedor de una excepcional riqueza de ecosistemas costeros y marinos, entre los que pueden encontrarse

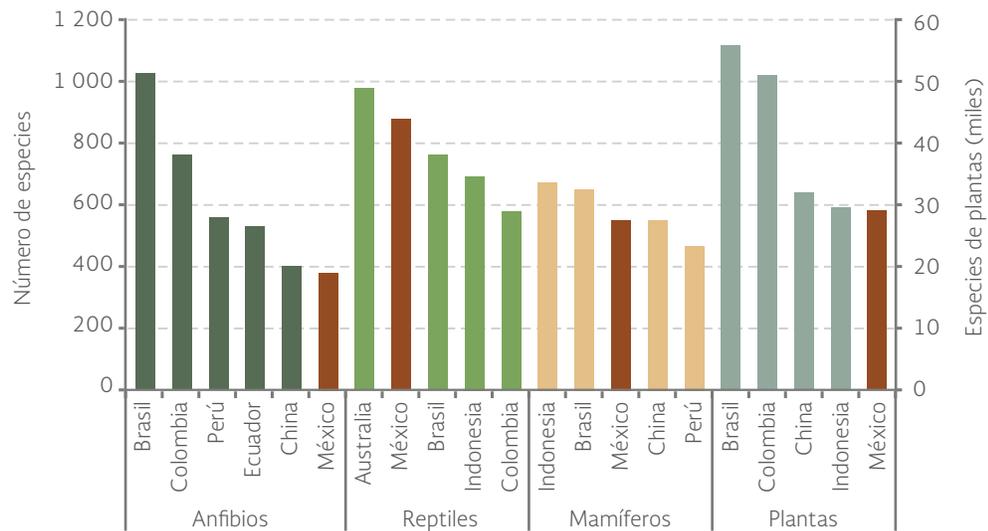
Figura 4.1 | Porcentaje estimado de especies descritas en el mundo, según la IUCN¹



Nota:
¹ Total de especies: 1.73 millones.

Fuente:
IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics.

Figura 4.2 | Riqueza de especies de los países megadiversos para distintos grupos taxonómicos



Fuentes:

Para México: Coordinación de información y Servicios Externos. Conabio. México. 2015.

Para el resto de los países:

Plantas: World Resources Institute. USA. 2004.

Anfibios: Amphibiaweb. 2016. Disponible en: <http://amphibiaweb.org/index.html>.

Reptiles: The reptile database 2015. Disponible en: www.reptile-database.org.

Sociedade Brasileira de Herpetologia. 2015. Disponible en: www.sbherpetologia.org.br/index.php/repteis.

Mamíferos: IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics.

manglares, vegetación de dunas arenosas, arrecifes, praderas de pastos marinos, comunidades de algas, además de una variedad de topoformas como montes y cañones submarinos, ventilas hidrotermales y abismos oceánicos, entre otros (Conabio, 2014).

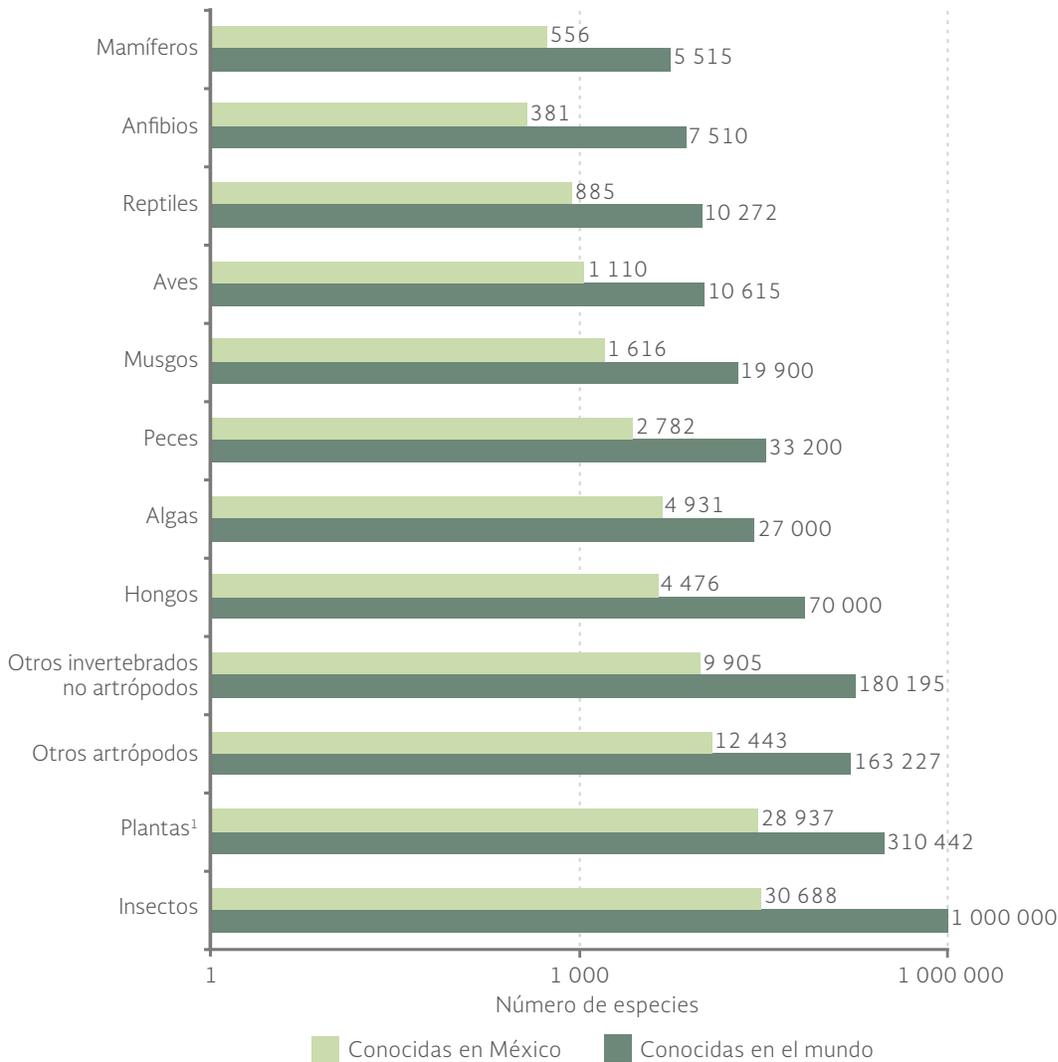
En cuanto a la diversidad de especies, de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), en el mundo se han descrito poco más de 1.73 millones, principalmente invertebrados (Figura 4.1). Sin embargo, esta cifra podría resultar pequeña en virtud de que el conocimiento de la biodiversidad global es aún incompleto. Los cálculos más conservadores estiman que en el planeta podrían habitar más de 100 millones de especies (Mora *et al.*, 2011).

Para México, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2015a), en 2014 se tenían registradas 27 322 especies de plantas vasculares, 4 476 especies de hongos, 5 714 especies de vertebrados y 48 198 especies de invertebrados. Esta diversidad coloca al país entre los primeros lugares del mundo en riqueza para algunos grupos taxonómicos (Figura 4.2).

Se ha calculado que esta riqueza equivale a cerca del 10% de la biodiversidad global (Martínez-Meyer *et al.*, 2014; Figura 4.3). Sin embargo aún existen muchas áreas en el territorio que no se han estudiado con detalle, como por ejemplo, algunas zonas tropicales o muchos ecosistemas marinos, particularmente los de mar profundo. Además, ciertos grupos, como los invertebrados, hongos y criptógamas tampoco se han colectado ni estudiado suficientemente (Smith-Ramírez,

2005), por no mencionar el caso de los microorganismos. Aún dentro de los grupos relativamente bien conocidos, como los moluscos y crustáceos, también hay órdenes y familias que no se conocen con profundidad (Martínez-Meyer *et al.*, 2014). Por esta razón se calcula que la cifra de especies descritas para el país podría representar entre el 30 y 50% de la biodiversidad que realmente lo habita (Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

Figura 4.3 | Diversidad de especies de hongos, de plantas y de animales en el mundo y en México



Nota:

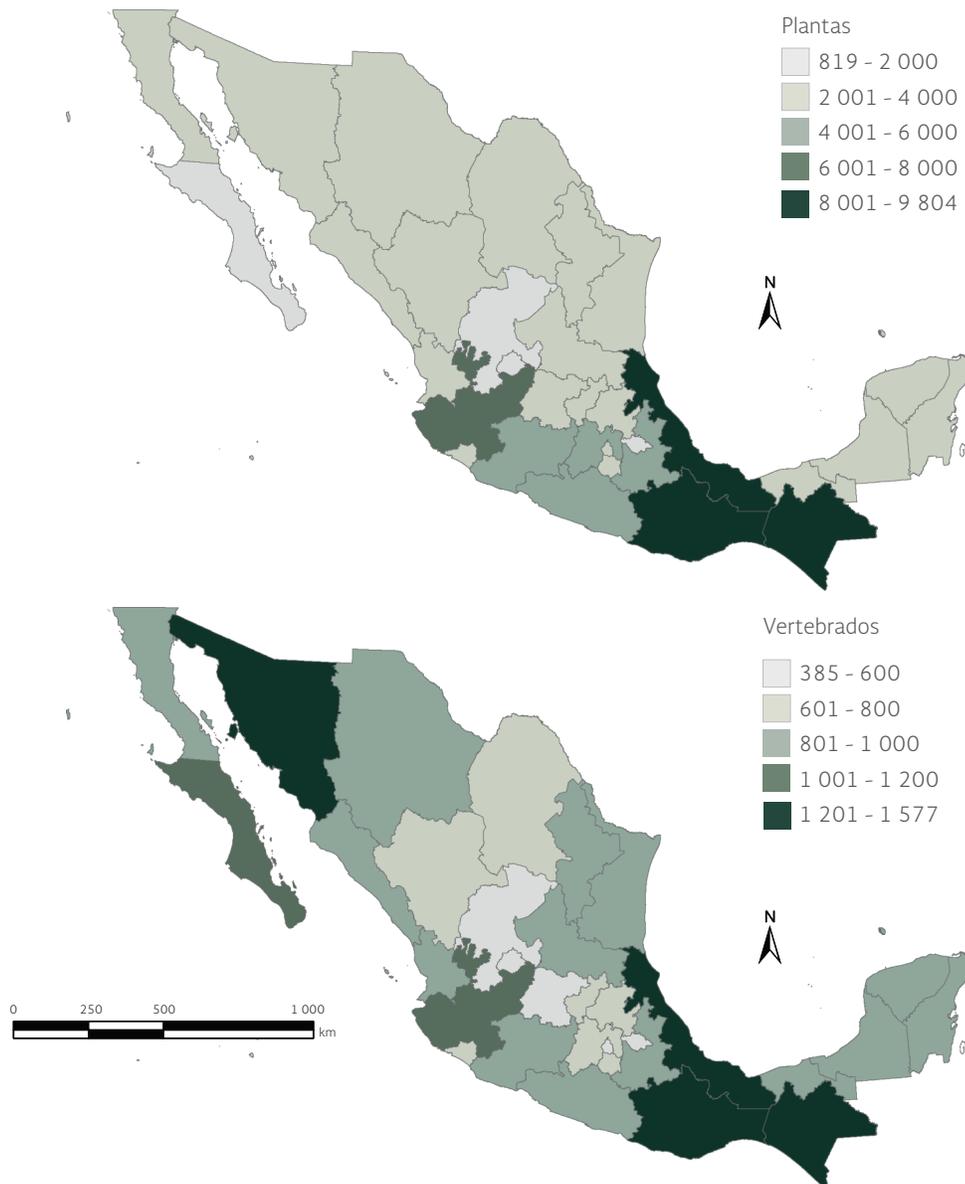
¹ Se considera: angiospermas, gimnospermas, pteridofitas y briofitas.

Fuentes:

Coordinación de información y Servicios Externos. Conabio 2015.
 Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda. Estado del conocimiento de la biota. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.
 Fishbase ver. (10/2015). Disponible en: www.fishbase.org/search.php.
 IOC World Bird List 2016. Disponible en: www.worldbirdnames.org/.
 The reptile database 2015. Disponible en: www.reptile-database.org/.
 IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics.
 AmphibiaWeb: Information on amphibian biology and conservation. [web application]. 2016. Berkeley, California: AmphibiaWeb. Disponible en: www.amphibiaweb.org/.

Respecto a la riqueza de plantas vasculares descritas en el país, dominan las angiospermas con 25 992 especies, principalmente de las familias de las compuestas (Asteraceae, 3 529 especies), leguminosas (Fabaceae, 2 204 especies) y de las cactáceas (Cactaceae; 720 especies; Cuadro D3_BIODIV02_11). La mayor riqueza de plantas vasculares se encuentra en los estados del sur, donde se localizan algunos de los ecosistemas con mayor biodiversidad del país, como las selvas altas perennifolias o los bosques mesófilos de montaña, que se entremezclan en complejos relieves topográficos; resaltan los estados de Oaxaca, que posee el 39% de las especies nacionales, (con 9 804 especies), Veracruz (34%, 8 617 especies) y Chiapas (33%, 8 334 especies; Figura 4.4; Tabla 4.1).

Figura 4.4 | Riqueza de vertebrados y plantas vasculares por entidad federativa



Fuente:
Conabio (comp.). Catálogos de autoridades taxonómicas de las especies de México. Bases de datos SNIB-Conabio. México. 2014.

Tabla 4.1 | Riqueza de especies de vertebrados registradas por entidad federativa, 2014

Entidad federativa	Peces	Anfibios	Reptiles	Aves	Mamíferos
Aguascalientes	7	15	53	263	46
Baja California	79	17	96	459	124
Baja California Sur	306	4	84	415	100
Campeche	113	20	92	452	131
Coahuila	40	21	101	365	112
Colima	20	24	79	472	121
Chiapas	137	101	219	697	214
Chihuahua	56	34	137	437	149
Distrito Federal	9	15	34	316	83
Durango	43	27	97	437	152
Guanajuato	21	12	40	330	68
Guerrero	45	68	161	529	142
Hidalgo	17	32	82	506	119
Jalisco	155	42	128	549	204
México	13	32	65	407	126
Michoacán	52	43	138	510	164
Morelos	20	37	76	367	109
Nayarit	34	28	78	534	137
Nuevo León	43	23	93	523	128
Oaxaca	114	139	257	752	211
Puebla	15	66	128	607	145
Querétaro	14	23	71	443	107
Quintana Roo	74	20	101	473	112
San Luis Potosí	27	34	104	524	155
Sinaloa	100	37	114	487	117
Sonora	242	37	154	533	161
Tabasco	98	24	85	500	113
Tamaulipas	56	40	111	545	152
Tlaxcala	3	18	32	310	54
Veracruz	122	96	195	697	203
Yucatán	115	16	89	366	118
Zacatecas	15	14	64	362	122

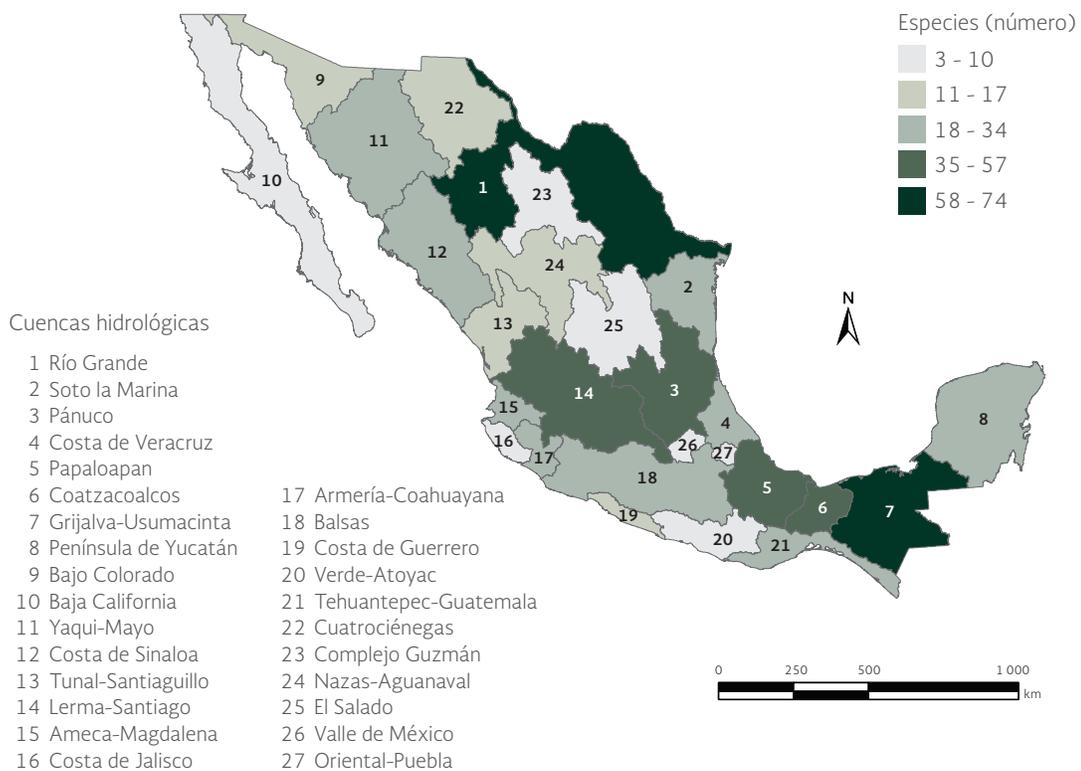
Fuente:

Coordinación de información y Servicios Externos. Conabio. México. 2015.

En cuanto a los vertebrados, las 5 714 especies registradas en México equivalen a cerca del 9% del total descrito a nivel mundial (Figura 4.3). En el caso de las aves, en el país se registran poco más del 10% de las especies conocidas globalmente (1 100 especies), concentrándose el mayor número en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Conabio, 2015a). Los mamíferos mexicanos (556 especies) también suman alrededor del 10% de las especies conocidas globales, con el mayor número también al sur del país (en Chiapas, 214 especies; Oaxaca, 211; y Veracruz, 203) y en el occidente del país (en Jalisco, con 204 especies).

La riqueza de reptiles, que suma 885 especies, convierte a México en el segundo país más rico a nivel mundial después de Australia. Los estados del sureste como Oaxaca, Chiapas y Veracruz son los más diversos en este grupo, con 257, 219 y 195 especies, respectivamente. Finalmente, en el caso de los peces, comprenden alrededor del 8.4% de las especies registradas a nivel mundial. Predominan las especies de ambientes exclusivamente marinos (57% de las 2 782 especies registradas), seguidos por las especies estuarinas (31%) y las exclusivamente dulceacuícolas (13%). Particularmente ricos en especies marinas, estuarinas y vicarias son los estados que bordean al mar de Cortés: Baja California Sur y Sonora, con 304 y 225 especies, respectivamente. En el caso de los peces continentales, son particularmente ricas en especies las cuencas de los ríos Bravo (74 especies), Grijalva-Usumacinta (72 especies), Lerma-Santiago (57 especies) y río Pánuco (52 especies; Mapa 4.1).

Mapa 4.1 | Riqueza de especies de peces en cuencas de México

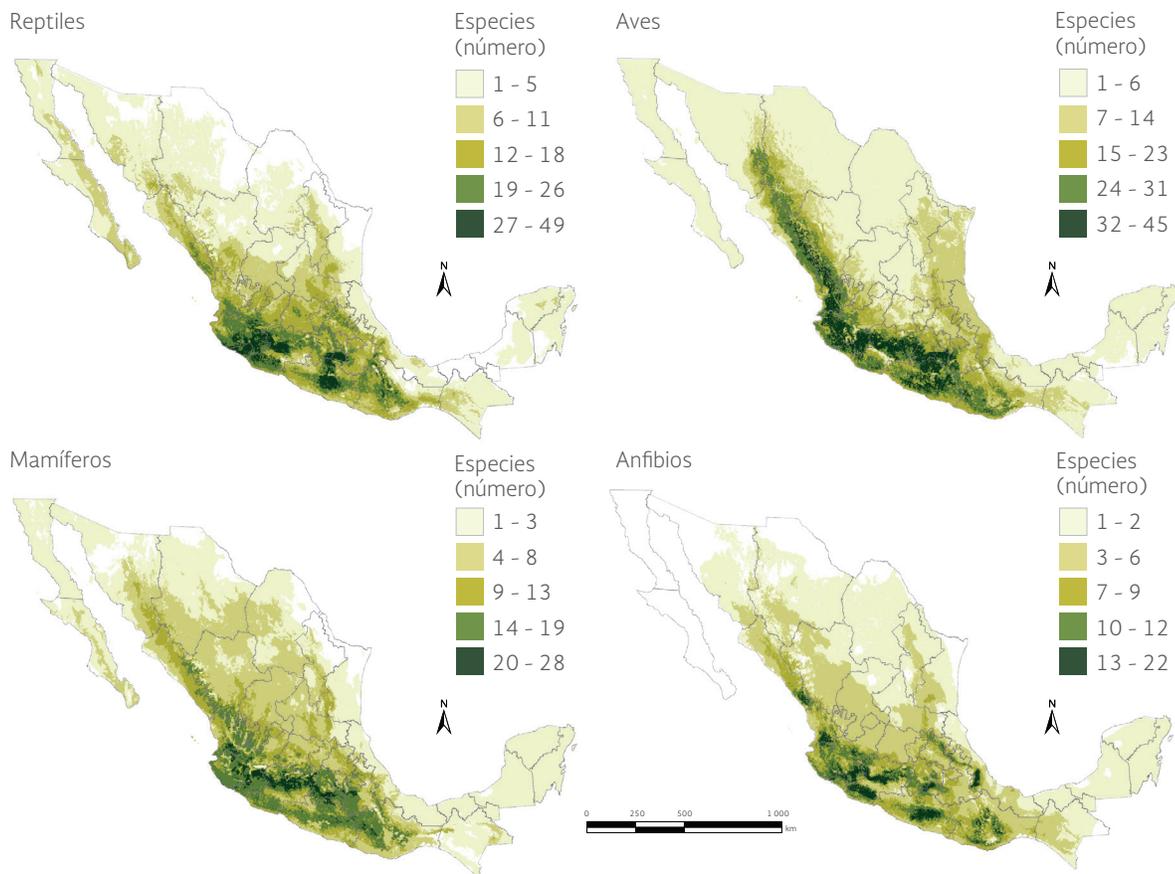


Fuente: Miller, R.R. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30: 121-153. 1986.

Los invertebrados (entre los que destacan los insectos por su diversidad), aunque menos conspicuos que la mayoría de las especies de vertebrados, tienen importancia fundamental para mantener la estructura y función de los ecosistemas, por ejemplo, a través de su participación en el reciclado de materia orgánica, la movilización de nutrientes del suelo, la polinización y el control de plagas, entre otros. De acuerdo con la Conabio (2015a), en nuestro país existen poco más de 30 mil especies de insectos; sin embargo, de acuerdo con Zhang (2011) México podría albergar hasta el 10% del total de la biodiversidad de insectos a nivel mundial, lo que representaría cerca de 100 mil especies.

Además de la riqueza de especies, el endemismo, que se refiere a las especies que habitan exclusivamente una región geográfica, también es una característica importante de la biodiversidad nacional. En nuestro país, la mayor parte de las zonas de alto endemismo se concentran en las zonas montañosas y los desiertos (Medina-Macías *et al.*, 2010; Figura 4.5). Dentro de los grupos de plantas vasculares con un alto número de especies exclusivas al país están los encinos (género *Quercus*) con alrededor de 107 especies endémicas (casi 67% del total de especies mexicanas y alrededor del 21% de las especies a nivel mundial), los pinos (género *Pinus*) con 40 especies endémicas (85% del total de especies reportadas en nuestro país), las cícadas con 41 especies

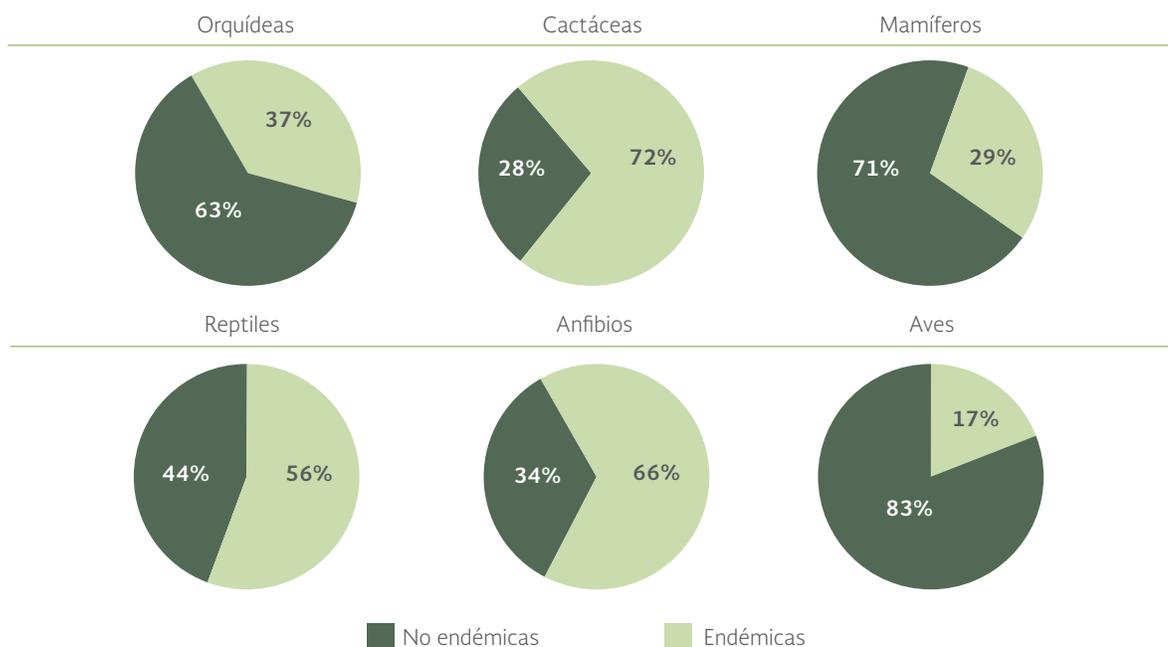
Figura 4.5 | Patrones de endemismo¹ en México para los principales grupos de vertebrados



Nota:
¹ Modelados a escala de alta resolución de 1 km².

Fuente:
 Koleff, P., J. Soberón *et al.* Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.

Figura 4.6 | Endemismo en distintos grupos taxonómicos en México, 2015



Fuente:
Coordinación de información y servicios externos. Conabio. México. 2015.

endémicas (79% del total) y las orquídeas (585 especies, 37%; Figura 4.6; Conabio 2015a). México es también el centro más importante de diversificación de las cactáceas a nivel mundial: aquí se registran 720 especies de las cuales el 72% son endémicas (518 especies; Jiménez, 2011; [Cuadro D3_BIODIV02_13b](#)).

En cuanto a la fauna, los grupos de mayor endemismo en el país son los anfibios y los reptiles. En el caso de los anfibios, de las 381 especies registradas, 252 son endémicas, es decir, el 66% (Parra-Olea *et al.*, 2014); de las 885 especies de reptiles, 493 son endémicas (56%; Figura 4.6). Con menores niveles de endemismo están los mamíferos (29% del total, 162 de las 556 especies) y las aves (17%, 194 de las 1 110 especies; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014; [Cuadro D3_BIODIV02_14b](#)).

El territorio que ahora ocupa México ha estado habitado por grupos humanos por lo menos desde hace 12 o 13 mil años (Del Olmo *et al.*, 2011). La prolongada interacción de muchos de ellos con la biodiversidad local provocó la domesticación y semidomesticación de muchos grupos de plantas y de algunos animales. Por ello, también es reconocido como uno de los ocho principales centros vavilovianos¹ de origen, domesticación y diversidad genética de más de 130 especies de plantas cultivables en el mundo (Acevedo *et al.*, 2009). Destacan por su importancia el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus spp.*), chile (*Capsicum annum*), calabaza (*Cucurbita spp.*), cacao (*Theobroma cacao*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), tomate (*Physalis ixocarpa*), camote (*Ipomoea batatas*), yuca (*Manihot esculenta*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), amaranto (*Amaranthus leucocarpus*),

¹ Nicolai Vavilov fue un genetista y botánico ruso que propuso ocho centros de origen de las plantas cultivadas: 1) China, 2) India y la región Indo-Malaya, 3) Asia central, 4) Cercano Oriente, 5) Mediterráneo, 6) Etiopía, 7) Mesoamérica y 8) Sudamérica.

Tabla 4.2 | Especies mexicanas con estudios sobre diversidad genética

Especies	
Microorganismos	
Bacterias fijadoras de nitrógeno	1
Rizobios	8
Bacterias patógenas	1
Protozoarios	1
Hongos	
Hongos	2
Plantas	
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
Animales	
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, E., et al. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México. 2008.

huauzontle (*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*), cacahuete (*Arachis hypogaea*), papaya (*Carica papaya*), guayaba (*Psidium guajava*), algodón (*Gossypium hirsutum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Hernández-Xolocotzi 1998; Cuadro D3_BIODIV05_03). Además, México ha sido centro de diversificación secundaria de otros cultivos importantes como la papa y el girasol (*Helianthus annuus*), así como de especies maderables de uso forestal de los géneros *Pinus* (Styles, 1993) y *Quercus* (Nixon, 1993).

En el caso del maíz, en América Latina se han descrito cerca de 220 razas, de las cuales, 64 (29%) se han identificado y descrito para México (Conabio, 2012). Todas las especies de chile son originarias del continente americano, cinco de las cuales han dado lugar a más de 40 variedades en el país (Montes-Hernández, 2010; Conabio, 2015b). Respecto al frijol, existen más de 70 variedades y aproximadamente 150 especies en el mundo, de las cuales 50 se encuentran en nuestro país (Conabio, 2013).

En contraste con la gran cantidad de especies vegetales domesticadas en México, existen solo dos especies animales propiamente domesticadas: un ave, el guajolote (*Meleagris gallopavo*) y un mamífero (el perro xoloitzcuintle; Perales y Aguirre, 2008), así como nueve especies de insectos semidomesticadas² (hormigas, chapulines y gusanos de maguey, entre otras; Conabio, 2015a).

Aun cuando el conocimiento de la diversidad de especies de México es aún incompleto, es mucho mayor que el que se posee respecto a la diversidad genética de sus especies y poblaciones. Hasta finales de la década pasada, en el país se habían estudiado desde el punto de vista de su riqueza genética alrededor de 200 especies, entre microorganismos, coníferas, encinos, epífitas, cícadas, parasitoides, áfidos, aves y mamíferos marinos (Tabla 4.2). Si este número se compara con la riqueza de especies que se lista para el país

² Estas especies son recolectadas para alimento; no obstante, por el hecho de tener una relación estrecha con el hombre, se habla de una domesticación incipiente o semidomesticación.

actualmente, resulta sorprendentemente bajo. No obstante, a pesar del esfuerzo que aún debe realizarse en esta área, los estudios realizados permiten suponer que la riqueza de muchas de las especies silvestres también podría ser significativa (Piñero *et al.*, 2008).

AMENAZAS A LA BIODIVERSIDAD

La riqueza biológica de las comunidades y ecosistemas es, al fin y al cabo, el resultado de la compleja interacción de procesos geológicos, climáticos, ecológicos y evolutivos. Los cambios ambientales que sufren los ecosistemas por estos factores han conducido a la continua diversificación de los grupos biológicos y, en contados periodos de la historia del planeta, a la repentina extinción de muchas de sus especies.

Desde su aparición, la humanidad se ha convertido en una fuente constante de presión sobre los ecosistemas y su biodiversidad. Para conseguir sus bienes de subsistencia, desde milenios atrás los grupos humanos han empleado la caza, la pesca, la recolección de frutos y más tardíamente la modificación del hábitat para el desarrollo de la agricultura. La colonización y presencia humana llevó a la extinción de numerosas especies (como en el caso de algunos de los grandes herbívoros como el mamut, el milodón y el megaterio; Barnosky y Lindsey, 2010; Sandom *et al.*, 2014; Wojtal y Wilczynski, 2015) y a cambios sustanciales en el funcionamiento de sus ecosistemas, en ambientes particularmente sensibles como las islas. Sin embargo, durante muchos siglos estos cambios y sus afectaciones fueron, hasta cierto grado, locales. Ha sido a partir de los siglos XIX y XX — y sobre todo desde la década de los años cincuenta de este último — que los seres humanos se convirtieron en el factor de cambio más importante para los ecosistemas terrestres y acuáticos del planeta (MEA, 2005). Los efectos del cambio de la humanidad en el paisaje (con sus consecuentes impactos en el clima y en la pérdida de la diversidad biológica que vivimos actualmente) han sido de tal magnitud que muchos científicos han propuesto desde inicios del presente siglo, y con mayor impulso en años recientes, nombrar a la época actual como el Antropoceno (ver Crutzen, 2002).

Una de las diferencias fundamentales de los efectos derivados, tanto de los cambios que suceden de manera natural como de las actividades humanas, radica en la tasa y complejidad a la cual ocurren (Challenger *et al.*, 2009). En el caso particular de la biodiversidad, la velocidad a la que los científicos han calculado que el planeta está perdiendo sus especies rebasa ampliamente (entre 10 y 1 000 veces; Pimm *et al.*, 1995) las tasas de extinción observadas en el registro geológico en épocas previas a la aparición humana. Es por ello que se reconoce que la biodiversidad podría estar enfrentando en nuestros días la sexta crisis de extinción más grave de su historia (Barnosky *et al.*, 2011; Ceballos *et al.*, 2015).

Entre las principales causas de pérdida de biodiversidad, ocasionadas por los humanos, están la transformación, degradación y fragmentación de los ecosistemas naturales, en particular por la expansión de la agricultura y la ganadería, la urbanización, la construcción de infraestructura (como carreteras, muelles y presas) y por la apertura de minas y canteras (PNUMA, 2012). A ello debe sumarse la sobreexplotación de las poblaciones silvestres de muchas especies (por

la pesca, la caza y la recolección), la introducción de especies exóticas invasoras y el cambio climático global. En esta sección se describe, de forma general, la problemática derivada de la agricultura, la construcción de carreteras y la introducción de especies exóticas como fuente de amenazas para la biodiversidad de México. En el capítulo sobre **Ecosistemas terrestres** se pueden consultar mayores detalles respecto a otras presiones que afectan los ecosistemas naturales (y a su biodiversidad) como son el cambio de uso del suelo, el aprovechamiento de los recursos naturales y los incendios forestales.

AGRICULTURA Y GANADERÍA

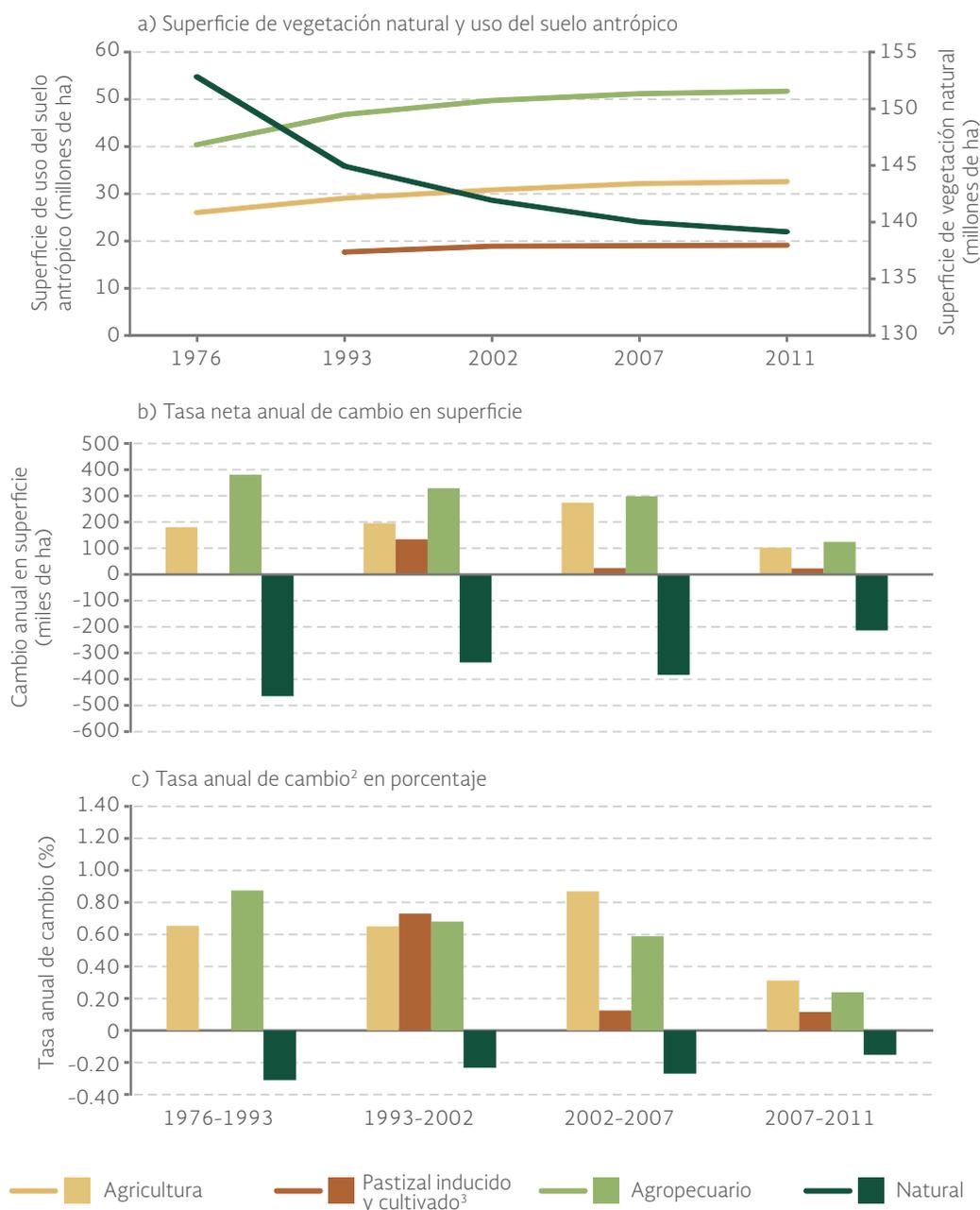
La expansión de las actividades agropecuarias, en los últimos cincuenta años, ha sido el principal motor de la pérdida de la vegetación natural, y por tanto una de las principales amenazas para la biodiversidad, tanto en México como en el mundo. Además de sus efectos por la transformación y pérdida de los ecosistemas, las actividades agropecuarias también afectan directamente a la biodiversidad por medio de la eliminación de especies competitivas o reguladoras (por ejemplo, los depredadores), por el uso de agroquímicos y por la erosión genética de los cultivos tradicionales al ser sustituidos por variedades mejoradas y genéticamente modificadas (INIFAP, 1995; Raya-Pérez *et al.*, 2010; FAO, 2015). Indirectamente, la extracción de agua de ríos y lagos y su contaminación por las escorrentías cargadas con sedimentos, nutrientes, antibióticos y químicos tóxicos, son otros de los efectos negativos de las actividades agropecuarias sobre la biodiversidad.

En México, de acuerdo a las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, la expansión histórica de la agricultura hasta los años setenta había alcanzado, a costa de ecosistemas naturales, poco más de 26 millones hectáreas, esto es, el 13.3% de la superficie total del país (Figura 4.7a). Para 2011 avanzó hasta alcanzar cerca de 31 millones de hectáreas, principalmente sobre superficies ocupadas originalmente por selvas (13 millones de ha), matorrales (7.4 millones de ha), bosques templados (6.3 millones de ha) y pastizales (5 millones de ha).

Extensas superficies de ecosistemas naturales, incluidos los pastizales naturales, también han sido transformadas a sitios dedicados a la ganadería. En la década de los setenta, los pastizales inducidos y cultivados cubrían una superficie de más de 14.3 millones de hectáreas (7.3% de la superficie total del país), la cual creció a 19.1 millones de hectáreas en 2011 (9.7% del país; Figura 4.7a). En este último año, la superficie de pastizales cultivados e inducidos se habían extendido sobre superficies ocupadas originalmente por selvas (10.8 millones de ha), bosques templados (3.7 millones de ha), matorrales (3.4 millones de ha) y aún sobre pastizales naturales (602 mil ha).

Si se consideran en conjunto a los terrenos agrícolas y ganaderos, entre la década de los años setenta y 2011, crecieron 11.4 millones de hectáreas, con lo cual, su presencia se amplió del 20.5 al 26.3% del territorio nacional. No obstante, la tasa de expansión anual de la frontera agropecuaria ha disminuido gradualmente: en el periodo 2002-2007 alcanzó 296 mil hectáreas (0.59% anual) y entre 2007 y 2011 fue de 123 mil hectáreas (0.24% anual; Figura 4.7b y c).

Figura 4.7 | Cambios en la superficie agropecuaria en México, 1976¹, 1993, 2002, 2007 y 2011



Notas:

¹ Los datos que se asignan para 1976 corresponden a las fotografías aéreas tomadas en su mayoría a lo largo de los años setenta.

² 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.

³ 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 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.

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. México. 2013.

El daño de la ganadería a los ecosistemas naturales va más allá de su transformación para implantar pastizales inducidos o cultivados. En muchas ocasiones, los hatos de ganado pastan dentro de los ecosistemas naturales, promoviendo en muchos casos su degradación, así como la erosión y compactación de los suelos, sobre todo cuando el número de cabezas excede la capacidad de la vegetación para recuperarse. De acuerdo a la Carta de Uso del Suelo y Vegetación del año 2011, los pastizales inducidos y cultivados cubrían poco más 19 millones de hectáreas (9.7% del país), sin embargo, según los datos de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca, 2004 y 2015), en 2012 la superficie ocupada por la actividad pecuaria era de casi 110 millones de hectáreas (56% de la superficie total de México). Esto podría sugerir que al menos 91 millones de hectáreas de superficie ganadera estarían fuera de los pastizales inducidos o cultivados, es decir, sobre superficies ocupadas por vegetación natural.

El número de cabezas de ganado en 23 entidades del país excede la capacidad de sus superficies pecuarias y de sus ecosistemas naturales para mantenerlas³. En particular, la sobrepoblación es mayor en el centro del país y algunas de las entidades de la costa del Golfo de México (Mapa 4.2).

Mapa 4.2 | Sobrepoblación de cabezas de ganado por entidad federativa, 2014



Nota:

¹ Los valores positivos indican un exceso de cabezas de ganado con relación a lo que el ambiente puede sostener.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Cotecoca, Sagarpa. México. 2015.
INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000*. México. 2013.

³ Este cálculo se realizó considerando el número de cabezas de ganado (de la población bovina libre y semiestabulada, así como a la ovina y caprina) que corresponden a cada entidad en función de su superficie de pastizales inducidos y cultivados y de ecosistemas naturales (derivadas de la Carta del Uso de Suelo y Vegetación Serie V del INEGI) y de sus coeficientes de agostadero correspondientes (publicados por la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero). La diferencia con valor positivo entre la población pecuaria actual y la que pueden sostener los pastizales inducidos y cultivados y los ecosistemas naturales de una entidad es lo que en el Mapa 4.2 se ha llamado sobrepoblación; un valor negativo denota, por el contrario, que la población no excede aún la capacidad estatal para mantenerla.

En Tlaxcala, por ejemplo, la sobrepoblación de cabezas de ganado estimada podría alcanzar el 96% de la población existente. En otros estados, como Veracruz e Hidalgo, esta cifra llega al 91%. En contraste, algunos de los estados del norte del país y del sureste son los que mantienen poblaciones pecuarias que no han excedido la capacidad de sus superficies pecuarias y de ecosistemas naturales para mantenerlas.

INFRAESTRUCTURA

Red de caminos y carreteras

El crecimiento de la población, la expansión de las zonas urbanas y de las actividades agropecuarias e industriales, así como el movimiento de personas y mercancías, requieren del crecimiento de una amplia red de infraestructura que incluye caminos y carreteras, puertos, presas para el abasto de agua y la generación de energía eléctrica y de torres y estaciones para su transporte, entre otras obras.

La infraestructura es también, a pesar de sus beneficios, un factor de presión sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos, ocasionando frecuentemente la transformación y fragmentación de los hábitats de muchas de sus especies, lo que conlleva a la pérdida de biodiversidad. Esta sección se enfocará al caso de la infraestructura carretera (que también se trata, sobre todo por sus efectos en la fragmentación de los **ecosistemas terrestres**, en el capítulo 2), en las presas y la construcción y operación de puertos.

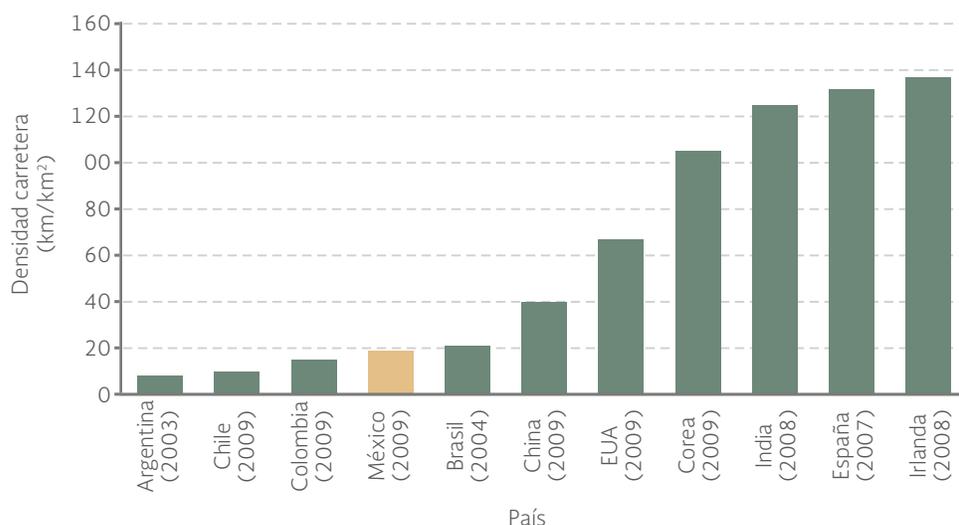
Algunos de los efectos negativos directos de la construcción y operación de caminos y carreteras son, al lado de la pérdida de superficie de ecosistemas, la aparición de barreras no naturales en las áreas de distribución de las poblaciones de las especies (sobre todo en el caso de la fauna) y el incremento de su tasa de mortalidad. La presencia de carreteras produce el aislamiento reproductivo, la mortalidad por atropellamiento en el caso de la fauna y favorece también la dispersión y proliferación de especies exóticas (Puc-Sánchez *et al.*, 2013). Es importante señalar que los distintos tipos de caminos y recubrimientos tienen impactos distintos en la biodiversidad. A diferencia de los caminos de terracería, carreteras más amplias con recubrimientos impermeables y barreras de concreto o metálicas entre carriles tienen mayores efectos de aislamiento y causan, por lo general, mayor mortalidad en la fauna (González y Benítez, 2013).

México tiene una densidad de carreteras cercana a los 19 kilómetros por kilómetro cuadrado, cifra comparativamente baja a la que registran otros países de la OCDE como Irlanda (137 km/km²), España (132 km/km²) o la de países asiáticos como India (125 km/km²; Figura 4.8).

El crecimiento de la red de caminos y carreteras, sobre todo en el centro del país, ha sido muy importante en las últimas décadas. Entre inicios de los años noventa y 2013, la extensión nacional de carreteras creció en poco más de 100 mil kilómetros (Figura 4.9).

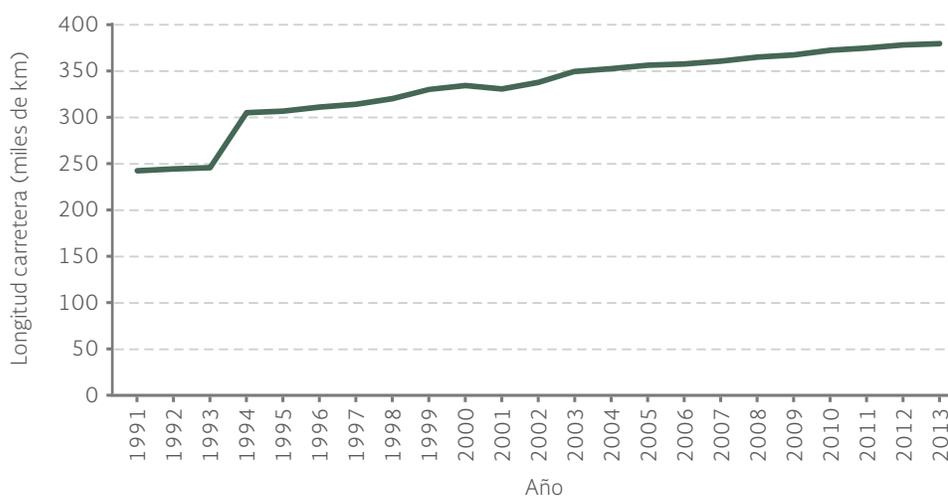
Si se observa el tipo de vegetación sobre el que está construida la red carretera, en 2014 la mayor densidad de caminos se encontraba dentro del bosque mesófilo de montaña, con un valor 0.19

Figura 4.8 | Densidad carretera en algunos países de la OCDE



Fuente: Blanke, J. y T. Chiesa. (Ed). *Travel & Tourism Competitiveness Report 2013*. World Economic Forum, Geneva, Switzerland. 2013.

Figura 4.9 | Crecimiento de la red de carreteras en México, 1991 - 2013



Fuentes: SCT. *Anuario Estadístico 2001*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 2002.
 SCT. *Infraestructura del Sector*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 2004 y 2006.
 SCT. *Anuario Estadístico 2011-2013*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 2012-2014.

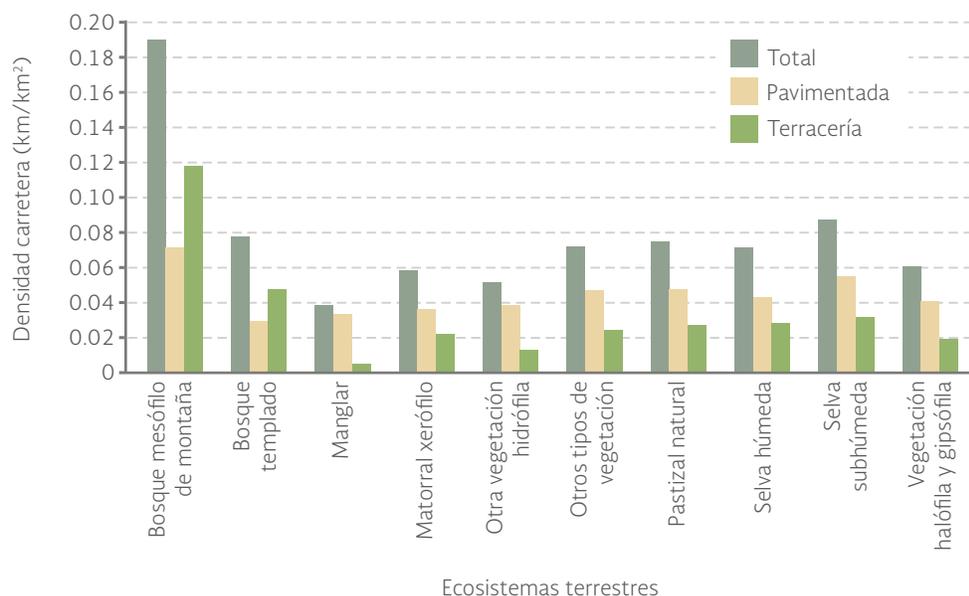
kilómetros por kilómetro cuadrado⁴ (Figura 4.10). Le seguían las selvas subhúmedas y húmedas (0.09 y 0.07 km/km², respectivamente) y el bosque templado (0.08 km/km²). En general, la mayor parte de la densidad carretera dentro de ecosistemas naturales corresponde a vías pavimentadas, con excepción del bosque mesófilo de montaña y el bosque templado, en donde predominan las

⁴ En el caso de la información sobre vegetación, corresponde al año 2011, obtenida a partir de la Carta del Uso del Suelo y Vegetación Serie V del INEGI.

terracerías. En el caso del bosque mesófilo, poco más del 62% de su red de caminos correspondía a terracería, mientras que para los bosques templados, esta cifra alcanzaba cerca del 61%.

Como se ha mencionado anteriormente, otro de los efectos de la red carretera es el aumento de la mortalidad provocado por el atropellamiento de la fauna. Su efecto más importante e inmediato es la reducción del tamaño de las poblaciones de las especies afectadas. A la fecha, no existen estadísticas precisas ni periódicas respecto a los impactos en las poblaciones naturales de las especies afectadas. Sin embargo, algunos estudios publicados ofrecen una perspectiva general al respecto (Tabla 4.3; ver González y Benítez, 2013). En algunas regiones, el número de especies afectadas puede ser importante. En la selva húmeda de Los Tuxtlas, en Veracruz, se han registrado hasta 73 especies de vertebrados (en su mayoría reptiles y aves) afectados por atropellamiento; en una localidad de selva subhúmeda en Jalisco, esta cifra alcanzó 64 especies (principalmente de aves y mamíferos). Junto al número de especies afectadas deben considerarse también la frecuencia de los eventos y la extensión de los caminos en la que ocurre. En una selva baja caducifolia de Oaxaca, por ejemplo, se encontró que la mortalidad de aves podía alcanzar hasta 0.82 animales por kilómetro de carretera por día (Tabla 4.4); si con esta cifra se calcula cuál sería la mortalidad anual en este grupo, el total ascendería a cerca de 300 aves por año por kilómetro.

Figura 4.10 | Densidad carretera por tipo de vegetación¹ en México, 2014



Nota:

¹ La estimación de la densidad de carreteras, por ecosistemas terrestres, considera la vegetación natural (primaria y secundaria).

Fuentes:

INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011)*, escala 1: 250 000. México. 2013.

INEGI y SCT. *Conjunto Nacional de Carreteras y vialidades, datos topográficos, escala 1:50 000*. Fecha de metadatos diciembre 2014. México. 2014.

SCT. *Anuario Estadístico 2013*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 2014.

Tabla 4.3 | Especies de fauna afectadas por atropellamiento, en algunos tipos de vegetación, por grupo taxonómico en México

Año	Región	Área de estudio	Grupo/especies objeto de estudio	Especies por grupo					Total de especies
				Mamíferos	Aves	Reptiles	Anfibios	Invertebrados	
1993 ¹	Nuevo León	Zona árida	Mamíferos	15					15
1996 ²	Nuevo León	Zona árida	Tortuga texana			1			1
1997 ³	Los Tuxtlas, Veracruz	Vegetación secundaria de selva	Vertebrados	15	19	30	9		73
1999 ⁴	Reserva de la Biosfera El Pinacate, Sonora	Desiertos	Antílope	1					1
2001 ⁵	Puerto Ángel, Oaxaca	Carretera costera	Sapos				1		1
2008 ⁶	Juchitán, Oaxaca	Selva caducifolia	Vertebrados	4	17	7	2		30
2008 ⁷	Cuenca baja del Usumacinta	Humedales y selva tropical secundaria	Vertebrados	6	6	6			18
2008 ⁸	Costa sur, Jalisco	Selva caducifolia	Todos los grupos	16	33	12	1	2	64
2010 ⁹	Michoacán	Área de cultivos	Aves		19				19
2011 ¹⁰	Michoacán	Carretera costera	Vertebrados	13	9				22
2011 y 2013 ¹¹	Perote, Veracruz	Matorral xerófilo	Vertebrados	28	19	10	1		58

Fuentes:

¹ Polaco, O. J., y A.F. Guzmán. Mortalidad anual de mamíferos en una carretera al sur de Nuevo León. En: R. Medellín y G. Ceballos (Eds). *Avances en el Estudio de Mamíferos de México*. Asociación Mexicana de Mastozoología. México. 1993.

² Rendón, A. y O.J. Polaco. Mortalidad en carreteras de la tortuga del desierto *Gopherus berlandieri*. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 7 (1): 11-12. 1996.

³ Morales-Mávil, J.E., J.T. Villa-Cañedo, S. Aguilar-Rodríguez y L. Barragán-Morales. Mortalidad de vertebrados silvestres en una carretera asfaltada de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ciencia y el Hombre-UV* 27: 7-23. 1997.

⁴ Castillo-Sánchez, C. Highways and wildlife conservation in Mexico. *The Sonora pronghorn antelope at the El Pinacate y Gran Desierto de Altar Biosphere Reserve along the Mexico-USA border*. En: Proceedings International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, Minnesota, Montana, U.S.A. 1999.

⁵ Becerril-Morales, F. Sapos atropellados: mortalidad no natural del sapo marino (*Bufo marinus*; Bufonidae), en Puerto Ángel, Oaxaca. *Ciencias y Mar* 5 (13): 47-52. 2001.

⁶ Grosselet, M., B. Villa-Bonilla y G. Ruiz-Michael. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el Istmo de Tehuantepec. En: T.D. Rich, C. Arizmendi, D.W. Demarest y C. Thompson (Eds.). *Tundra to Tropics: connecting birds, habitats and people*. Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference. U.S.A. 2008.

⁷ Pozo-Montuy, G., M. Bonilla-Sánchez y F. Pozo-Juárez. *Las carreteras y su impacto sobre la fauna silvestre en una región de la Cuenca Baja del Usumacinta*. En: A.J. Sánchez, M.G. Hidalgo-Mihart, S.L. Arriaga-Weiss y W.M. Contreras-Sánchez. *Perspectivas en Zoología Mexicana*. Universidad Autónoma de Tabasco, Tabasco, México. 2008.

⁸ Lara-Gómez, G. *Mortalidad de fauna Silvestre por Infraestructura Carretera en la Región 08 Costa Sur del Estado de Jalisco, México*. En: A.J. Sánchez, M.G. Hidalgo-Mihart, S.L. Arriaga-Weiss y W.M. Contreras-Sánchez (orgs.) *Perspectivas en Zoología Mexicana*, Universidad Autónoma de Tabasco, Tabasco, México. 2008.

⁹ Álvarez-Ramírez, M.T., H.J. Salgado-Ortiz y M. Vázquez-Muñoz. *Efecto de la aplicación de herbicidas en campos de cultivos en el número de aves atropelladas en las carreteras del occidente michoacano*. En: Memorias del X Congreso para el estudio y conservación de aves en México (CECAM), Xalapa, Veracruz, México. 2010.

¹⁰ Delgado-Trejo, C., N. Hernández y R. Robledo-Herrera. *Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera costera de Michoacán*. INIRENA. www.inirena.umich.mx/&carretera.html. 2011.

¹¹ González-Gallina, A. *Atropellamiento de fauna en el libramiento carretero de Amozoc-Cantona-Perote (2010-2011)*. Tesis de Maestría, Inecol. 2011.
González-Gallina, A., G. Benítez-Badillo, O.R. Rojas-Soto y M.G. Hidalgo-Mihar. The small, the forgotten and the dead: highway impact on vertebrates and its implications for mitigation strategies. *Biodiversity and Conservation* 22 (2): 325-342. 2013.

Tabla 4.4 | Mortalidad de algunas especies de vertebrados por atropellamiento en México

Grupo	Especie	Nombre común	Tipo de vegetación /Región	Longitud monitoreada de la carretera (km)	Animales muertos/día	Referencia
Anfibios	<i>Rhinella marina</i>	Sapo gigante	Oaxaca	1	2.3-6.4	Becerril-Morales, 2001
Aves	Diversas especies		Selva baja caducifolia, Oaxaca	1.2	0.82	Grosselet et al., 2008
Reptiles	<i>Gopherus berlandieri</i>	Tortuga del desierto	Matorral xerófilo/ Nuevo León	194	0.02	Rendon y Polaco, 1996

Fuente:

González Gallina, A. y G. Benítez Badillo. Road Ecology Studies for Mexico: A review. *Oecologia Australis* 17 (1): 175-190.

El crecimiento futuro de las vías de comunicación en el mundo seguirá fragmentado muchos ecosistemas y ejerciendo una mayor presión sobre su biodiversidad. Se calcula que para mediados del presente siglo se habrán construido cerca de 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras, de las cuales 90% se realizarán en países en desarrollo, algunos de ellos de los considerados megadiversos, como es el caso de México, Brasil, Colombia y China (Laurance et al., 2015). Particularmente en México, de acuerdo al Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018, la red de carreteras federales se ampliará en alrededor 2 772 kilómetros durante este sexenio (SHCP, 2014), lo que equivale a un aumento del 1.9% respecto a la infraestructura pavimentada existente en 2014.

Presas

La construcción de presas ha sido una solución para cubrir la creciente demanda de agua dulce para uso doméstico, industrial y agrícola, así como una alternativa importante para la generación de energía eléctrica. Los impactos de la construcción y puesta en operación de las presas alcanzan a la biodiversidad río abajo y río arriba tanto por los cambios en el volumen y la calidad de los flujos de agua como por la fragmentación del hábitat. Todo ello puede tener un impacto sobre los ciclos de vida de diversas especies y sobre sus relaciones tróficas (Martínez-Yrizar et al., 2012).

Se calcula que el 60% de los ríos del mundo se encuentra represado por casi un millón de obras de infraestructura hidráulica (PNUMA, 2010). En el caso particular de México existen aproximadamente 5 100 presas y bordos. Según la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el país cuenta con 172 grandes presas que representan el 80% del almacenamiento total del país; en 2013 el volumen de agua almacenado en esas presas fue cercano a los 98 mil hectómetros cúbicos (Conagua, 2014; para más detalles del almacenamiento de agua en presas en el país consultar el capítulo sobre **Agua**).

En el país algunas de las cuencas con una mayor cantidad de represas también son las que poseen gran relevancia por su biodiversidad y grado de endemismo. Es el caso de las cuencas del Río Bravo,

Río Santiago y Lerma–Chapala (Semarnat, 2015b; De la Vega, 2003; De Anda, 2014); en el caso de esta última, se considera como la segunda cuenca con mayor diversidad de especies de peces en el país (57 especies, de las cuales alrededor del 58% son endémicas, Miller, 1986). También destacan por su número de presas las cuencas de los ríos Pánuco, Balsas, Yaqui y Nazas; entre ellas, la del río Pánuco es la que cuenta con la mayor diversidad de especies de peces, (75 especies), de las cuales 30% son endémicas (Miller, 1986).

Puertos marítimos

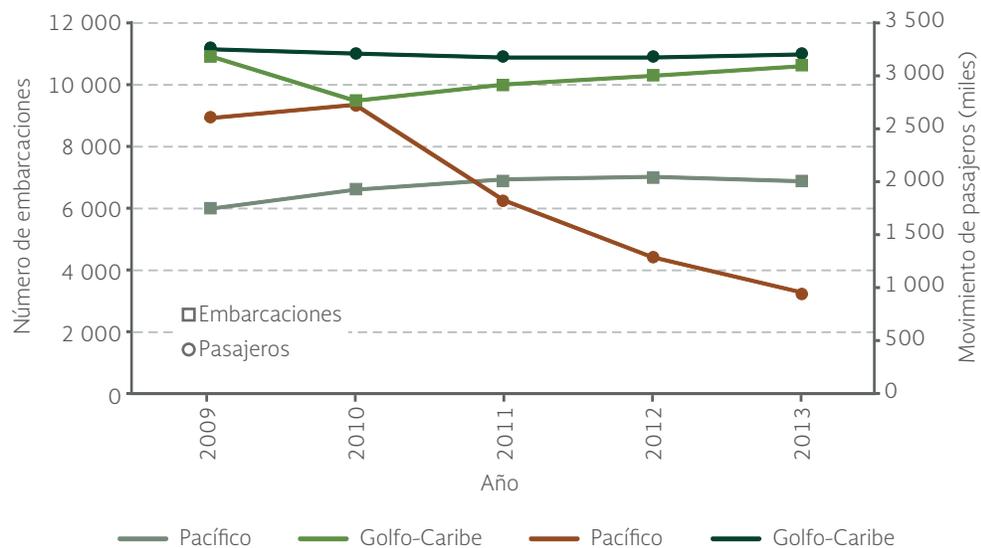
El transporte marítimo de bienes materiales y de turistas se ha convertido en un factor de desarrollo económico y de comercio internacional para varios países y bloques económicos. El transporte marítimo es uno de los medios más usados para el traslado internacional de carga; se estima que el 80% de las mercancías que se comercializan en el mundo se mueven por vía marítima (Bermúdez *et al.*, 2009). Por su parte, el transporte de pasajeros en cruceros turísticos se ha convertido en una fuente importante de ingresos para muchas economías locales y nacionales.

A pesar de los beneficios económicos y sociales que traen consigo, la construcción y el uso de los puertos pueden tener importantes efectos para los ecosistemas costeros y marinos. En un inicio, su construcción implica necesariamente el cambio del uso del suelo: la construcción de algunos de los puertos más importantes del país implicó la remoción de superficies importantes de humedales, como en los casos de Lázaro Cárdenas en Michoacán o Tuxpan en Veracruz. A ellas deben sumarse los efectos negativos que produce el dragado periódico de las instalaciones donde anclan las embarcaciones. Por otro lado están los impactos sobre el medio marino que provienen de las embarcaciones, los cuales se derivan de la contaminación del agua (ya sea por la disposición sin tratamiento de los residuos líquidos y sólidos que generan o que pueden derramarse accidentalmente), por la degradación del lecho marino (principalmente por el movimiento del agua que producen las hélices de las embarcaciones y que lo erosionan), por la invasión de especies exóticas (debidas a la descarga del agua de lastre), por los encallamientos de embarcaciones en zonas de arrecifes de coral o por la contaminación acústica, entre otros efectos (González-Lozano *et al.*, 2006).

En México existen 117 puertos distribuidos en todas las entidades costeras, adaptados algunos de ellos tanto para la navegación de altura como de cabotaje. Entre 2009 y 2013, la afluencia de buques de carga en los puertos nacionales mostró una tendencia de crecimiento moderada, que alcanzó 3.2% en el periodo señalado; cuando se observa por litoral, el crecimiento fue mayor en el Pacífico, en donde se incrementó 15.2%, principalmente por la actividad comercial en los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas (Figura 4.11). En contraste, la visita de cruceros turísticos, reflejada a través del número de pasajeros, se redujo en el país en 23.7% entre 2009 y 2013, sobre todo por efecto de la caída de las visitas en los puertos turísticos del litoral del Pacífico.

En algunos casos, el movimiento de los buques de carga en el país se concentra en puertos cercanos a zonas marinas importantes por su biodiversidad. En el Golfo de México, entre 2009 y 2013, por

Figura 4.11 | Arribo de embarcaciones y movimiento de pasajeros en los principales puertos en México, 2009 - 2013

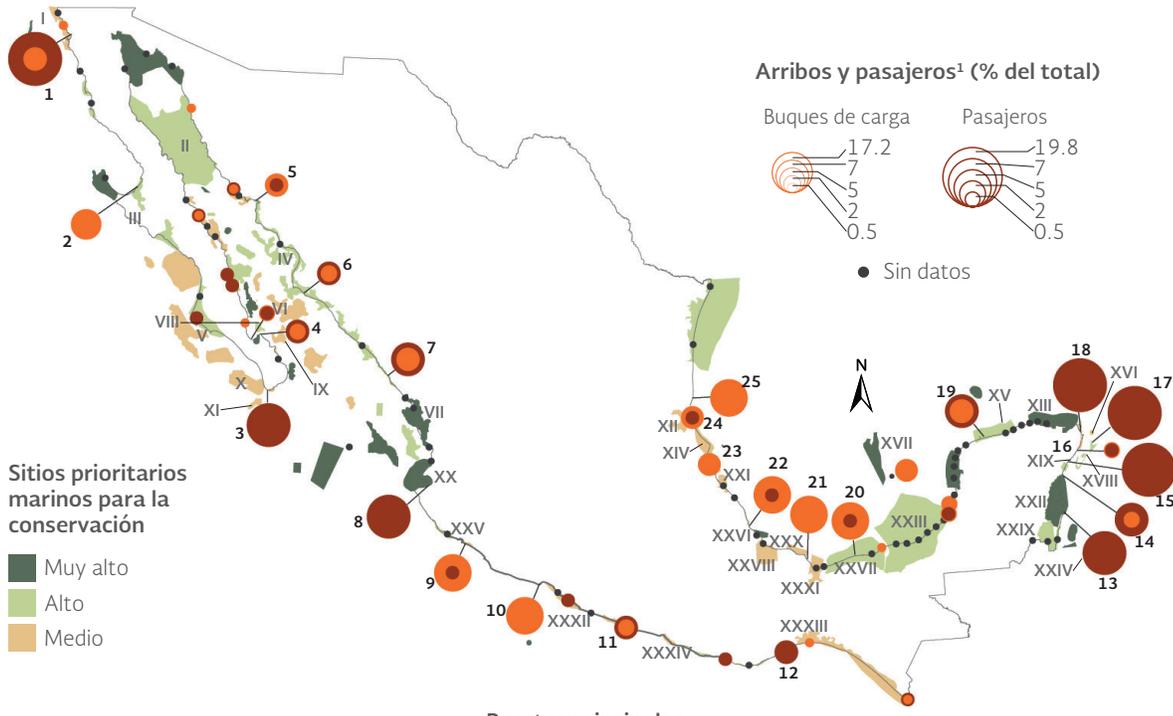


Fuente:
Elaboración propia con datos de :
SCT. Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2009 y 2013. México, 2001 y 2013.

los puertos de Dos Bocas y Coatzacoalcos (ambos en Veracruz) y Altamira (en Tamaulipas), transitó el 44% del total de buques cargueros que atracaron en los puertos nacionales. Algunos de ellos colindan con zonas clasificadas por la Conabio como de prioridad alta y media para la conservación de su biodiversidad marina: en el caso del puerto de Veracruz se encuentra adyacente al Sistema Arrecifal Veracruzano; en Dos Bocas se cuenta con las zonas de los Humedales Costeros y Plataforma de Tabasco y, en el caso de Coatzacoalcos, con la zona de la plataforma continental frente a los Tuxtlas (Mapa 4.3).

En el caso de los barcos de crucero, la mayor presión en el país se concentra en los ecosistemas marinos del este de la península de Yucatán (Mapa 4.3). Tan sólo Puerto Juárez e Isla Mujeres (ambos en Quintana Roo) recibieron entre 2009 y 2013 alrededor del 50% del total de turistas de crucero que visitaron el país (alcanzaron los 15.3 millones de visitantes). Ambos puertos se localizan frente a zonas marinas que se clasifican como de importancia media y alta por su biodiversidad, principalmente por la presencia de humedales costeros en la zona norte de la península de Yucatán y de la zona denominada Cordillera de Cozumel. En el caso del Pacífico, el mayor número de visitantes en dicho periodo se observó en Puerto Vallarta (con cerca del 7% del total de turistas), en una zona clasificada como de muy alta importancia para su conservación (propiamente la de Bahía de Banderas), por ser lugar de la visita estacional de especies de mamíferos marinos como las ballenas gris y jorobada (Mapa 4.3). Destaca también la visita de cruceros en el puerto de Ensenada, en Baja California, en donde el Corredor pesquero Tijuana-Ensenada ha sido clasificado como de importancia media por su biodiversidad.

Mapa 4.3 | Arribo de buques de carga y movimiento de pasajeros, y su relación con sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad en México, 2009 - 2013



Puertos principales

- | | | | | |
|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| 1 Ensenada | 6 Topolobampo | 11 Acapulco | 16 Puerto Morelos | 21 Coatzacoalcos |
| 2 Guerrero Negro | 7 Mazatlán | 12 Bahías de Huatulco | 17 Isla Mujeres | 22 Veracruz |
| 3 Cabo San Lucas | 8 Puerto Vallarta | 13 Majahual | 18 Puerto Juárez | 23 Tuxpan |
| 4 La Paz | 9 Manzanillo | 14 Punta Venado | 19 Progreso | 24 Tampico |
| 5 Guaymas | 10 Lázaro Cárdenas | 15 Playa del Carmen | 20 Dos Bocas | 25 Altamira |

Sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad

- | | |
|--|---|
| I Corredor Pesquero Tijuana - Ensenada | XVIII Cordillera Cozumel y Arrow Smith |
| II Grandes Islas del Golfo de California | XIX Humedales Costeros y Arrecife de Puerto Morelos |
| III Sistema Lagunar Ojo de Liebre - Guerrero Negro - Manuela | XX Chacala - Bahía de Banderas |
| IV Corredor Pesquero Estero Tobarí - Bahía Santa María | XXI Humedales Costeros y Arrecifes de Tuxpan |
| V Bahías Magdalena - Las Almejas | XXII Humedales Costeros y Arrecife de Sian Ka'an |
| VI Cuenca Farallón | XXIII Laguna de Términos |
| VII Bahía Santa María-Sistema Lagunar Huizache-El Caimanero | XXIV Banco Chinchorro |
| VIII Isla Espíritu Santo y Talud Continental | XXV Corredor Costero Careyes - Barra de Navidad |
| IX Isla y Fractura Cerralvo | XXVI Sistema Arrecifal Veracruzano |
| X Banco Golden Gate | XXVII Humedales Costeros y Plataforma de Tabasco |
| XI Banco San Jaime | XXVIII Sistema Lagunar de Alvarado |
| XII Humedales Costeros del Sur de Tamaulipas | XXIX Bahía de Chetumal |
| XIII Humedales Costeros y Plataforma de Cabo Catoche | XXX Plataforma Continental frente a Los Tuxtlas |
| XIV Lagunas Pueblo Viejo - Tamiahua | XXXI Cuenca Baja y Delta del Río Coatzacoalcos |
| XV Plataforma Continental de Dzilam | XXXII Playas Petacalco - Piedra de Tlacoynque |
| XVI Montes Submarinos del NW del Caribe | XXXIII Sistema Lagunar del Golfo de Tehuantepec |
| XVII Cañon Submarino de Campeche | XXXIV Sistema Lagunar Chacahua - Pastoría |

Nota:

¹ Los intervalos de clase, de arribo de buques y de arribo de pasajeros, fueron ponderados con respecto al total de cada tema. El círculo más grande representa el puerto que recibió más pasajeros o buques con respecto a sus totales.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conabio. *Sitios prioritarios marinos para la conservación de la biodiversidad*, 1: 1 000 000. México. 2009.
 SCT. *Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2009 y 2013*. México. 2001 y 2013.

ESPECIES INVASORAS

El traslado de especies de una región a otra es un proceso que ocurre naturalmente; ejemplo de ello son la migración estacional de muchas especies para la reproducción o en búsqueda de alimento, así como el movimiento por fenómenos meteorológicos. Sin embargo, como resultado del incremento en la frecuencia de tránsito de los medios de transporte y en la expansión de sus rutas, las especies han logrado llegar y establecerse en sitios nuevos, con sus consiguientes impactos, lo que ha llevado a considerar a las especies exóticas invasoras como la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el mundo (March y Martínez, 2008; Mendoza y Koleff, 2014). Por citar un ejemplo de su impacto en la biodiversidad global, en el caso de las extinciones de peces se estima que entre el 48 y 62% se deben exclusivamente a especies invasoras (Pimentel *et al.*, 2000, citado en Mendoza y Koleff, 2014).

El movimiento de los organismos, debido a factores humanos, puede ser por vía aérea, terrestre o acuática; es decir, pueden viajar adheridos a los vehículos automotores, en equipajes y embalajes de mercancías en aviones, trenes y barcos de pasajeros o de carga (CCA, 2008). Los ejemplares también pueden introducirse por razones comerciales, como productos animales o vegetales para consumo humano, como mascotas, para uso en la agricultura, jardinería, acuicultura, horticultura o para hacer investigación, entre otros. El movimiento de organismos también se puede favorecer por la alteración de los hábitats silvestres, la construcción de carreteras, el cambio de uso del suelo, el control biológico y por la unión de cuerpos de agua antes aislados o separados, entre otros.

Las especies invasoras afectan a las especies nativas por diferentes mecanismos: competencia por recursos (directa e indirecta), depredación, modificación de hábitat, hibridación y por actuar como reservorio o vectores de patógenos, entre otros (Capdevila-Argüelles *et al.*, 2013).

Además de los daños que causan en el funcionamiento de los ecosistemas, las especies invasoras pueden ser origen de importantes daños económicos y sociales, por la pérdida y deterioro de recursos importantes para la subsistencia de comunidades locales o incluso de las economías nacionales. Las especies invasoras pueden reducir, por ejemplo, el rendimiento de las cosechas, incrementar los costos de producción, provocar daños a la infraestructura o pérdida de recursos importantes, social y culturalmente. Pimentel y colaboradores estimaron en 2005 que los impactos por las especies invasoras en todo el mundo podrían ascender al 5% del producto interno bruto mundial (citado en Mendoza y Koleff, 2014).

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), hasta 2015 se reportaban en nuestro país 1 789 especies invasoras nativas y no nativas, de las cuales el 53.7% correspondía a plantas (960 especies), 21.7% a invertebrados (388 especies), 8.8% tanto para peces como para algas (158 especies, en ambos casos; ver el recuadro **La invasión del pez diablo**) y 3.1% a reptiles (56 especies; Figura 4.12), entre las especies más numerosas. Paralelamente, la Conabio reporta 157 especies no nativas para México que aunque no se encuentran presentes actualmente en el territorio, existe el riesgo latente de que se introduzcan a nuestro país. Ejemplo de ello son: el caracol gigante africano (*Achatina fulica*), la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*), o dentro del grupo de plantas, el kudzu (*Pueraria montana*) o el perejil gigante (*Heracleum mantegazzianum*) y otras 79 especies para las cuales no se conoce su estado actual.

Recuadro | La invasión del pez diablo

Los plecos o peces diablo constituyen especies muy adaptables a la variabilidad ambiental, lo que los convierte en especies invasoras muy peligrosas (Mendoza *et al.*, 2007). A la fecha han invadido diversas regiones de los Estados Unidos (por ejemplo, Texas, Florida y Hawái), Taiwán, Filipinas, Japón y Singapur (Mendoza *et al.*, 2007). En México, sus vías de introducción han sido múltiples y van desde la liberación por parte de coleccionistas y aficionados a los acuarios, hasta su escape de las unidades de producción acuícola y de las instalaciones que utilizan los importadores comerciales. Hasta la fecha se tiene registro del establecimiento de varias especies de loricáridos¹ en nuestro país.

En los sitios donde se establecen, los plecos pueden causar problemas de asolvamiento, resuspensión de sólidos y erosión en reservorios y canales. Son especies muy competitivas que alteran la dinámica de las cadenas tróficas, provocando la disminución en el tamaño de las poblaciones de peces nativos y el desplazamiento de las especies que se alimentan principalmente de algas y detritus (Amador del Ángel, 2014).

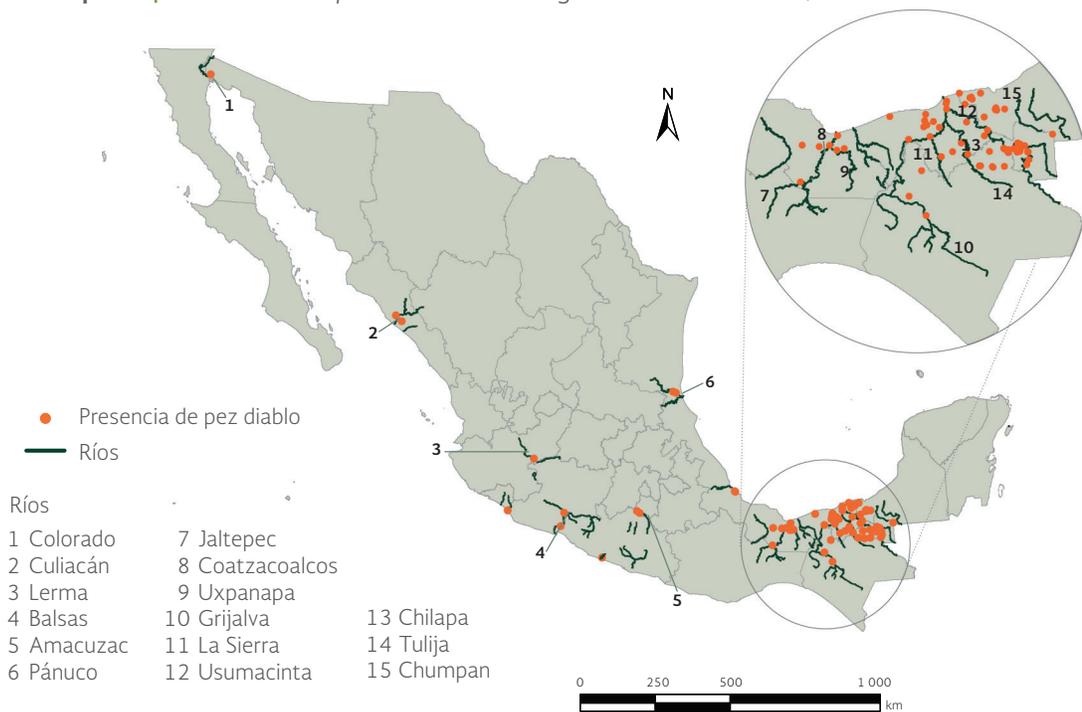
En nuestro país, el primer reporte de la presencia en vida libre de este pez se realizó en 1995 en el río Mezcala, en la cuenca del río Balsas (Guzmán y Barragán, 1997). Posteriormente se registró en la presa de Infiernillo, Michoacán, en donde se le ha relacionado con graves consecuencias para la producción pesquera de tilapia (*Oreochromis aureus*; Mendoza *et al.*, 2007). Las pérdidas brutas derivadas de la presencia de plecos en dicha presa se calcula que fueron del orden de 13 millones de dólares en 2007 (Stabridis *et al.*, 2009).

También se ha reportado su presencia en el estado de Chiapas, en las lagunas de Catazajá y de Medellín, y en Tabasco, en localidades cercanas a Villahermosa, principalmente en la proximidad del río Usumacinta y sus vertientes. En el Mapa a se muestran algunas de las localidades del país donde se ha reportado la presencia de estos peces.

En su hábitat natural los plecos son depredados por cocodrilos, nutrias y algunos peces de mayor talla (Mendoza *et al.*, 2007). En nuestro país no existen depredadores o competidores naturales que puedan controlar el tamaño y la distribución de sus poblaciones. Se ha sugerido, como una alternativa para el control de estos peces, su uso y aprovechamiento como alimento, tal y como ocurre en algunos países suramericanos (Ayala-Pérez *et al.*, 2014). En este sentido, la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca) entre otras entidades, así como comunidades locales, promueven la captura del pez diablo para el consumo humano o su utilización comercial en diversos sectores productivos del país.

¹ Son peces ornamentales de origen suramericano, mejor conocidos como plecos o peces diablo, cuyas especies son muy apreciadas por los acuaristas.

Mapa a | Presencia de peces diablo¹ en algunos ríos de México, 2014



Nota:

¹ Se refiere principalmente al género *Pterygoplichthys*.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Amador del Ángel L. E., E. del C. Guevara-Carrió, R. Brito-Pérez y E. Endañú-Huerta. Aspectos biológicos e impacto socio-económico de los peces del género *Pterygoplichthys* y dos cíclidos no nativos en el sistema fluvio lagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. México. 2014.

Subdirección Encargada de la Coordinación de Geomática, Conanp, Semarnat. México. 2015.

Referencias:

Amador del Ángel L.E., E. del C. Guevara-Carrió, R. Brito-Pérez y E. Endañú-Huerta. Aspectos biológicos e impacto socio-económico de los peces del género *Pterygoplichthys* y dos cíclidos no nativos en el sistema fluvio lagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. Universidad Autónoma del Carmen. Centro de Investigación de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales. 2014.

Ayala-Pérez L.A., A.D. Pineda-Peralta, H. Álvarez-Guillén y L.E. Amador-del Ángel. El pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) en las cabeceras estuarinas de la Laguna de Términos, Campeche. En: Low-Pfeng, A.M., P.A. Quijón y E.M. Peters-Recagno (Eds.). *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*. Semarnat, INECC, UPEI. México. 2014.

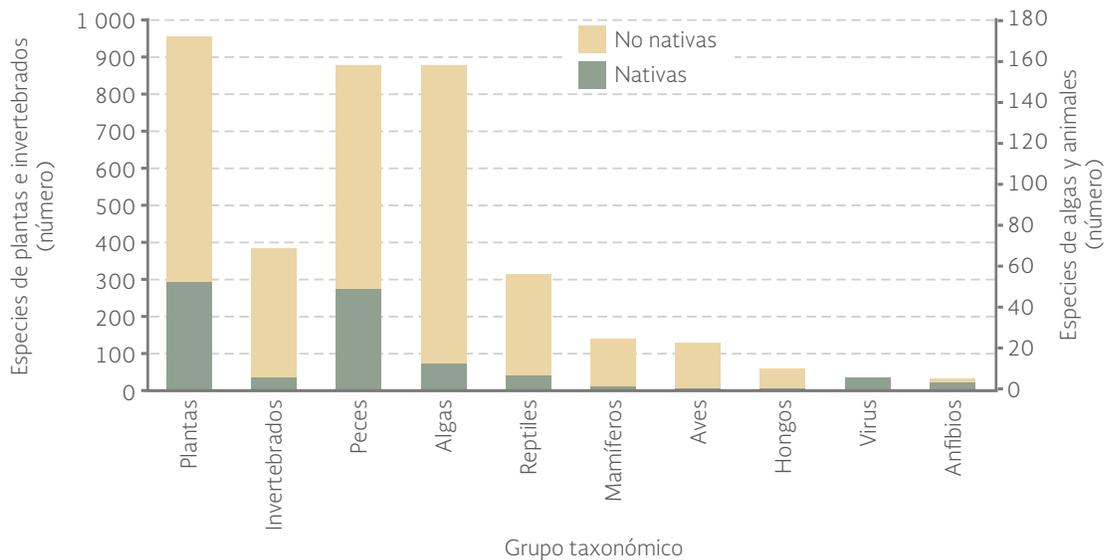
Guzmán A.F. y S.J. Barragán. Presencia de bagres sudamericanos (*Osteichthyes: Loricariidae*) en el río Mezcala, Guerrero, México. *Vertebrata Mexicana* 3: 1-4. 1997.

Mendoza, R., S. Contreras, C. Ramírez, P. Koleff, P. Álvarez y V. Aguilar. Los peces diablo: Especies invasoras de alto impacto. *Biodiversitas* 70: 1-5. 2007.

Mendoza, R. y P. Koleff (Coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Conabio. México. 2014.

Stabridis-Arana, O., A. Guevara-Sanguinés, R.E. Mendoza-Alfara, et al. Análisis socioeconómico de los efectos de la familia Loricariidae en México: el caso de la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo). En: Comisión de Cooperación Ambiental (Ed.). *Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras*. CCA. Montreal. 2009.

Figura 4.12 | *Especies invasoras nativas y no nativas presentes en México¹, 2015*



Nota:

¹ Nativas: se refiere a especies mexicanas trasladadas que se comportan como invasoras.

No nativas: indica que la especie es exótica en México.

Fuente:

Sistema de información sobre especies invasoras en México. Conabio. México. 2016.

ESTADO DE LA BIODIVERSIDAD

Conocer con precisión el estado de la biodiversidad de un país o una región es un asunto complejo. La diversidad de ecosistemas que existen en el medio terrestre o acuático (tanto marino como continental) de una región, la complejidad de sus flujos de materia y energía, su estacionalidad y la complicada interacción que guardan con las actividades productivas, hace muy difícil establecer una medida única objetiva de su estado de conservación. Si a ello se le suma el conocimiento aún incompleto que tenemos sobre la riqueza biológica, la estructura y el funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas, la tarea se torna aún más difícil.

Pese a lo anterior, se emplean de manera cotidiana diversos indicadores que permiten estimar el estado de los ecosistemas y su biodiversidad. La extensión y condición de la cubierta de ecosistemas naturales, el crecimiento o la reducción de los tamaños poblacionales de ciertas especies o el número de especies dentro de los listados de riesgo son algunos de los más importantes.

Para el caso de los ecosistemas terrestres, México aún conserva una proporción importante de la superficie de sus ecosistemas naturales, con alrededor del 71% del territorio. Aun cuando en una parte de esa superficie son evidentes los signos de degradación, todavía se preservan extensas superficies de vegetación primaria que muestran bajos impactos por actividades de origen humano y dentro de las cuales podría pensarse que se preserva una parte considerable de su biodiversidad original. Más detalles respecto a la extensión, condición, factores de presión y sobre las respuestas encaminadas a la protección y recuperación de los ecosistemas terrestres pueden encontrarse dentro de la sección de **Conservación y manejo sustentable de los ecosistemas terrestres y sus recursos** en el Capítulo 2 de este Informe.

Por otro lado, en el país no se conoce el estado de conservación de la totalidad de las especies que habitan sus ecosistemas naturales. Sin embargo, desde hace algunos años se da seguimiento, en diferentes ecosistemas y regiones del país (incluyendo numerosas áreas naturales protegidas), a las poblaciones de especies de fauna que resultan importantes ya sea por su función en el ecosistema, por su estado de riesgo y/o por ser de importancia económica o cultural. Dichos esfuerzos se encaminan, entre otros aspectos, a conocer el tamaño de sus poblaciones, el cual resulta uno de los indicadores más relevantes para conocer su viabilidad dentro de los ecosistemas naturales.

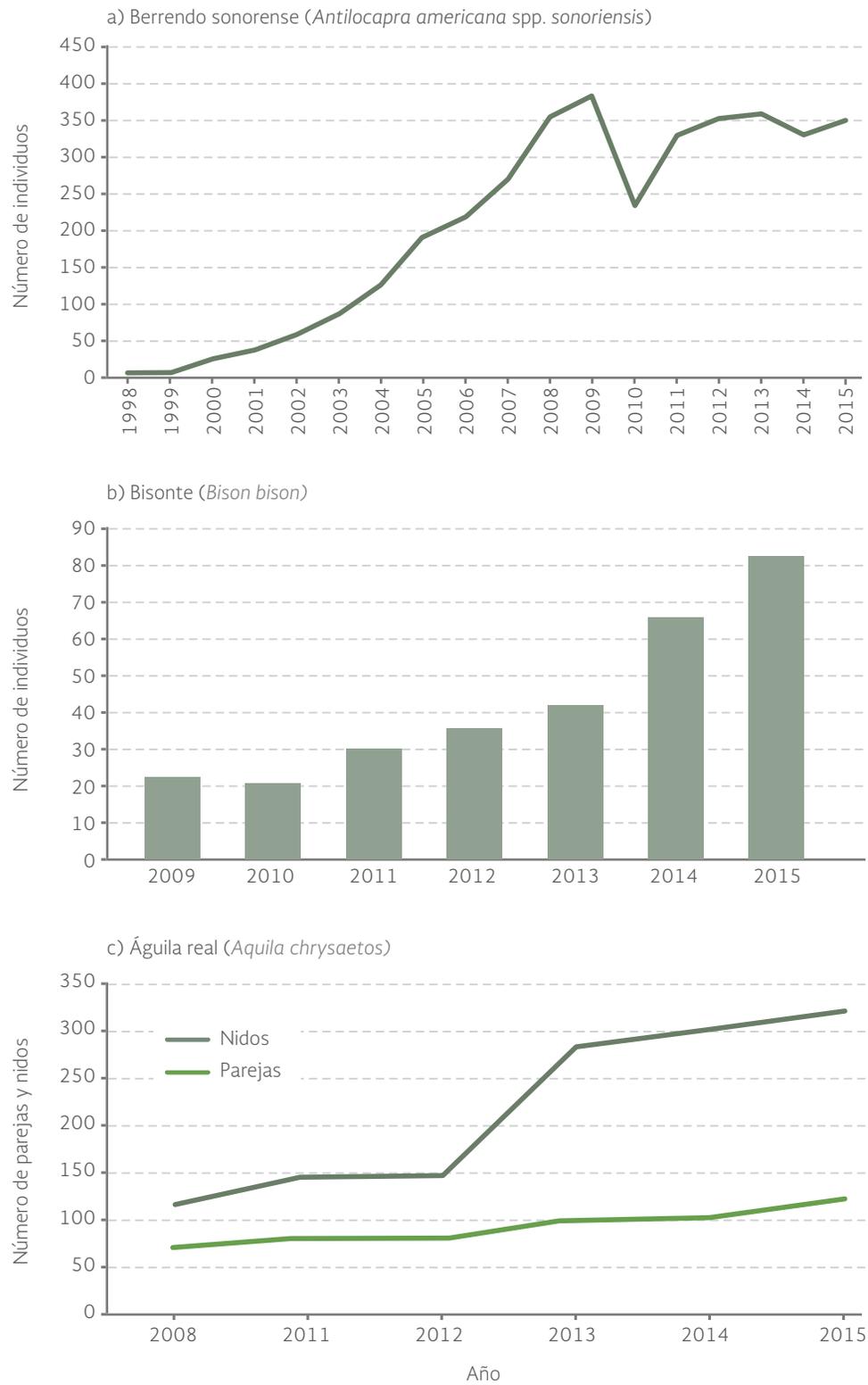
A través del Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer) se promueve la conservación y protección de diversas especies en riesgo, entre las que se encuentran el berrendo, el bisonte y el águila real. El berrendo (*Antilocapra americana* spp. *peninsularis*) es una especie endémica de Norteamérica y de alto interés cinegético. Sus poblaciones en nuestro país se redujeron principalmente por la destrucción y fragmentación del hábitat y por la cacería furtiva. Como resultado de diversos esfuerzos, los números poblacionales de esta especie muestran una recuperación importante en las últimas décadas: de cinco ejemplares en vida libre que habitaban los matorrales de Baja California en 1998, en 2015 se registraban 350 animales (Figura 4.13a). Actualmente, en el estado de Chihuahua, viven en vida libre berrendos de la subespecie sonorense (*Antilocapra americana* spp. *sonoriensis*) y también se han realizado algunas reintroducciones de esta misma en el estado de Coahuila.

El bisonte (*Bison bison*) es el mamífero terrestre más grande del continente americano y una especie fundamental para mantener la diversidad y el funcionamiento de los pastizales del norte de nuestro país. En México, las poblaciones de esta especie se redujeron significativamente principalmente por el crecimiento de la frontera agropecuaria y la cacería furtiva. Tras la reintroducción de ejemplares en Janos, Chihuahua, a finales de la década pasada, la población de esta especie se ha recuperado notablemente, pasando de 23 a 83 ejemplares entre 2009 y 2015 (Figura 4.13b).

El águila real (*Aquila chrysaetos*), además de ser culturalmente relevante por ser parte del escudo de la nación, es un importante depredador de los ecosistemas de los que forma parte. En México, factores como la pérdida y fragmentación de su hábitat, la intoxicación por plaguicidas, la captura de ejemplares, el saqueo de sus nidos y las colisiones con tendidos eléctricos y otras estructuras, han sido los principales responsables de la reducción del tamaño de sus poblaciones. En 2014, se tenían localizados 317 nidos y 119 parejas (Figura 4.13c). Recientemente se tienen nuevos registros de parejas reproductivas en Guanajuato y Sonora, lo que se traduce en la ampliación de la distribución de la especie en sus sitios de distribución histórica.

Por otra parte, el estado de los ecosistemas marinos es más difícil de precisar que el de los ecosistemas terrestres. La gran extensión, la dificultad de acceso y de monitoreo de los organismos de las especies que los conforman y la falta de conocimiento de su estructura y funcionamiento son algunas de las limitantes más importantes. Sin embargo, existen indicadores que, de manera indirecta, pueden ofrecer una aproximación a su estado. El estado de las pesquerías es uno de ellos; en general, se considera que en la medida que el conjunto de pesquerías de una región se encuentra dentro de límites que no amenazan su extracción en el futuro, los ecosistemas marinos podrían no haber sufrido graves consecuencias por la reducción de su biomasa. En México, en el año 2010, en

Figura 4.13 | *Tamaños poblacionales de algunas especies del Procer*



Fuente: Semarnat, Conanp. Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer) 2011-2015. 2015.

el litoral del Pacífico el 31.5% de las pesquerías se encontraban en aprovechamiento máximo, 26% en deterioro y 26% mostraba potencial de desarrollo. En el litoral del Golfo de México, 58.8% de las pesquerías se reportaban en aprovechamiento máximo sostenible, 29.4% en deterioro y sólo 8.8% con potencial de desarrollo. Mayores detalles respecto al estado de las pesquerías en el país puede encontrarse dentro del capítulo de [Agua](#).

Del estado de los ecosistemas dulceacuícolas del país tampoco se tiene demasiada información. No obstante, la magnitud y la dinámica de algunos de los factores que los afectan podrían permitir suponer que en muchos de ellos la biodiversidad está bajo fuerte presión. Por ejemplo, los todavía bajos niveles de tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales a lo largo del país (que no rebasan el 49 y el 32%, respectivamente, de las aguas generadas a nivel nacional) deterioran muy probablemente la calidad del agua de los cuerpos a donde se vierten, y con ello degradan el hábitat de muchas de sus especies. Por otro lado, el crecimiento de los volúmenes de extracción de agua superficial para los distintos usos consuntivos, también podría imponer una reducción importante en muchas regiones de los caudales y volúmenes necesarios para la preservación de los ecosistemas naturales.

En los ecosistemas marinos tienen una presencia regular o permanente diversas especies de mamíferos. En las aguas nacionales se han registrado 40 especies de cetáceos que representan el 50% de las existentes a nivel global (Semarnat, 2003). Por su estado de riesgo de extinción, las especies de cetáceos que habitan o visitan los mares nacionales se encuentran en la categoría de protección especial, excepto la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y la ballena franca (*Eubalena glacialis*) que están en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (ver líneas abajo la sección de Especies en riesgo). Particular seguimiento se ha dado a la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), una especie migratoria que se encontraba en peligro de extinción por su caza a fines del siglo XIX y principios del siglo XX. En los sitios de observación de esta especie, que tiene la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) en la Reserva de El Vizcaíno, en Baja California, el promedio de individuos en cada temporada ha sido de 1 500, incluyendo crías y adultos. Uno de los mayores registros que se tiene correspondió a la temporada de avistamiento del periodo 2011-2012, cuando se contabilizaron 3 073 individuos (Figura 4.14). El caso de la vaquita marina, un cetáceo endémico al país, es particularmente preocupante. Sus poblaciones, seriamente afectadas por las actividades pesqueras de la región, no rebasan el centenar de ejemplares según estimaciones recientes. Esta situación pone en serio riesgo la viabilidad de la especie en el futuro. Para mayores detalles al respecto puede consultarse el recuadro [Una especie en peligro de extinción: la vaquita marina](#).

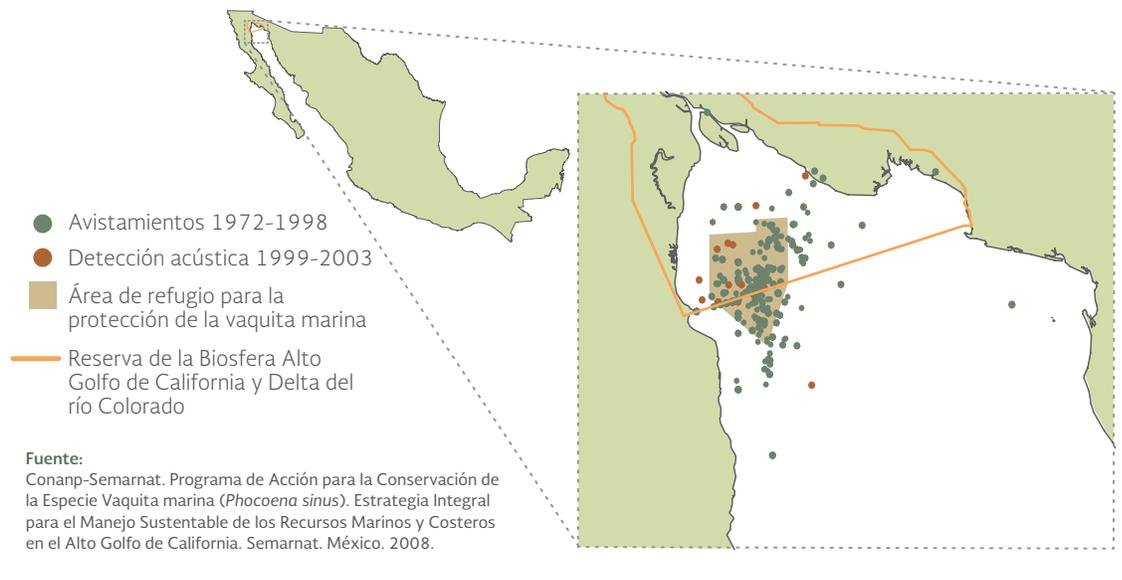
ESPECIES EN RIESGO

A pesar de los avances logrados en la construcción y desarrollo de los inventarios de la biota en muchos países, calcular cifras respecto a la tasa de pérdida de especies de flora y fauna es una tarea compleja que implica estudios a largo plazo, muchas veces sobre organismos de los que se posee poca información (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Ante la ausencia de información básica, los listados de especies en riesgo han sido empleados como indicadores del estado de la biodiversidad. Bajo dicha concepción, las especies clasificadas dentro de alguna categoría de riesgo representan la reducción actual o potencial de la biodiversidad de un país o región.

Recuadro | Una especie en peligro de extinción: la vaquita marina

La vaquita marina o cochito (*Phocoena sinus*) es uno de los mamíferos marinos más amenazados del mundo. Tiene una limitada distribución geográfica, de apenas unos cuatro mil kilómetros cuadrados, en la parte alta del Golfo de California (Mapa a). Su limitada distribución geográfica, sus bajas tasas reproductivas (una hembra puede tener entre 2 y 7 crías en toda su vida) y la mortalidad derivada de la pesca, la han colocado en las principales listas en riesgo (Rojas y Jaramillo, 2008; Urban y Guerrero-Ruiz, 2008). Se encuentra incluida dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 clasificada como una especie en peligro de extinción y, en la Lista Roja de la IUCN, aparece como una especie críticamente amenazada.

Mapa a | Avistamientos de vaquita marina en el Golfo de California, 1972 - 2003



Una de las causas principales de la caída de las poblaciones de este mamífero es su captura en las redes agalleras y de enmalle de la pesca ribereña y de altura, legal e ilegal. Con el inicio de la pesca de la totoaba en la década de los años cuarenta del siglo pasado, inició un periodo de mortalidad importante para ambas especies, con registros de hasta 10 vaquitas capturadas por día al inicio de los años setenta (Urbán y Guerrero-Ruiz 2008). El cierre de la pesca de la totoaba, dentro de este último periodo, redujo la presión sobre la vaquita, sin embargo, la pesca del camarón y de otras especies (tiburones, por ejemplo) continúan siendo un factor de presión relevante sobre la especie. Recientemente, la pesca ilegal de la totoaba, la cual tiene una alta demanda en el mercado asiático, ha incrementado el riesgo de captura de vaquitas (CIRVA, 2014).

Existen pocas, y son muy variadas, estimaciones del tamaño de la población de la vaquita marina (Tabla a). Ello se debe, en gran medida, a la dificultad de observar a los animales en su medio natural. Sin embargo, las distintas estimaciones muestran una tendencia a la reducción del tamaño poblacional de la especie. Mientras que entre finales de la década

Tabla a | Estimaciones de los tamaños poblacionales de la vaquita marina (*Phocoena sinus*)

Año	Población estimada	Fuente
1976	200-300	Villa, 1976
1986 y 1989	300-500	Silver, 1990
1993	224 (106-407)	Barlow et al., 1997
1997	567 (177-1073)	Jaramillo et al., 2001
2014	97	CIRVA, 2014
2015	60	CIRVA, 2016

Fuentes:

Barlow, J., Gerrodette, T. y Silber, G. 1997. Fisheries estimates of vaquita abundance. *Mar. Mamm. Sci.* 13: 44-58.
CIRVA. Report of the fifth meeting of the Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA-5). Ensenada, 2014.
CIRVA. Reunión del Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA). Ensenada, mayo de 2016.
Jaramillo, L.; L. Rojas y T. Gerrodette. A new abundance estimate for vaquitas: first step for recovery. *Marine Mammal Science.* 15: 957-973. 1999.
Silber, G.K. The vaquita, *Phocoena sinus*, working paper. Institute of Marine Sciences, University of California, Santa Cruz, California. 1990.
Villa R., B. Report on the status of *Phocoena sinus*, Norris and McFarland 1958, in the Gulf of California. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* 47 (2): 203-208. 1976.

de los setenta y ochenta la población se calculaba entre 200 y 500 animales, a mediados de 2014 se había reducido a 97, con menos de 25 hembras en etapa reproductiva (CIRVA, 2015). La más reciente estimación, realizada entre septiembre y diciembre de 2015, produjo un estimado de 60 vaquitas (CIRVA, 2016).

Con la intención de asegurar la protección y recuperación de la especie, en 1993 se decretó la creación de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Entre otras acciones importantes, en 1997 se estableció el Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA); en 2005 se conformó el grupo Alto Golfo Sustentable (AGS) y se establecieron el Área de Refugio para la Protección de la Vaquita (DOF 8-IX-2005) y su Programa de Protección (DOF 29-XII-2005).

El Programa de Conservación de Especies Prioritarias (PROCER), lanzado en 2007, también consideró entre las especies beneficiadas a la vaquita marina. El Programa de Acción para la Conservación de la Especie (PACE) de la vaquita marina, publicado en 2008, incluye acciones de conservación que promueven, entre otras acciones, la ordenación de las pesquerías a través de la participación de los sectores productivos, académicos y de los tres niveles de gobierno.

Referencias:

CIRVA. Report of the fifth meeting of the Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA-5). Ensenada, 2014.

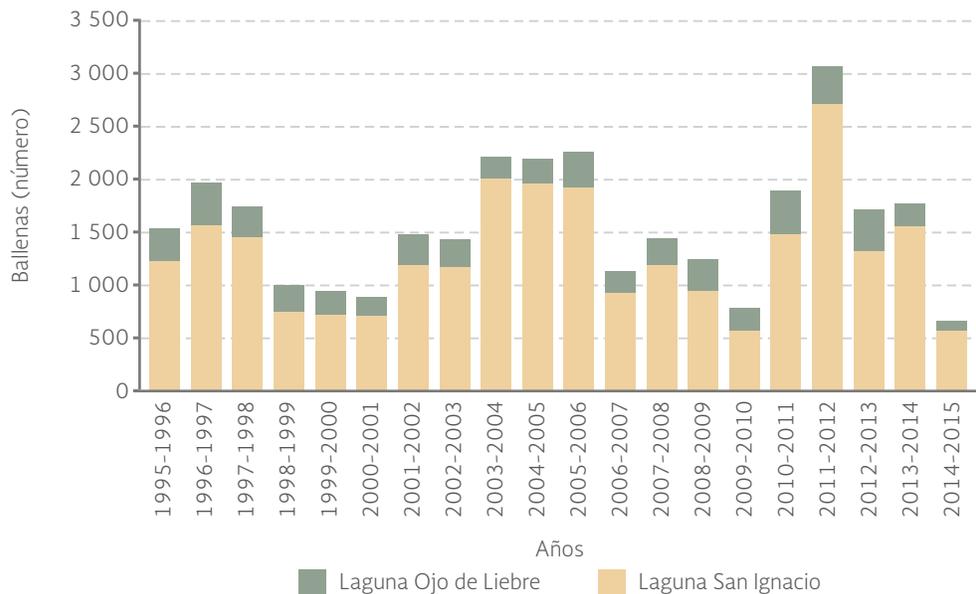
CIRVA. Reunión del Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita Marina (CIRVA). Ensenada, mayo de 2016.

Rojas, L. y A. Jaramillo. Vaquita. *Phocoena sinus*. En: William, P., W. Bernd y J. Thewissen (Eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, 2a. Edición. 2008.

Semarnat. Programa de Acción para la conservación de la especie: Vaquita (*Phocoena sinus*). Estrategia integral para el manejo sustentable de los recursos marinos y costeros en el Alto Golfo de California. Semarnat. México. 2008

Urbán, R.J. y M. Guerrero-Ruiz. 2008. Ficha técnica de *Phocoena sinus*. En: Urbán R.J. (Comp.). *Conocimiento biológico de las especies de mamíferos marinos, incluidas en la Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT-2001*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Bases de datos SNIB-Conabio. Proyecto No. CK009. México.

Figura 4.14 | Abundancia de ballena gris por laguna de reproducción, 1995 - 2015



Fuente: Dirección de Evaluación y Seguimiento. Conanp. Semarnat. México. 2015.

De acuerdo a la IUCN (2015), desde el año 1500 a la actualidad, el número de especies extintas en el mundo por causas humanas asciende a 834, de las cuales, 102 corresponden a plantas y 732 a especies de animales. En México, la NOM-059-SEMARNAT-2010 (que enlista a las especies y subespecies de flora y fauna silvestres que se encuentran en alguna categoría de riesgo) incluye un total de 49 especies probablemente extintas en el medio silvestre, 19 de ellas de aves, 13 de peces, 11 de mamíferos y seis de plantas.

De acuerdo con dicha norma, en el país existen 2 606 especies en alguna categoría de riesgo de extinción. En términos absolutos, los grupos con mayor número de especies en alguna categoría de riesgo son las plantas, que entre angiospermas y gimnospermas suman 949, seguidas por los reptiles (443 especies), aves (392), mamíferos (291), peces (204) y anfibios (194; ver el recuadro **La amenaza de la quitridiomycosis**). En el caso de algunos grupos, como el de los invertebrados, de los cuales la norma cita 49 especies en riesgo, las cifras podrían ser subestimaciones dada la ausencia de estudios más detallados acerca de la gran mayoría de las especies que lo integran.

Cuando se observa el número de especies en riesgo con respecto al número de especies conocidas en el país, el panorama resulta preocupante para algunos grupos, como los vertebrados. Para los mamíferos, anfibios y reptiles, más de la mitad de las especies conocidas en el país se clasifican en alguna categoría de riesgo (52, 51 y 50% de sus especies, respectivamente). En la Figura 4.15 se observa la distribución de las especies de cada grupo taxonómico de acuerdo a las categorías de riesgo empleadas en la NOM-059- SEMARNAT-2010 (ver también el recuadro **La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza**).

Recuadro | La amenaza de la quitridiomycosis

Los anfibios son uno de los grupos de vertebrados que enfrentan mayor riesgo de extinción en la actualidad. Junto a la transformación de sus hábitats, la contaminación del agua, la sobreexplotación de las poblaciones de algunas especies y el cambio climático, la quitridiomycosis se reconoce como otra causa del declive de las poblaciones de muchas de las especies de este grupo en el mundo (Roseblum *et al.*, 2013). Esta enfermedad es causada por dos especies de hongos del género *Batrachochytrium*: *B. dendrobatidis* (Bd), que afecta principalmente a los anuros, urodelos y cecilias¹, y *B. salamandrivorans*², que al parecer ataca específicamente a los urodelos (Van Rooij *et al.*, 2015).

No todos los anfibios son sensibles a la quitridiomycosis, las especies pueden clasificarse desde resistentes a tolerantes a la presencia de los hongos en su hábitat (Van Rooij *et al.*, 2015). Los organismos afectados mueren principalmente por los efectos de la pérdida de las funciones de la piel debido a las lesiones que resultan de ulceraciones, hiperqueratinización y erosión de la piel (Alroy, 2015).

El origen de la enfermedad es aún materia de debate. Se ha sugerido que África, Norteamérica, Asia y la región del Bosque Atlántico brasileño podrían ser la cuna de la enfermedad (ver Van Rooij *et al.*, 2015). Tampoco hay un acuerdo respecto a la manera en la cual se ha propagado por el mundo; la opinión prevaleciente es que ha sido una enfermedad endémica a distintas regiones (en donde se mantuvo con bajos niveles de infección hasta que ocurrieron cambios en las condiciones ambientales) y en otras zonas ha sido de reciente introducción (Van Rooij *et al.*, 2015). Aun cuando se ha sugerido que la enfermedad puede actuar en sinergia con el cambio climático, se considera que son eventos que actúan de manera independiente en distintas regiones en el mundo (Hof *et al.*, 2011).

La quitridiomycosis ha sido reportada en todos los continentes en donde hay poblaciones de anfibios (Whittaker y Vredenburg, 2011; Mapa a). En el caso de Latinoamérica, las afectaciones más importantes han sido observadas en Centro y Suramérica (Whittaker y Vredenburg, 2011). En cuanto a México, los primeros reportes de organismos infectados por Bd datan de 1972 en la salamandra *Thorius pennatulus* en el sur del país (Cheng *et al.*, 2011). Entre los años setenta y ochenta del siglo pasado, se detectaron infecciones en otras especies de salamandras de los géneros *Bolitoglossa*, *Thorius*, *Pseudoeurycea* y *Chiropterotriton* (varios autores en Whittaker y Vredenburg, 2011) y, recientemente, se han observado eventos de mortalidad masiva en poblaciones de la rana *Lithobates tarahumare* (Mendoza *et al.*, 2015).

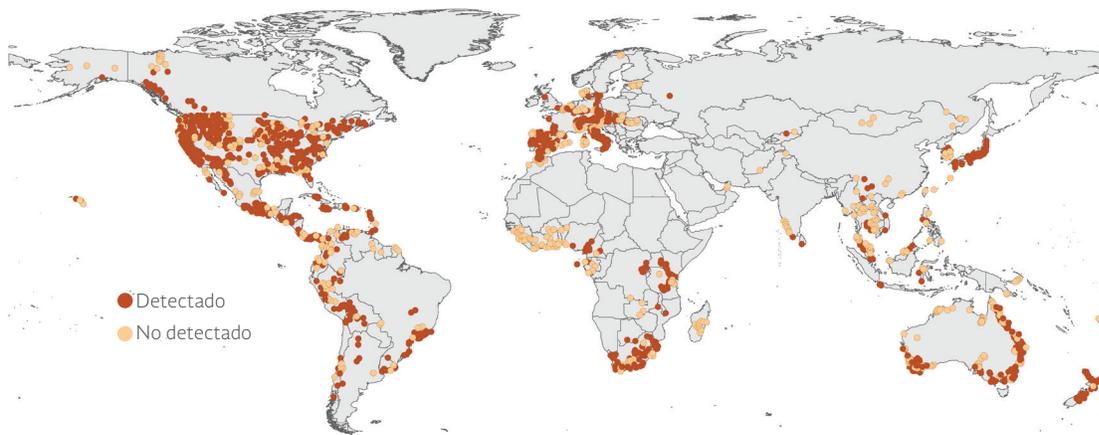
Hasta el año 2013, en el país se han detectado infecciones por Bd en 49 especies de anfibios³, de las cuales 29 son anuros y las restantes 20 corresponden a urodelos (Tabla a). Esto equivale a alrededor del 13% de las especies conocidas en el país. Del total de especies afectadas, el 61% (30 especies) son endémicas a México y, de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, nueve

¹ Los anfibios se agrupan en tres órdenes: anuros, que incluyen a los sapos y ranas; los urodelos, a los que pertenecen las salamandras, ajolotes y tritones; y los gimnofiones o ápodos, carentes de patas y que se conocen vulgarmente como "cecilias".

² Las infecciones por este hongo no han sido documentadas en poblaciones silvestres fuera de Asia, Holanda, Bélgica y Alemania (Yap y Koo, 2015).

³ La fuente original reporta 50 especies, sin embargo, en el listado que ahí se cita, una de las especies está duplicada (*Duellmanohyla schmidtorum*).

Mapa a | Ocurrencia de la quitridiomicosis en el mundo, 2014



Fuentes:

D.H. Olson y K.L. Ronnenberg, US Forest Service, PNW Research Station, Corvallis, OR, USA.
M.C. Fisher y D.M. Aanensen, Dept. of Infectious Disease Epidemiology, St. Mary's Hospital, Imperial College, London.

especies están clasificadas como amenazadas y 19 en la categoría de protección especial. En cuanto a la distribución geográfica de la enfermedad en nuestro país, se observa en 13 de las 32 entidades federativas (Mapa b). Los ecosistemas que habitan los organismos de las especies infectadas van desde matorrales xerófilos hasta los bosques mesófilos de montaña.

Tabla a | Especies con infección por *Batrachochytrium dendrobatidis* en México hasta 2013

Nombre científico	Entidad federativa	Distribución	Categoría de riesgo ¹ según la NOM-059
Anuros			
<i>Agalychnis moreletti</i>	Guerrero, Chiapas		
<i>Craugastor saltator</i>	Guerrero		
<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	Chiapas		
<i>Duellmanohyla schmidtorum</i>	Chiapas	Endémica	Pr
<i>Exerodonta melanomma</i>	Guerrero	Endémica	Pr
<i>Hyla euphorbiacea</i>	Oaxaca	Endémica	
<i>Hyla eximia</i>	Estado de México	Endémica	
<i>Hyla walkeri</i>	Chiapas		
<i>Hypopachus barberi</i>	Chiapas		
<i>Incilius macrocristatus</i>	Chiapas		
<i>Incilius occidentalis</i>	Puebla	Endémica	
<i>Incilius valliceps</i>	Chiapas		
<i>Lithobates maculatus</i>	Chiapas		
<i>Lithobates magnaocularis</i>	Sonora		
<i>Lithobates megapoda</i>	Estado de México	Endémica	Pr

Tabla a | Especies con infección por *Batrachochytrium dendrobatidis* en México hasta 2013 (conclusión)

Nombre científico	Entidad federativa	Distribución	Categoría de riesgo ¹ según la NOM-059
<i>Lithobates montezumae</i>	Distrito Federal	Endémica	Pr
<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Estado de México	Endémica	A
<i>Lithobates pustulosus</i>	Sonora	Endémica	Pr
<i>Lithobates spectabilis</i>	Morelos	Endémica	
<i>Lithobates tarahumarae</i>	Sonora		
<i>Plectrohyla ixil</i>	Chiapas		
<i>Plectrohyla lacertosa</i>	Chiapas	Endémica	Pr
<i>Plectrohyla matudai</i>	Chiapas		
<i>Plectrohyla sagorum</i>	Chiapas		
<i>Pseudacris hypochondriaca curta</i>	Baja California	Endémica	
<i>Ptychohyla erythromma</i>	Guerrero	Endémica	Pr
<i>Ptychohyla euthysanota</i>	Chiapas		A
<i>Smilisca baudinii</i>	Chiapas		
<i>Tlalocohyla loquax</i>	Chiapas		
Caudados			
<i>Ambystoma altamirani</i>	Estado de México	Endémica	A
<i>Ambystoma granulosum</i>	Michoacán, Estado de México	Endémica	Pr
<i>Ambystoma rivulare</i>	Michoacán	Endémica	A
<i>Ambystoma velasci</i>	Puebla	Endémica	Pr
<i>Bolitoglossa lincolni</i>	Chiapas		
<i>Bolitoglossa rufescens</i>	Chiapas, Veracruz		Pr
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>	Chiapas	Endémica	Pr
<i>Chiropterotriton dimidiatus</i>	Hidalgo	Endémica	Pr
<i>Chiropterotriton multidentatus</i>	Hidalgo	Endémica	Pr
<i>Dendrotriton megarhinus</i>	Chiapas	Endémica	Pr
<i>Dendrotriton xolocalcae</i>	Chiapas	Endémica	Pr
<i>Pseudoeurycea belli</i>	ND	Endémica	A
<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	Veracruz, Estado de México, Hidalgo		A
<i>Pseudoeurycea firscheini</i>	Veracruz	Endémica	Pr
<i>Pseudoeurycea galeanae</i>	Tamaulipas	Endémica	A
<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	Estado de México, Puebla	Endémica	A
<i>Pseudoeurycea longicauda</i>	ND	Endémica	Pr
<i>Pseudoeurycea nigromaculata</i>	Veracruz	Endémica	Pr
<i>Pseudoeurycea smithi</i>	Oaxaca	Endémica	A
<i>Thorius pennatulus</i>	Veracruz	Endémica	Pr

Nota:

¹ Categoría de riesgo: Amenazadas (A), Sujetas a protección especial (Pr).

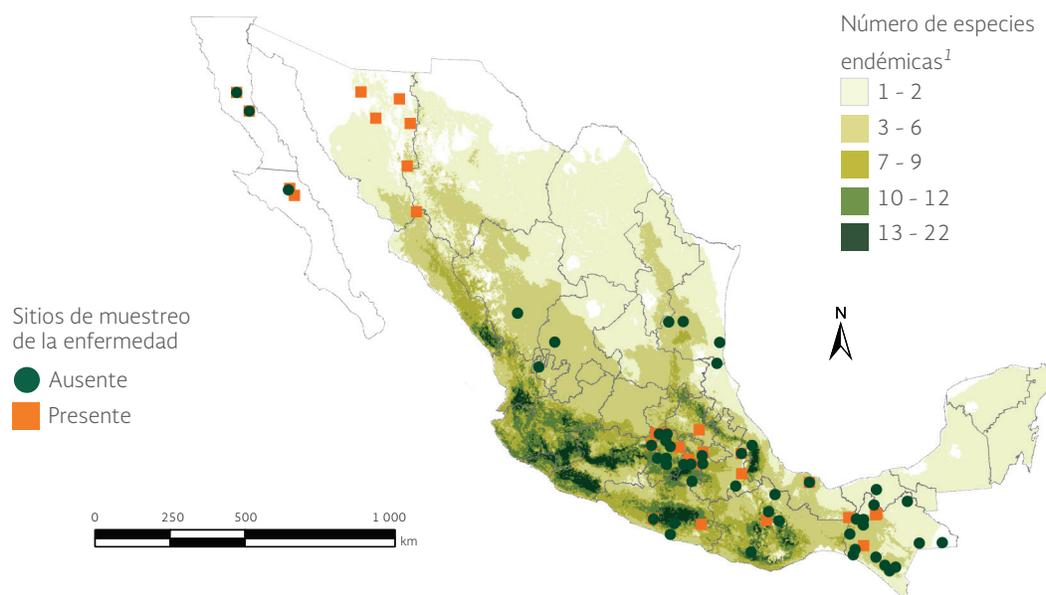
Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

DOF. NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. México. 2010 (30 de diciembre).

Mendoza, C., P. Burrowes y G. Parra. La quitridiomicosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86 (1): 238-248. 2015.

Mapa b | Ocurrencia de quitridiomycosis en México, 2013



Nota:

¹ Los patrones de endemismo fueron modelados a escala de alta resolución de 1 km².

Fuentes:

Koleff, P., J. Soberón et al. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.

Mendoza, C., P. Burrowes y G. Parra. La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86(1): 238-248. 2015.

Referencias:

Alroy, J. Current extinction rates of reptiles and amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 112 (42): 13003-13008. 2015.

Cheng, T.L., S.M. Rovito, D.B. Wake y V.T. Vredenburg. Coincident mass extirpation of neotropical amphibians with the emergence of the infectious fungal pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2011. doi: 10.1073/pnas.1105538108.

Hof, C., M. Araujo, W. Jetz y R. Carsten. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature* 480 (7387): 516-519. 2011.

Mendoza, C., P. Burrowes y G. Parra. La quitridiomycosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86 (1): 238-248. 2015.

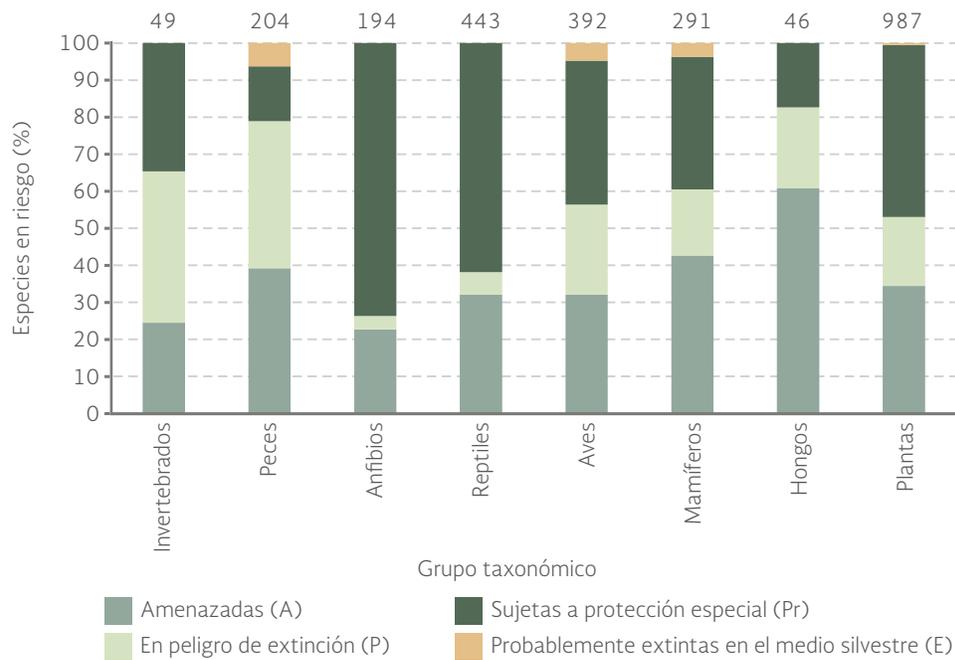
Rosenblum, E., T. James, K. Zemudio, et al. Complex history of the amphibian-killing chytrid fungus revealed with genome resequencing data. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 110 (23): 9385-9390. 2013.

Van Rooijk, P., A. Martel, F. Haesebrouck y F. Pasmans. Amphibian chytridiomycosis: a review with focus on fungus-host interactions. *Veterinary Research* 46: 137. Disponible en: <https://veterinaryresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13567-015-0266-0>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Whittaker, K. y V. Vredenburg. An Overview of Chytridiomycosis. AmphibiaWeb. Disponible en: www.amphibiaweb.org/chytrid/chytridiomycosis.html. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Yap, T. y M. Koo. *Batrachochytrium salamandrivorans*: Deadly fungal threat to salamanders. AmphibiaWeb. Disponible en: <http://amphibiaweb.org/chytrid/Bsal.html>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Figura 4.15 | Distribución de las especies, según su grado de riesgo¹, en los principales grupos taxonómicos según la NOM-059-SEMARNAT-2010



Nota:

¹ 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).

PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Ante la acelerada pérdida y degradación de los ecosistemas, de sus especies, así como de muchos de los servicios ambientales que brindan a la sociedad por el desarrollo y expansión de las actividades humanas, en México y el mundo se han implementado estrategias dirigidas a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. También son cada vez mayores los esfuerzos para la restauración de muchos ecosistemas degradados y la recuperación de las poblaciones silvestres de numerosas especies en alguna categoría de riesgo de extinción, así como el desarrollo de conocimiento que dé soporte a las estrategias y programas para proteger la biodiversidad.

Recientemente, en cumplimiento con los compromisos internacionales, en especial en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, México ha actualizado su Estrategia Nacional sobre Biodiversidad y su Plan de Acción 2016-2030 (ENBioMex). Dicha estrategia busca, básicamente, establecer las bases para impulsar y orientar los esfuerzos del gobierno y de la sociedad para la conservación, manejo sustentable y restauración de los ecosistemas naturales, todo ello mediante el fortalecimiento y la creación de instrumentos regulatorios, económicos y de mercado que promuevan la valoración de la diversidad biológica y que permitan también el reparto justo y equitativo de los beneficios que de ella pueden obtenerse. Paralelamente, también se ha desarrollado la Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal y, a nivel estatal, se ha avanzado en el desarrollo de las Estrategias Estatales de Biodiversidad, que promueven la implementación del CDB en el ámbito local.

Recuadro

La Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

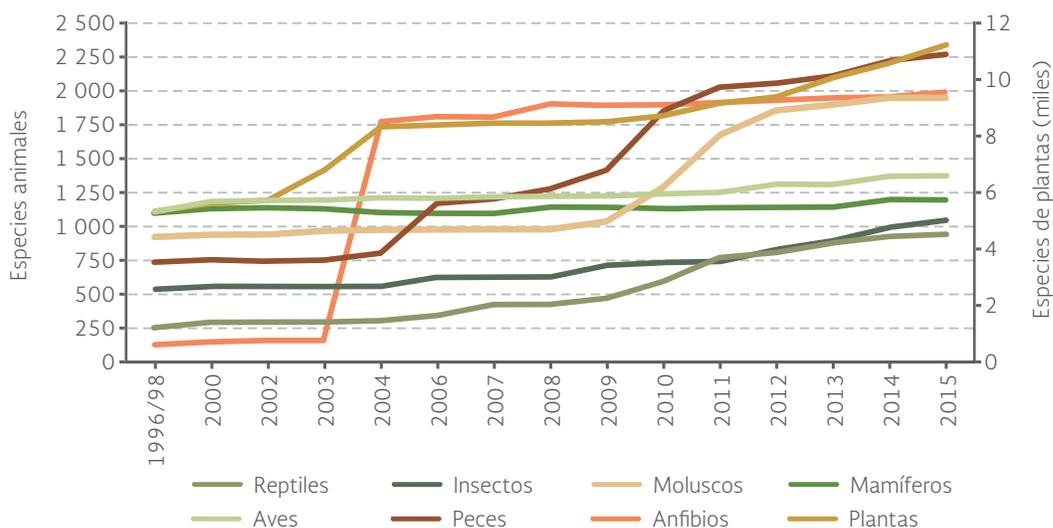
Según la Lista Roja que publica la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), el total de especies en el mundo en alguna categoría de riesgo aumentó en alrededor de 120% en 20 años, pasando de 10 533 especies a mediados de los años noventa a 23 250 en 2015. Por grupo taxonómico, las plantas poseen el mayor número de especies en riesgo (11 233), seguidas por los peces (2 271), los anfibios (1 994), los moluscos (1 950), las aves (1 375) y los mamíferos (1 197).

Uno de los grupos que ha registrado un crecimiento importante en el número de registros de la Lista es el de los anfibios, que de 124 especies en los años noventa pasó a 1 994 (un incremento del 1 508%) en 2015. Les siguieron los reptiles (su número se incrementó en 273%, de 253 se elevó a 944), los peces (209%, de 734 a 2 271), los moluscos (111%; de 920 a 1 950), las plantas (111%; de 5 328 a 11 233) y los insectos (95%; 537 a 1 046; Figura a; IUCN, 2015).

De acuerdo a la categoría de riesgo, si se considera tan sólo a los principales grupos, en 2015 un total de 4 680 especies estaban catalogadas en peligro crítico, 7 000 en peligro y 10 330 como vulnerables (Figura b).

Para México, en 2015 la IUCN reportaba 246 especies en peligro crítico, 401 en peligro y 484 en condición de vulnerabilidad¹. En el caso de las especies extintas, enlista 25 y seis especies como

Figura a | Especies de los principales grupos taxonómicos clasificadas en alguna categoría de riesgo según la IUCN, 1996 - 2015

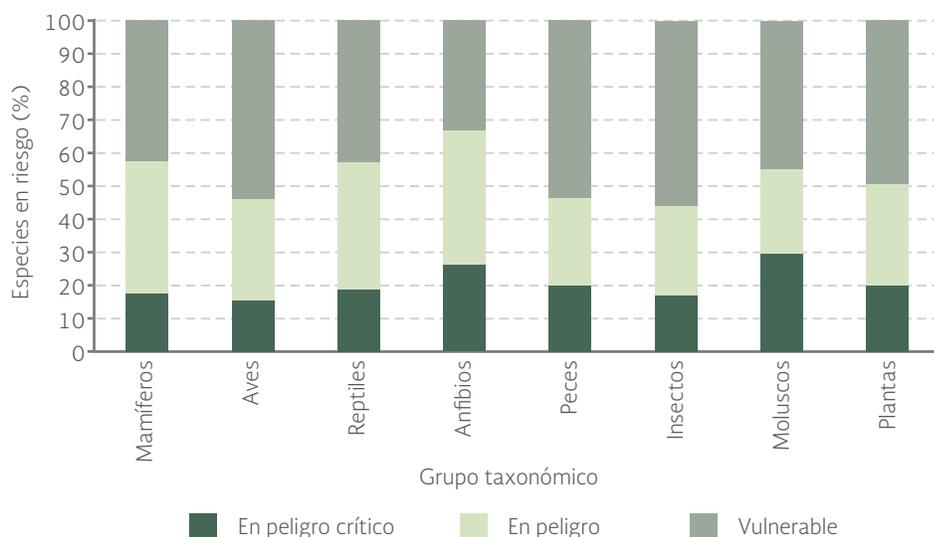


Fuente:

IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics.

¹ Además de las anteriores categorías, la Lista Roja de la IUCN incluye para nuestro país 240 especies dentro de la categoría de "Casi amenazado", 8 especies en la de "Bajo riesgo", 619 especies con "Datos insuficientes" y 4 916 especies bajo la categoría de "Preocupación menor".

Figura b | Distribución de las especies, según su grado de riesgo, en los principales grupos taxonómicos según la IUCN, 2015



Fuente:
IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics.

extintas en el medio silvestre, las cuales corresponden exclusivamente a fauna. Considerando el grupo taxonómico, en el país hay 382 especies de plantas en riesgo, 211 de anfibios, 179 de peces, 101 de mamíferos, 97 de reptiles, 93 de otros invertebrados, 61 de aves y siete de moluscos en alguna categoría de riesgo. Puesto que los criterios empleados para la clasificación de riesgo de las especies por la IUCN y la NOM-059-SEMARNAT-2010 son distintos, las cifras reportadas por ambos listados no son comparables.

La lista Roja de los Ecosistemas

A partir de mayo del 2014, la IUCN asumió oficialmente la elaboración de La Lista Roja de Ecosistemas, con la cual pretende conocer el estado de conservación de los ecosistemas mundiales e identificar sus riesgos. Se pretende que esta Lista sea parte de los indicadores usados para evaluar la salud ecosistémica, con la cual se logre apoyar propuestas en favor de la protección de ecosistemas no degradados como un elemento fundamental del bienestar humano.

Referencias:

DOF. *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*. 2010 (30 de diciembre).

IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4*. The IUCN Species Survival Commission. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/about/summary-statistics. Fecha de consulta: marzo de 2016.

En términos generales, en nuestro país las principales estrategias de protección de la biodiversidad siguen dos enfoques: el diseño e implementación de programas o proyectos con acciones dirigidas a la protección o recuperación de especies o grupos biológicos particulares; y por otro, hacia la protección, el uso sustentable o la recuperación de los ecosistemas, con la ventaja colateral de influir en la provisión de los servicios ambientales que brindan a la sociedad.

PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ESPECIES

Los esfuerzos recientes orientados a la conservación de especies en México tienen como antecedente el Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000. En él se plantearon, entre otros objetivos, el desarrollo de los Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias (PREP), en los cuales se seleccionaron especies de plantas y animales silvestres que, por sus características particulares, se consideraron como prioritarias. Como resultado de dichos esfuerzos, entre 1999 y 2008 se publicaron un total de 16 PREP (Tabla 4.5).

Tabla 4.5 | *Proyectos de conservación y recuperación de especies prioritarias publicados*

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 Palmae (<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

Fuente:

Dirección General de Vida Silvestre. Semarnat. México. 2012. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/vida-silvestre/proyectos-de-repoblacion. Fecha de consulta: junio de 2015.

En 2007 dio inicio el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer), orientado a la recuperación de especies en riesgo, a cargo de la Semarnat (a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Conanp) en colaboración con otras secretarías de estado (como la Sedesol y Sagarpa, entre otras). 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 cuales contienen las estrategias, actividades y acciones específicas que permiten la conservación, protección y recuperación de poblaciones de las especies en el corto, mediano y largo plazos. Con estas estrategias de conservación se busca, además, elevar la calidad de vida de los grupos sociales involucrados mediante el fomento de actividades productivas alternativas y de organización comunitaria (Conanp, 2011). Actualmente, el Procer atiende 45 especies en riesgo (Tabla 4.6).

En cuanto a los PACE, uno de los resultados más importantes ha sido la recuperación de las poblaciones silvestres de algunas especies. El lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) son dos de los ejemplos más relevantes. El lobo mexicano fue erradicado de su hábitat natural desde mediados del siglo pasado, principalmente por la cacería furtiva. Se reintrodujo en vida libre en 2011, año en el cual se obtuvo la primera camada. En 2015 se observó la segunda camada y la población actualmente suma 19 individuos; un total de ocho áreas naturales protegidas federales participan en la protección de esta especie.

En el caso del cóndor de California, en 1937 se tuvo el registro de la última observación en territorio mexicano. Después de una campaña de reproducción en cautiverio y de la colaboración entre los Estados Unidos y México, en 2002 se reintrodujeron en la sierra de San Pedro Mártir, en Baja California, los primeros ejemplares en vida libre. En 2015, la población en la región ascendía a 36 ejemplares, con tres de las crías nacidas en estado silvestre ya en vuelo.

Con la finalidad de optimizar los esfuerzos futuros de conservación de grupos de especies particulares en el país, en marzo de 2014, la Semarnat publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación, que se compone de 372 especies y subespecies de plantas y animales. La identificación de estas especies permitirá promover el desarrollo de proyectos para su conservación y recuperación, así como la de los ecosistemas en los que se encuentran. El listado incluye 123 especies de plantas, 104 de aves, 42 de reptiles, 41 de mamíferos y 18 especies de anfibios, entre los grupos más representativos.

Dentro de los grupos biológicos que han contado con estrategias particulares de conservación en el país están las tortugas marinas. A las playas del país arriban seis de las siete especies conocidas en el mundo. Sus poblaciones a nivel mundial se encuentran amenazadas como resultado, principalmente, de la captura y muerte de hembras anidadoras, de la captura incidental por las actividades pesqueras de juveniles y adultos, del saqueo de nidos y por la fragmentación y pérdida de sitios de alimentación y reproducción. Según la NOM-059-SEMARNAT-2010, las seis especies de tortugas marinas que visitan el territorio nacional se encuentran en peligro de extinción.

Las labores de conservación de estas especies se han articulado por más de 40 años a través del Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas (PNCTM), el cual es coordinado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas como parte del Procer. Se implementa en los 32 Centros para la Conservación de las Tortugas Marinas localizados en 15 estados costeros del país; solo Sonora y Tabasco carecen a la fecha de este tipo de centros.

Tabla 4.6 | Especies consideradas para la elaboración de PACE

	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	Cotorra serrana oriental y Cotorra serrana occidental	<i>Rhynchopsitta terrisi</i> <i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i>
9	Oso negro americano	<i>Ursus americanus</i>
10	Perrito llanero de cola negra	<i>Cynomys ludovicianus</i>
11	Guacamaya verde	<i>Ara militaris</i>
12	Guacamaya roja	<i>Ara macao</i>
13	Loro cabeza amarilla Loro nuca amarilla	<i>Amazona oratrix</i> <i>Amazona auropalliata</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: Águila harpía Águila elegante Águila tirana Águila blanquinegra Zopilote rey	<i>Harpia harpyja</i> <i>Spizaetus ornatus</i> <i>Spizaetus tyrannus</i> <i>Spizastur melanoleucus</i> <i>Sarcoramphus papa</i>
22	Bisonte	<i>Bison bison</i>
23	Cóndor de California	<i>Gymnogyps californianus</i>
24	Primates: Mono araña, Mono aullador, saraguato yucateco o negro Mono aullador saraguato de manto	<i>Ateles geoffroyi</i> <i>Alouatta pigra</i> <i>Alouatta palliata</i>
25	Teporingo o zacatuche	<i>Romerolagus diazi</i>
26	Tortuga verde - negra	<i>Chelonia mydas</i>
27	Acroporas: Coral cuerno de ciervo Coral cuerno de alce	<i>Acropora cervicornis</i> <i>Acropora palmata</i>
28	Tortuga golfina	<i>Lepidochelys olivacea</i>
29	Manatí	<i>Trichechus manatus</i>

Tabla 4.6 | Especies consideradas para la elaboración de PACE (conclusión)

	Nombre común	Nombre científico
30	Pecarí de labios blancos	<i>Tayassu pecari</i>
31	Tiburón ballena	<i>Rhincodon typus</i>
32	Tiburón blanco	<i>Carcharodon carcharias</i>
33	Castor	<i>Castor canadensis</i>
34	Nutria	<i>Lontra longicaudis</i>
35	Quetzal	<i>Pharomachrus mocinno</i>
36	Venado bura de Isla Cedros	<i>Odocoileus hemionus cerrosensis</i>
37	Gorrión de Worthen	<i>Spizella wortheni</i>
38	Rorcual común	<i>Balaenoptera physalus</i>
39	Abronias	<i>Abronia spp.</i>
40	Halcón aplomado	<i>Falco femoralis</i>
41	Gorrión serrano	<i>Xenospiza baileyi</i>
42	Ajolotes	<i>Ambistoma spp.</i>
43	Lobo fino de Guadalupe	<i>Arctophoca philippii townsendi</i>
44	Perrito llanero mexicano	<i>Cynomys mexicanus</i>
45	Ocelote	<i>Leopardus pardalis</i>

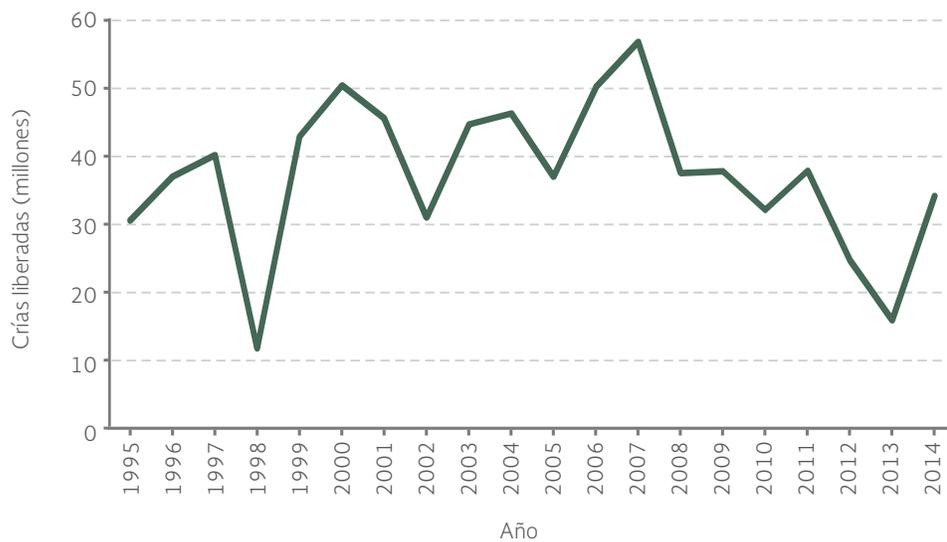
Fuente:
Programa de Conservación de Especies en Riesgo. Conanp. México. 2016.

Las labores que realiza la Conanp en los campamentos se enfocan principalmente a la protección de hembras, nidos, huevos y crías de tortuga marina para su posterior liberación hacia su entorno natural. El número de crías liberadas entre 1995 y 2014, considerando a las seis especies⁵ que desovan en las playas mexicanas, fue en promedio de aproximadamente 43.67 millones de crías por año (Figura 4.16).

Otra de las presiones importantes sobre muchas especies de flora y fauna en el mundo, incluido México, es la sobreexplotación de las poblaciones naturales con fines de obtención de productos de subsistencia o comerciales. En décadas recientes, este fenómeno ha crecido como resultado de una mayor demanda, en muchos mercados del mundo (principalmente Estados Unidos, Europa y Asia), de ejemplares o partes de organismos de la vida silvestre que se venden como mascotas o plantas de ornato, o bien para la obtención de carne, medicinas, pieles o como piezas de caza, entre otros. Mucha de esta extracción y comercio se realiza de manera ilegal, violando las leyes nacionales de muchos países de donde se extraen, y de aquellos en donde se venden como producto final.

⁵ A nivel internacional, la IUCN cataloga en peligro crítico de extinción a las especies lora (*Lepidochelys kempii*) y Carey (*Eretmochelys imbricata*); en peligro a la tortuga caguama (*Caretta caretta*) y verde (*Chelonia mydas*) y como vulnerable a las tortugas laúd (*Dermochelys coriacea*) y golfinia (*Lepidochelys olivacea*).

Figura 4.16 | *Crías liberadas de tortugas marinas en México, 1995 - 2014*



Fuente:
Coordinación Técnica del Programa Nacional para la Conservación de las Tortugas Marinas, Conanp, Semarnat. México.2015.

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés), tiene por finalidad vigilar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para su supervivencia. Hasta finales de 2015, 181 países se habían adherido a la Convención, entre ellos México que lo hizo en 1991. Las especies amparadas por la CITES suman más de 35 mil especies de plantas y animales enlistadas en tres Apéndices de acuerdo al grado de protección que requieran. En términos generales, el Apéndice I incluye todas las especies en peligro de extinción que son o pueden ser afectadas por el comercio; el Apéndice II incluye a las especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio internacional debe controlarse a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia; y el Apéndice III incluye todas las especies protegidas por algún país que ha solicitado la asistencia de otros países de la Convención para controlar su comercio (CITES, 2016).

Específicamente en el caso de México, poco más de 2 000 especies de los Apéndices I y II de la CITES son nativas del país; de éstas, alrededor de 500 especies son animales y 1 500 plantas (Tabla 4.7). Es importante resaltar que aunque México no tiene registradas especies en el Apéndice III, algunas especies propuestas por otros países para este apéndice se distribuyen en ecosistemas mexicanos.

La CITES funciona a través de un sistema de permisos y certificados para la importación, exportación, re-exportación e introducción de especímenes (o sus partes y derivados) de especies enlistadas en sus Apéndices. En términos generales, los permisos y certificados para el comercio internacional de especímenes de los Apéndices I y II son otorgados por la Autoridad Administrativa únicamente cuando una Autoridad Científica del Estado, que es quien los exporta,

ha determinado que no será en detrimento de la supervivencia de la especie⁶.

Respecto a los certificados CITES expedidos, de acuerdo con la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), las exportaciones se mantuvieron relativamente constantes durante el periodo 1996 a 2006 (con un promedio de 243 certificados por año), a partir del cual han crecido hasta alcanzar los 683 certificados en 2014 (Figura 4.17). En el caso de las importaciones, éstas aumentaron, con oscilaciones importantes, desde 1996 hasta alcanzar los 2 204 certificados en 2014 (Cuadro D3_BIODIV03_10).

Tabla 4.7 | *Especies mexicanas incluidas en los apéndices de la CITES*

Grupo	Apéndice		
	I	II	III
Animales	70	416	25
Plantas	68	1427	1
Total	138	1843	26

Fuente: UNEP-WCMC, 2016. Species + Database. Disponible en: www.speciesplus.net/.

Figura 4.17 | *Certificados CITES expedidos en México, 1996 - 2014*



Fuente: Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, DGVS, Semarnat. México, abril de 2015.

⁶ En el caso de México, la autoridad administrativa ante este organismo es la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), la cual se encarga de la emisión de permisos y certificados, así como de dar seguimiento a estadísticas de comercio y otorgar la certificación de criaderos y viveros. La Conabio es la autoridad científica encargada de brindar asesoría técnica y científica a la autoridad administrativa, emitir los dictámenes de extracción no perjudicial, emitir recomendaciones y elaborar propuestas de enmienda a los Apéndices, entre otras funciones. Finalmente, quien realiza las verificaciones sobre el cumplimiento de la legislación CITES, la inspección en puertos, aeropuertos y fronteras, así como de la identificación de redes de tráfico ilegal y la inspección de centros de comercio, reproducción y aprovechamiento, es la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa).

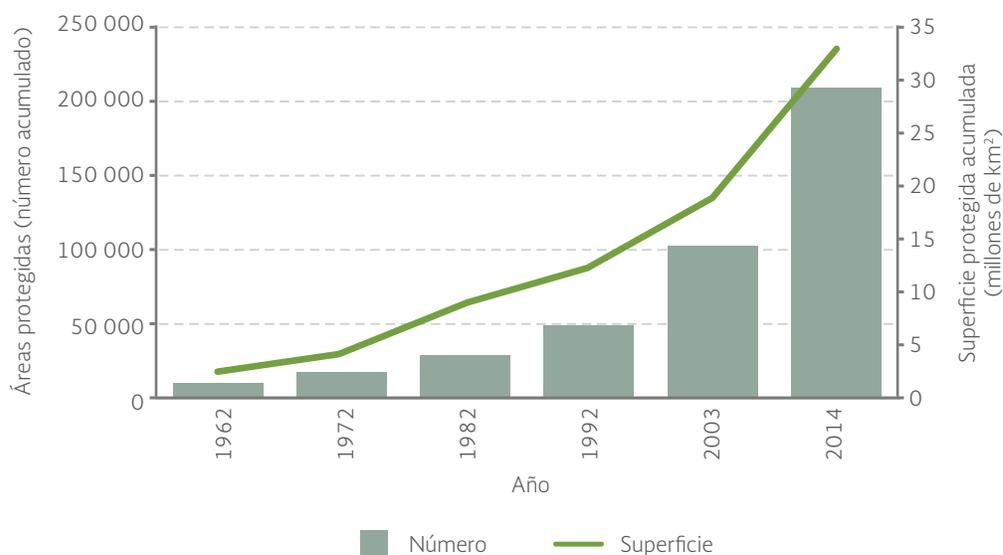
PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS

Áreas naturales protegidas (ANP)

La creación de áreas naturales protegidas (ANP) ha sido, desde el siglo pasado, una de las principales estrategias empleadas globalmente para la conservación de los ecosistemas naturales y sus especies. Se conciben como porciones terrestres o acuáticas representativas de los diversos ecosistemas de un país o de una región en donde el ambiente original, por lo general, no ha sido alterado de manera significativa (Conanp, 2015). Su importancia se reconoce no sólo como medio para la conservación de los ecosistemas y de las especies que los habitan, sino también como elemento fundamental para conseguir la continuidad en la provisión de servicios ambientales importantes para el desarrollo social y económico de las comunidades y de los países.

En 2014 se tenían registradas 209 429 áreas protegidas en el mundo, que abarcaban una superficie total de poco más de 32.8 millones de kilómetros cuadrados (20.6 millones de km² de ecosistemas terrestres y de aguas continentales y aproximadamente de 12 millones en zonas marinas), lo que representaba alrededor del 15.4% de la superficie terrestre global y cerca del 3.4% de los océanos (Figura 4.18). En la porción terrestre, América Central y América del Sur son las regiones que poseen una mayor superficie relativa cubierta por áreas protegidas, con el 28.2 y 25%, respectivamente (Figura 4.19a). En el ambiente marino, las regiones con las mayores proporciones relativas protegidas son los países de los Océanos del Sur (17.7%), Oceanía (15.6%) y América del Norte (6.9%; Figura 4.19b).

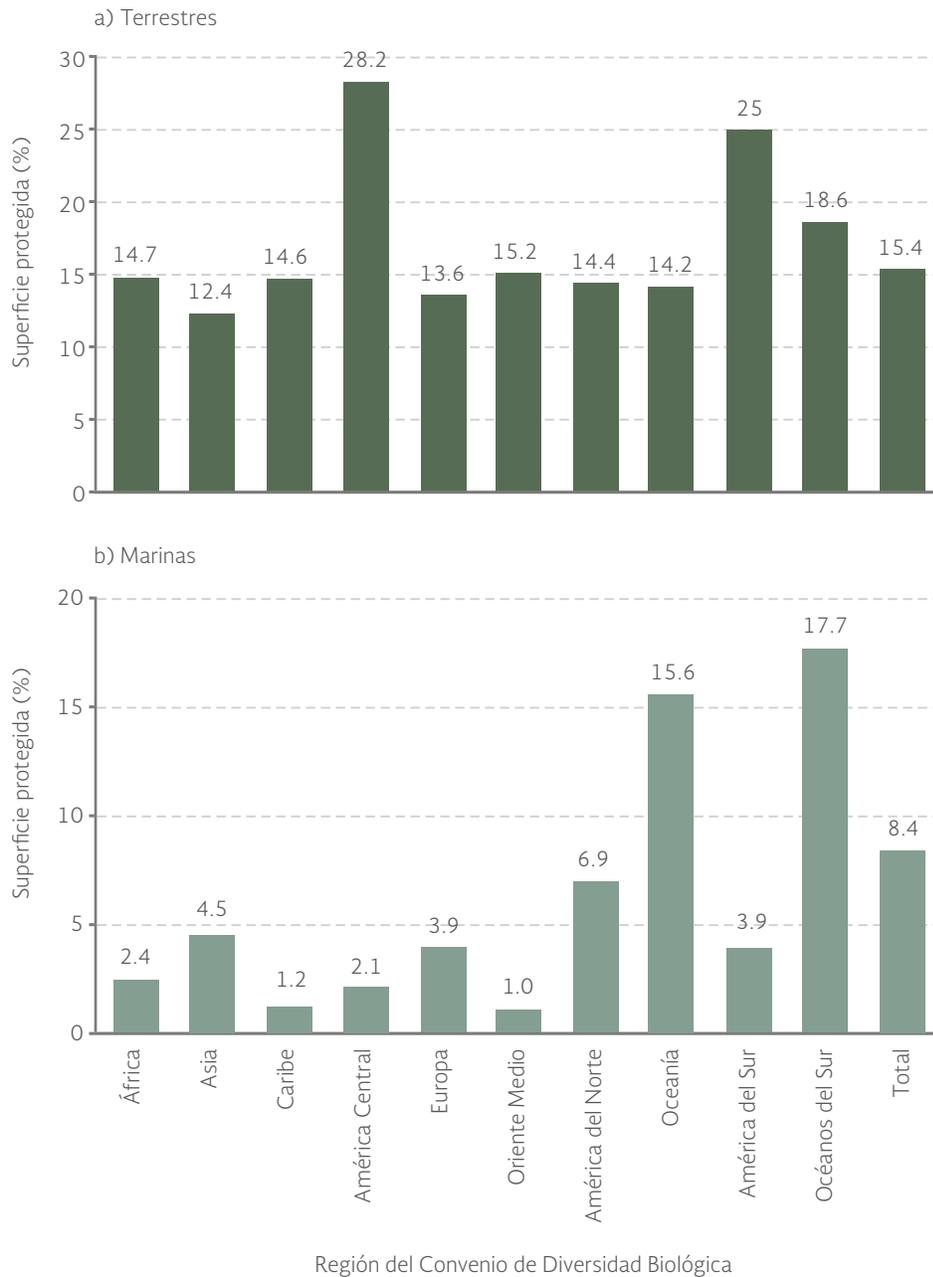
Figura 4.18 | Áreas protegidas en el mundo, 1962 - 2014



Fuente:

Deguignet M., D. Juffe-Bignoli, J. Harrison, B. MacSharry, N. Burgess, N. Kingston. 2014 *United Nations List of Protected Areas*. UNEP-WCMC: Cambridge, UK. 2014.

Figura 4.19 | Áreas protegidas en el mundo, según región del Convenio de Diversidad Biológica, 2014



Fuente:
 Deguignet M., D. Juffe-Bignoli, J. Harrison, B. MacSharry, N. Burgess, N. Kingston. 2014 *United Nations List of Protected Areas*. UNEP-WCMC: Cambridge, UK. 2014.

En México, las ANP también han sido uno de los instrumentos más importantes para proteger la biodiversidad nacional. Durante las últimas décadas se han realizado esfuerzos importantes para ampliar la superficie de los principales ecosistemas del país dentro de áreas protegidas. A principios de los años noventa se habían decretado 101 áreas de carácter federal en una superficie total de

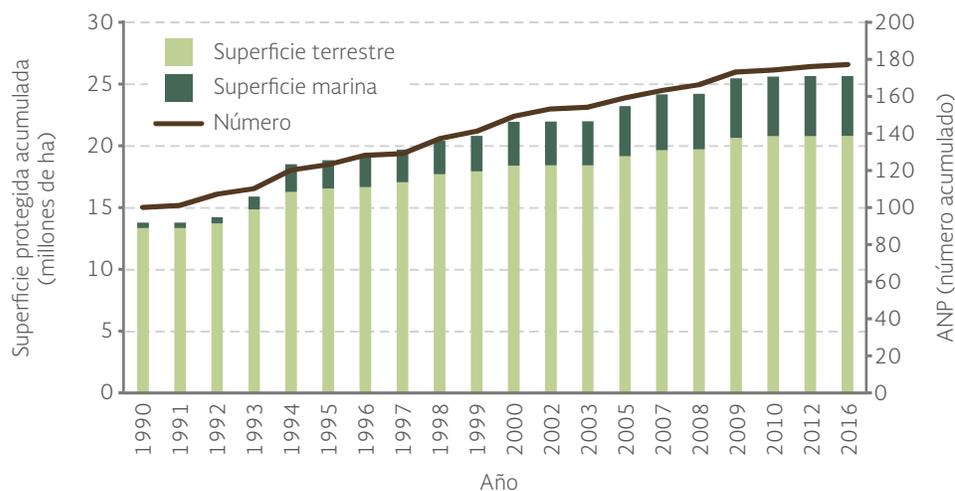
alrededor de 13.9 millones de hectáreas, es decir, 7.1% de la superficie nacional. Hasta junio de 2016 esta cifra había crecido a 177 áreas protegidas federales, las cuales cubrían 25.43 millones de hectáreas (20.57 millones en zonas terrestres y 4.86 millones en zonas marinas), lo que equivale a aproximadamente 10.47% de su superficie terrestre y 1.54 % de la superficie marina (Figura 4.20 y Mapa 4.4; **IB 6.1-6, 6.3-10, 6.3.1-4, 6.4.1-7 y 6.4.2-7**).



Con el fin de dar cumplimiento al compromiso adquirido por México y los demás países del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) que establece alcanzar el 17% de la superficie terrestre y el 10% de la marina nacional bajo protección para el año 2020⁷, nuestro país deberá ampliar la superficie terrestre protegida actual en 12.6 millones de hectáreas y la marina en 26.6 millones.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), las ANP federales se clasifican en seis categorías de manejo: áreas de protección de flora y fauna (APFyF), áreas de protección de los recursos naturales (APRN), monumentos naturales (MN), parques nacionales (PN), reservas de la biosfera (RB) y santuarios (S). En 2015, había 66 parques nacionales que contribuían con apenas el 5.5% de la superficie federal protegida (Figura 4.21). Las 41 reservas de la biosfera decretadas, de gran relevancia por la extensión y condición de los ecosistemas que albergan, cubren alrededor del 49.8% de la superficie protegida; por su parte, las 39 áreas de protección de flora y fauna contribuyen con el 26.5% y las áreas de protección de los recursos naturales con el 17.6%.

Figura 4.20 | *Crecimiento histórico de las áreas naturales protegidas federales en México, 1990 - 2016¹*

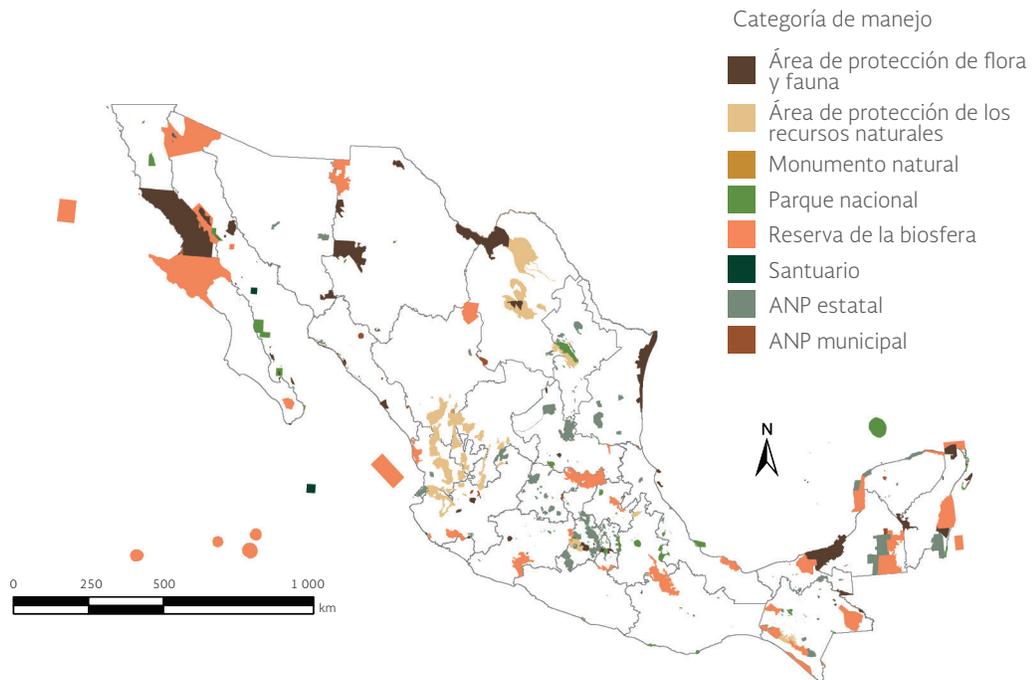


Nota:
¹ Datos preliminares al 30 de junio.

Fuente:
Dirección de Evaluación y Seguimiento. Conanp. Semarnat. México. 2015.
Semarnat. *Cuarto Informe de Labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

⁷ Este compromiso corresponde a la meta 11 de las Metas de Aichi del Convenio de Diversidad Biológica.

Mapa 4.4 | Áreas naturales protegidas federales, estatales y municipales de México¹



Nota:

¹ Los datos para las ANP federales y estatales corresponden a 2015, en tanto que para las ANP municipales corresponden a 2016.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

ANP federales:

Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2015.

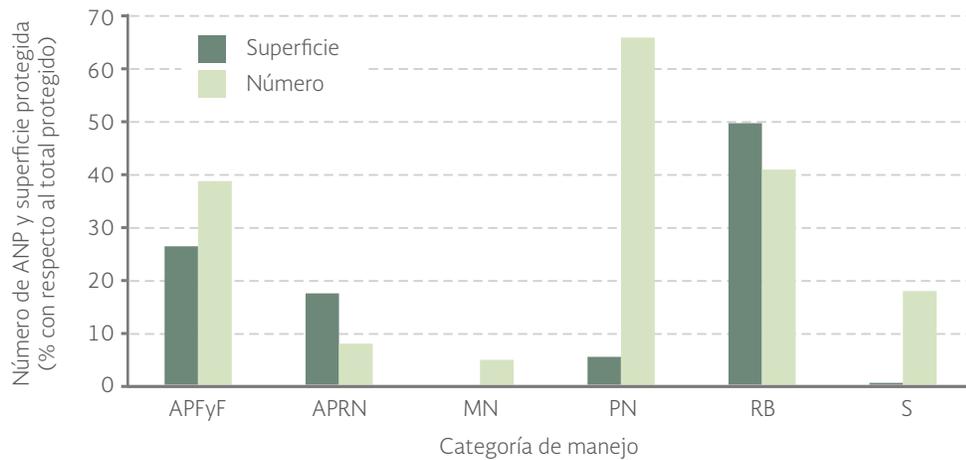
ANP estatales:

Conabio. *Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México 2015*. Conabio. México. 2015.

ANP municipales:

Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la coordinación de Geomática, Conanp, Semarnat. México. 2016.

Figura 4.21 | Áreas naturales protegidas federales, por categoría de manejo en México, 2015



Fuente:

Elaboración propia con datos de:

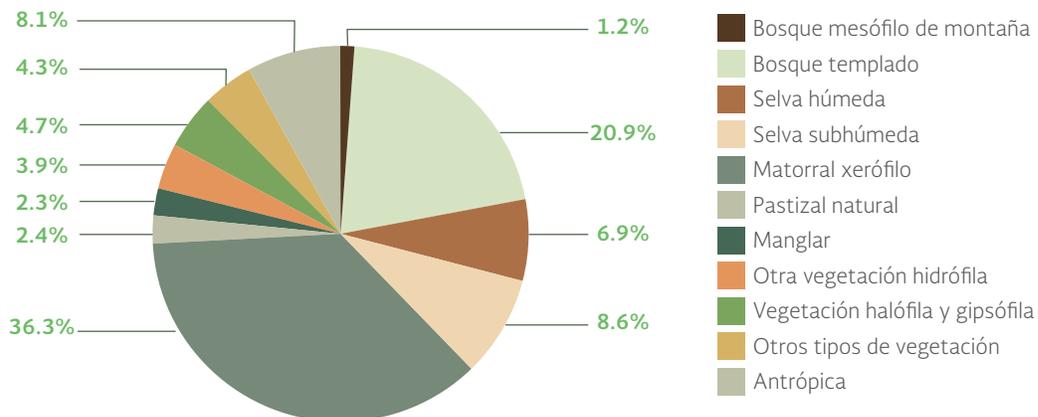
Subdirección de Análisis de Información Espacial de la Dirección de Evaluación y Seguimiento, Conanp, Semarnat. México. 2015.

Dentro de las áreas naturales protegidas federales se pueden encontrar casi todos los ecosistemas terrestres existentes en nuestro país. Por la extensión que cubren destacan los matorrales xerófilos, con casi 7.2 millones de hectáreas (36.3% de la superficie protegida), seguidos por los bosques templados con 4.2 millones (20.9%) y las selvas subhúmedas y húmedas con 3.1 millones en conjunto (8.6 y 6.9%, respectivamente; Figura 4.22).

No obstante su estatus como áreas de protección, no toda la cubierta vegetal de las ANP conserva su estado primario. Debido a que en una parte de las ANP los procesos de deterioro, ya sea tanto por factores naturales (incendios o fenómenos meteorológicos, por ejemplo) como por las actividades humanas, han continuado hasta la fecha, en todas ellas una proporción de su cubierta se halla en estado secundario⁸. En el caso de los matorrales xerófilos, alrededor del 98% de la superficie protegida conserva su estado primario⁹; le siguen por su porcentaje los bosques templados (con cerca del 69%), los bosques mesófilos de montaña (68%) y las selvas subhúmedas y húmedas (55 y 52%, respectivamente; Figura 4.23). Para mayores detalles sobre el impacto de las actividades humanas en las ANP del país, ver el recuadro **La huella humana en las áreas naturales protegidas**.

Respecto a los ecosistemas marinos protegidos, en 2015 se tenían un total de 34 ANP que cubrían cerca de 4.9 millones de hectáreas (aproximadamente 18.9% de la superficie total de las ANP federales). Dentro de algunas de ellas se protegen sistemas arrecifales de gran importancia ecológica,

Figura 4.22 | Superficie relativa de los principales ecosistemas en las áreas naturales protegidas federales en México, 2015¹



Nota:

¹ Los datos de las ANP corresponden a 2015, mientras que la estimación de la superficie de los principales ecosistemas fueron elaborados con la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie V, con datos de 2011.

Fuentes:

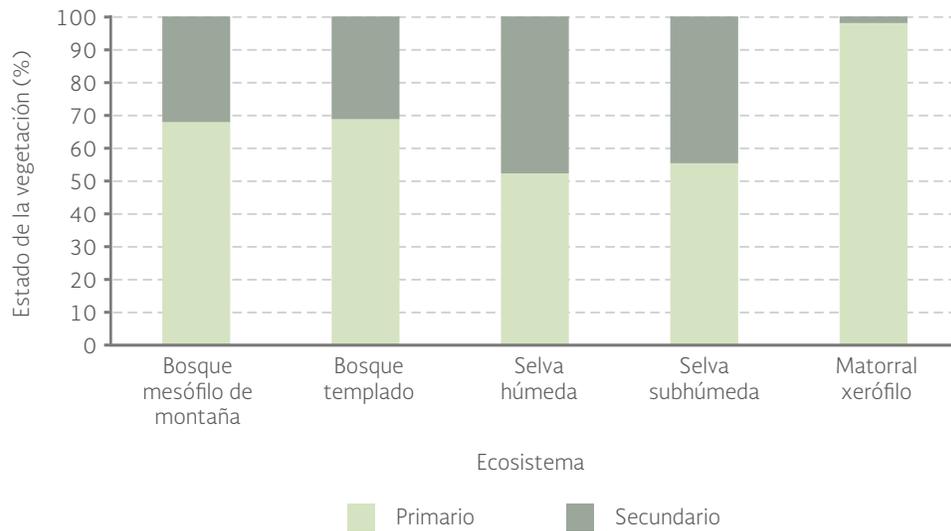
Elaboración propia con datos de :
Conanp. México. 2015.

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1:250 000. México. 2013.

⁸ Para mayores detalles respecto a las características de la vegetación primaria y secundaria, consultar el capítulo sobre Ecosistemas terrestres.

⁹ Es importante mencionar que debido a la dificultad que representa conocer con certeza el estado de conservación de muchos matorrales del país, esta cifra podría ser una sobrestimación del valor real. El estado primario o secundario de la vegetación que se presenta en el texto corresponde a su estado en 2011, ya que fue estimado a partir de la Carta del Uso del Suelo y Vegetación Serie V del INEGI que corresponde a datos de esa fecha.

Figura 4.23 Estado de la vegetación en las áreas naturales protegidas federales en México, 2015¹



Nota:

¹ Los datos de las ANP corresponden a 2015, mientras que la estimación de la superficie de los principales ecosistemas fueron elaborados con la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie V, con datos de 2011.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de :
Conanp. México. 2015.

INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1:250 000. México. 2013.

como los de Cabo Pulmo, en la costa de Baja California Sur; el Sistema Arrecifal Veracruzano, en el Golfo de México, y en el Caribe los arrecifes de Cozumel y una porción de la Barrera Arrecifal Mesoamericana (catalogada como la segunda más importante a nivel mundial después de la Gran Barrera de Arrecifes en Australia). Para mayores detalles de la condición actual de este ecosistema en el territorio nacional se sugiere consultar el recuadro [El arrecife Mesoamericano](#). En 2015, 18 ANP federales protegían dentro de sus límites arrecifes de coral (IB 6.3.1-4), además de comunidades de pastos marinos, vegetación de dunas costeras, esteros, lagunas costeras y manglares. 

Con respecto a las especies que se protegen dentro de las ANP, en 155 áreas se resguarda el hábitat de 983 especies endémicas al país. El grupo taxonómico con mayor número de especies endémicas protegidas es el de las plantas, seguido por el de los reptiles, las aves y los mamíferos. De las 983 especies endémicas en ANP, 187 son consideradas como micro-endémicas, es decir, su distribución geográfica es muy restringida, y se protegen en 84 ANP federales.

Así también, en algunas de las ANP federales del país se protegen a diversas especies prioritarias (Tabla 4.8). Por ejemplo, aves como el quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno*) y el pavón (*Oreophasis derbianus*) se han identificado en al menos cuatro ANP cada uno. El jaguar (*Panthera onca*), una especie que contaba con una amplia distribución histórica, ahora se encuentra dentro de 43 ANP en el país. En contraste, especies como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) sólo mantienen poblaciones dentro de una ANP.

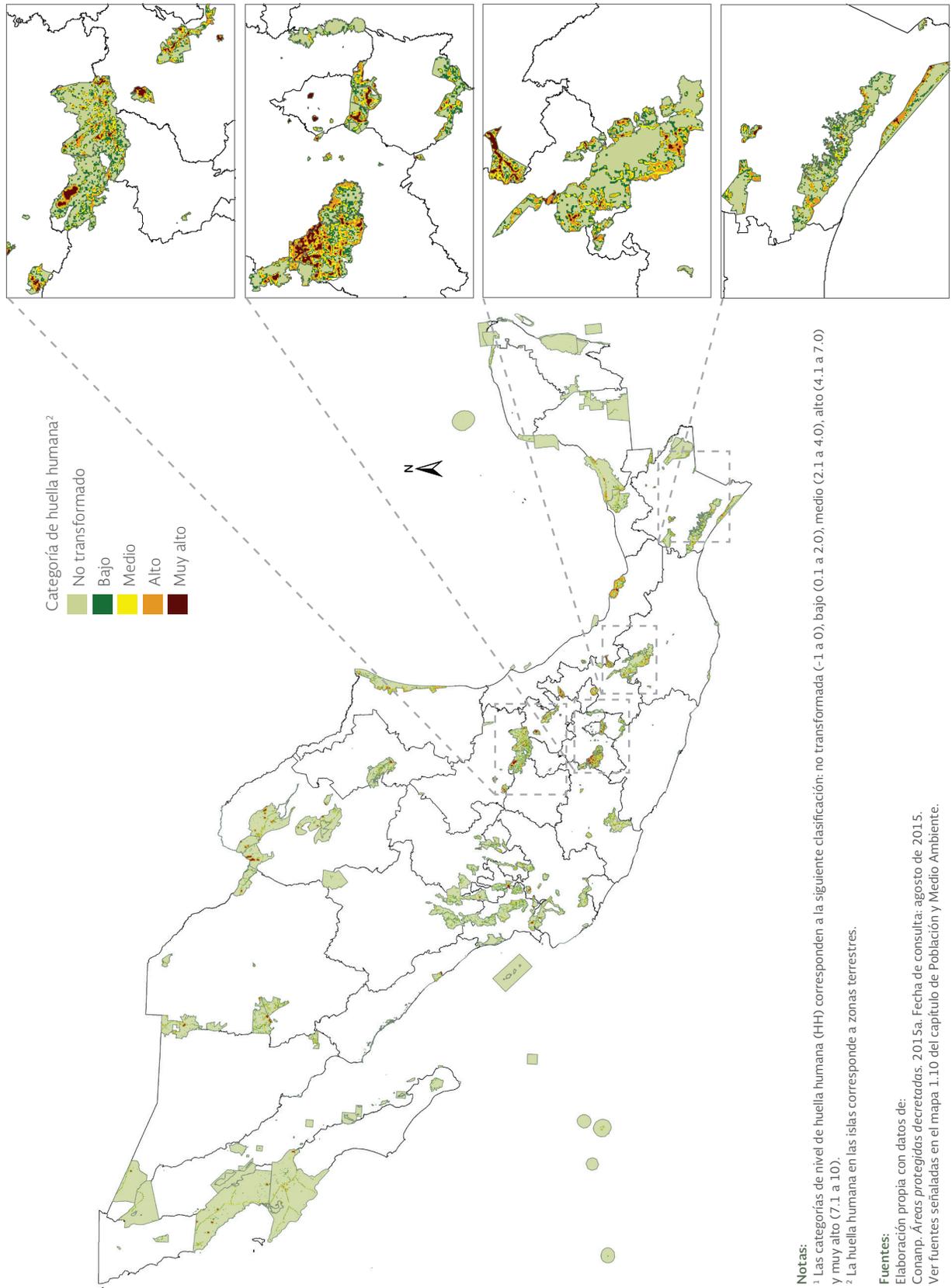
Recuadro

La huella humana en las áreas naturales protegidas federales

Las áreas naturales protegidas son espacios dedicados a la conservación de ecosistemas relevantes por su biodiversidad, por los servicios ambientales que brindan a la sociedad o por la presencia de especies de importancia ecológica, económica y/o cultural. No obstante, muchas de ellas muestran signos de degradación ambiental, ya sea porque ésta ocurrió con anterioridad a su declaratoria como área protegida, o bien porque continúa por la presencia de grupos y actividades humanas. La degradación ambiental de los ecosistemas de las ANP también puede ser el resultado de eventos naturales como los incendios forestales, deslizamientos de tierra o fenómenos meteorológicos extremos como sequías, huracanes, tornados o inundaciones, entre otros; incluso la sinergia de estos eventos con las actividades humanas puede agravar la situación de los ecosistemas en muchas de ellas.

Conocer el estado de conservación de los ecosistemas dentro de las áreas naturales protegidas es relevante para la conservación de su biodiversidad. La Conanp ha realizado, a la fecha, diversos estudios de este tipo en algunas de las ANP federales del país, las cuales pueden consultarse en su portal electrónico. Esta información permite conocer áreas afectadas o vulnerables y con ello diseñar mejores planes y estrategias para la protección, recuperación y posible uso sustentable de sus ecosistemas y especies. Estimar el estado de conservación de un área protegida puede realizarse a través de distintos indicadores; una aproximación reciente es la “huella humana”, una medida de la transformación que los seres humanos han hecho de los ambientes físicos y los ecosistemas naturales que albergan (Sanderson *et al.*, 2002). Su intensidad sobre el ambiente es el resultado del tipo de actividad realizada, de la superficie que ocupa y de la acumulación de actividades a través de áreas extensas y a lo largo del tiempo (González-Abraham *et al.*, 2015; Sanderson *et al.*, 2002). Su cálculo considera los impactos por las actividades productivas (por ejemplo, agricultura, ganadería, acuicultura, plantaciones forestales o minería a cielo abierto), por la presencia de zonas urbanas (incluyendo zonas industriales e instalaciones de generación de energía) y de infraestructura (vías de comunicación, presas, aeropuertos, canales, líneas de transmisión eléctrica, sitios de disposición de residuos sólidos y las plantas de tratamiento, entre otras).

Mapa a | Huella humana¹ (HH) en las áreas naturales protegidas federales, 2015

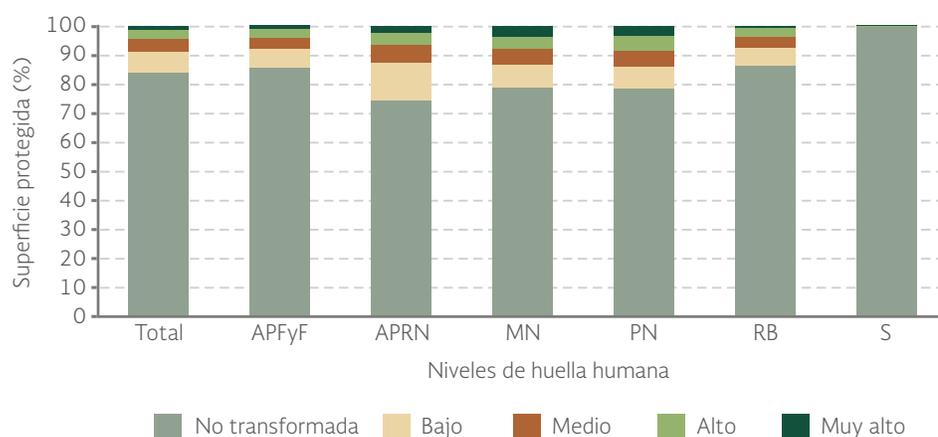


Notas:
¹ Las categorías de nivel de huella humana (HH) corresponden a la siguiente clasificación: no transformada (-1 a 0), bajo (0.1 a 2.0), medio (2.1 a 4.0), alto (4.1 a 7.0) y muy alto (7.1 a 10).
² La huella humana en las islas corresponde a zonas terrestres.

Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conamp. *Áreas protegidas decretadas*. 2015a. Fecha de consulta: agosto de 2015.
 Ver fuentes señaladas en el mapa 1.10 del capítulo de Población y Medio Ambiente.

En México, el 84% de la superficie total protegida federal tenía en 2011, un nivel extremadamente bajo de alteración por las actividades humanas¹ (Figura a). Superficies relativamente pequeñas, del 3 y 1% respectivamente, correspondían a áreas con altos y muy altos niveles de alteración. En el Mapa a se muestra la huella humana dentro de las ANP federales del país. Puede observarse que algunas de las áreas que muestran altos porcentajes de su superficie con valores elevados de huella humana son aquellas incluidas en zonas urbanas, como en el caso de El Histórico Coyoacán, el Cerro de la Estrella, El Tepeyac o Fuentes Brotantes de Tlalpan (incluidas dentro de la Ciudad de México), las cuales tienen hasta el 99% de su superficie clasificada en las categorías de alta y muy alta huella humana.

Figura a | Huella humana en las áreas naturales protegidas federales¹ en México, 2015



Nota:

¹ Las áreas naturales protegidas se clasifican en: áreas de protección de flora y fauna (APFyF), áreas de protección de recursos naturales (APRN), monumentos naturales (MN), parques nacionales (PN), reservas de la biosfera (RB) y santuarios (S).

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conanp. *Áreas protegidas decretadas*. 2015a. Fecha de consulta: agosto de 2015.
 Ver fuentes señaladas en el mapa 1.10 del capítulo de Población y Medio Ambiente.

Referencias:

Bonham-Carter, G.F. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Pergamon, Oxford. 1994.

Conanp. *Áreas protegidas decretadas*. 2015a. Disponible en: www.conanp.gob.mx/que_hacemos/. Fecha de consulta: agosto de 2015.

González-Abraham, C., E. Ezcurra, P.P. Garcillán, A. Ortega-Rubio, M. Kolb y J.E. Bezaury Creel. *The human footprint in Mexico: physical geography and historical legacies*. *PLoS ONE* 10: (3). 2015.

Sanderson, E.W., M. Jaiteh, M.A. Levy, K.H. Redford, A.V. Wannebo y G. Woolmer. The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52: 891. 2002.

Theobald, D.M. A general model to quantify ecological integrity for landscape assessments and US application. *Landscape Ecology* 28: 1859 – 1874. 2013.

¹ La Intensidad de la huella humana se determinó a través del cálculo de un índice que asigna valores a las fuentes humanas que han modificado el ambiente natural en un área particular (ver metodología de González-Abraham et al., 2015). Los valores del índice están entre -1 y 10, donde -1 representa un área con nula modificación del ambiente por actividad antrópica y 10 representa áreas donde la acumulación de la transformación humana ha sido máxima.

Recuadro | El arrecife mesoamericano

Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo. La variedad de especies que viven en ellos es mayor a la de cualquier otro ecosistema marino de aguas poco profundas, y sólo comparable en el medio terrestre a las selvas tropicales y los bosques de niebla. Los arrecifes de coral sustentan aproximadamente 25% de todas las especies marinas conocidas en la actualidad, a pesar de que ocupan menos del 1% del área oceánica global (Basurto-Lozano, 2006).

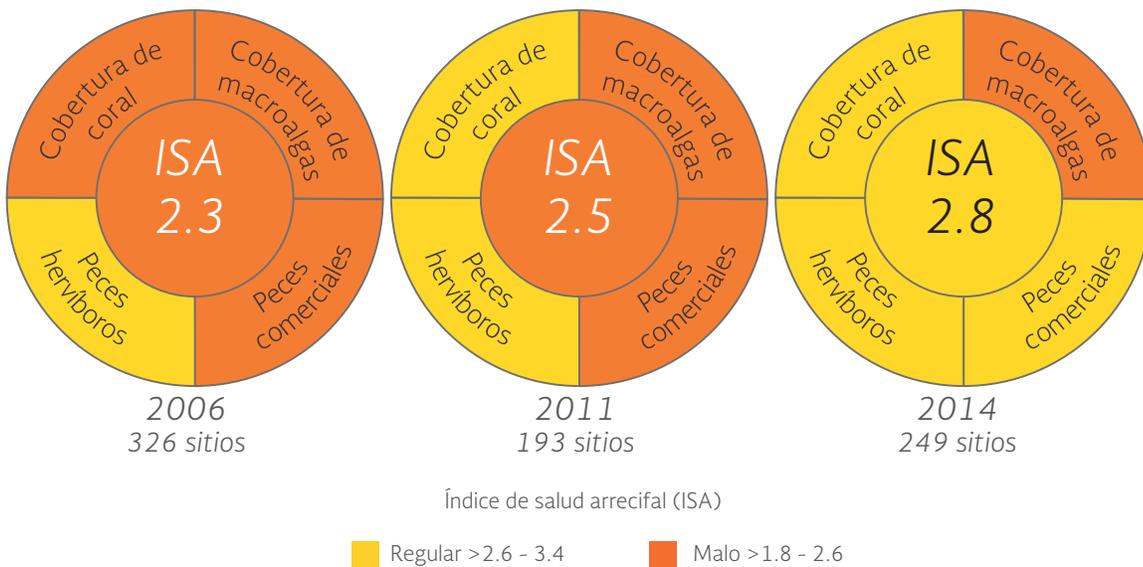
Los arrecifes de coral, en México como en el resto el mundo, están amenazados por diferentes actividades humanas vinculadas al desarrollo costero y marino (como son el desarrollo urbano y turístico) y a las actividades extractivas costeras y marinas (por ejemplo: de petróleo, gas y minerales), las cuales generalmente conllevan al deterioro de la calidad del agua, la sobrepesca, la degradación del lecho marino, la extracción ilegal y la introducción de especies invasoras, entre otros factores de deterioro (Burke y Maidens, 2005). A ellos deben sumarse los efectos del cambio climático, principalmente el aumento de la temperatura y del nivel del mar y la acidificación del océano (Burke *et al.*, 2011).

La segunda barrera de coral más importante en el mundo es el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), que se extiende por más de mil kilómetros desde Cabo Catoche, al norte de Quintana Roo, en México, hasta las Islas de la Bahía-Cayos Cochinos en la costa norte de Honduras (Ardisson *et al.*, 2011). El SAM destaca por su riqueza de moluscos, mamíferos, algas y más de 500 especies de peces y 65 especies de corales. Algunas de las especies que habitan estos arrecifes se encuentran en peligro de extinción, como es el caso de las tortugas verde (*Chelonia mydas*), carey (*Eretmochelys imbricata*) y caguama (*Caretta caretta*), y el manatí (*Trichechus manatus*); o catalogadas como amenazadas, como el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), entre otros. Además de su riqueza biológica, se ha calculado que los servicios ambientales que provee el SAM son importantes para la subsistencia de casi dos millones de personas en la región (Kramer *et al.*, 2015).

En los últimos diez años, la salud del ecosistema coralino del SAM ha mejorado ligeramente. Entre 2006 y 2014, el Índice de Salud Arrecifal¹ (ISA) cambió la condición de su estado de “mala” a “regular” (Figura a). Esto debido a que la cubierta de coral pasó de 10 a 16% y se observó un aumento de los peces herbívoros que reducen la densidad de macroalgas. Los peces de importancia pesquera también han incrementado en biomasa, sobre todo los de las poblaciones ubicadas dentro de Áreas Marinas Protegidas (AMP). Si el ISA se examina por los sitios monitoreados, de los 248 sitios monitoreados en 2015, el 57% tiene una salud en estado crítico y mala, y tan sólo en el 9% de los sitios puede considerarse como buena o muy buena (Figura b).

¹ A nivel regional, a través de la Iniciativa Arrecifes Saludables se han logrado desarrollar criterios medibles de clasificación de la salud de los arrecifes coralinos. El indicador sobre la salud de los arrecifes (RHI, por sus siglas en inglés) se basa en cuatro indicadores del ecosistema: cobertura de coral, cobertura de macroalgas, biomasa de herbívoros clave (peces loro y cirujano) y biomasa de peces comerciales clave (pargos y meros). El RHI tiene una escala de valores que va de 1 (estado crítico) a 5 (arrecife con muy buena salud; Kramer *et al.*, 2015).

Figura a | Índice de Salud Arrecifal¹(ISA) del Sistema Arrecifal Mesoamericano, 2006 - 2014



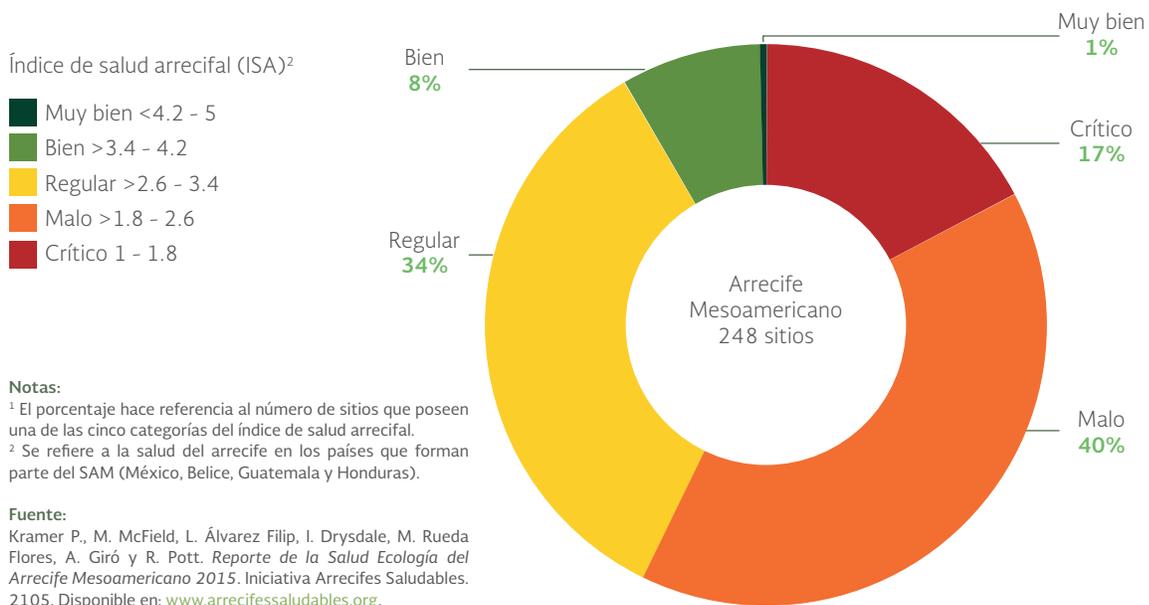
Nota:

¹ El índice se muestra en cada uno de los círculos centrales. Los cuatro indicadores con los que se calcula se muestran rodeando al círculo central.

Fuente:

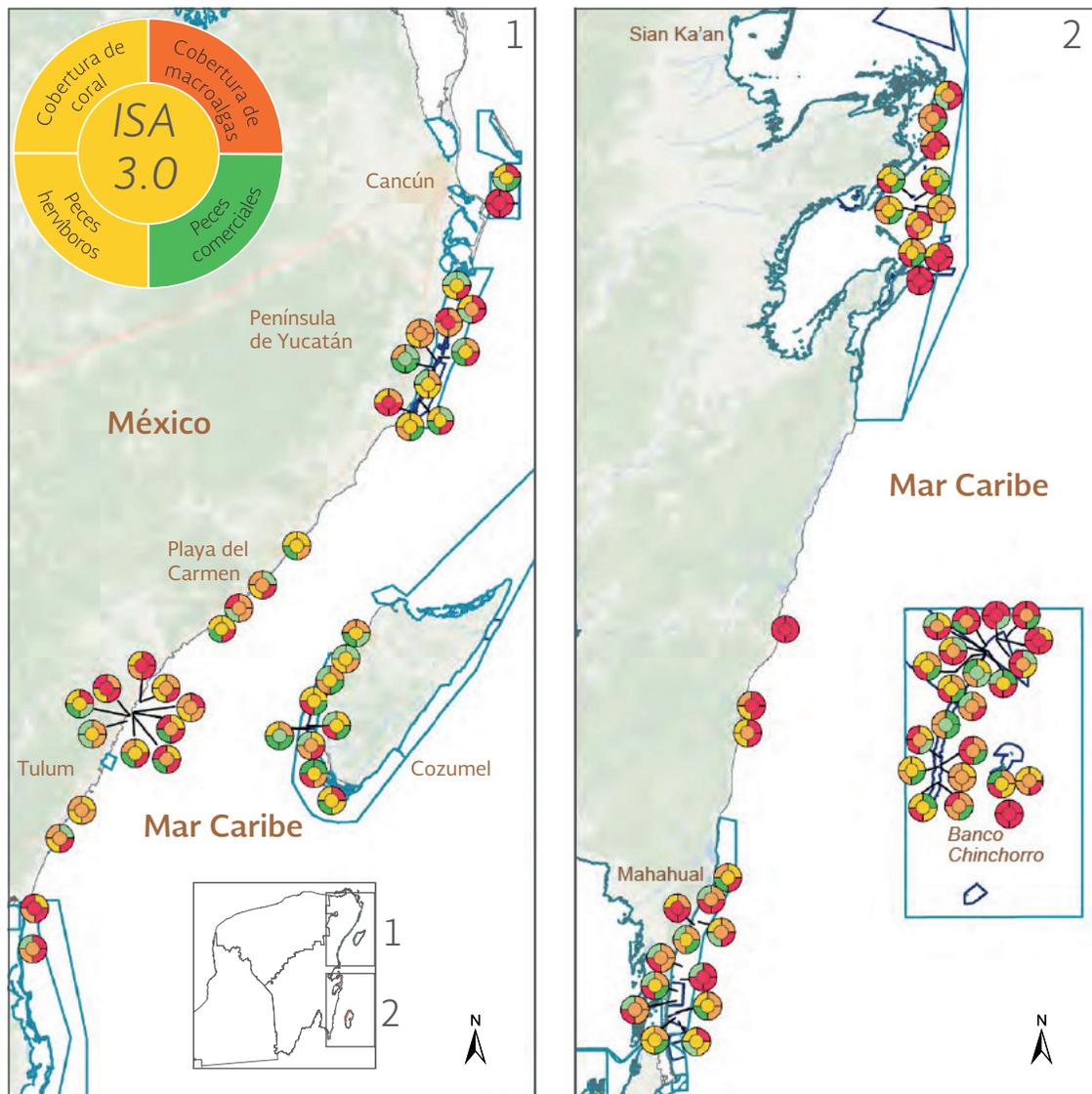
Kramer P., M. McField, L. Álvarez Filip, I. Drysdale, M. Rueda Flores, A. Giró y R. Pott. *Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015*. Iniciativa Arrecifes Saludables. 2105. Disponible en: www.arrecifessaludables.org.

Figura b | Estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano¹, 2015



La salud del SAM en los 86 sitios que se examinaron en México le dan un valor al índice que puede ser clasificado como de salud “regular” (Figura c); una calificación solo superada por una mejor condición del arrecife en la costa hondureña (ISA de 3.3). La condición del arrecife en nuestro país ha mejorado fundamentalmente por el incremento en la biomasa de los peces herbívoros (principalmente en la zona norte de Quintana Roo) y por el aumento de la cubierta de coral, que pasó del 8 al 14% entre 2006 y 2014.

Figura c | Estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano en México, 2015



Fuente:
Kramer P., M. McField, L. Álvarez Filip, I. Drysdale, M. Rueda Flores, A. Giró y R. Pott. *Reporte de la Salud Ecología del Arrecife Mesoamericano 2015*. Iniciativa Arrecifes Saludables. 2105. Disponible en: www.arrecifessaludables.org.

Referencias:

Ardisson P.L., M.A. May-Kú, M.T. Herrera-Dorantes y A. Arellano-Guillermo. El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica* 21 (3): 261-280. 2011.

Basurto-Lozano, D. Arrecifes coralinos. En: Moreno-Casasola, P., E. Peresbarbosa y A. C. Travieso-Bello (Eds.). *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT)-Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, México. 2006. Disponible en: www.inecol.edu.mx/publicaciones/MANEJO_INTEGRAL.htm.

Burke, L., K. Reytar, M. Spalding y A. Perry. *Reefs at Risk Revisited in the Coral Triangle*. Washington, D.C. World Resource Institute. 2011.

Burke, L. y J. Maidens. *Arrecifes en Peligro en el Caribe*. Washington, D.C. World Resource Institute. 2005.

Kramer P., M. McField, L. Álvarez Filip, I. Drysdale, M. Rueda Flores, A. Giró y R. Pott. *Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015*. Iniciativa Arrecifes Saludables. 2015. Disponible en: www.arrecifessaludables.org.

Tabla 4.8 | Superficies de hábitat con presencia verificada de especies prioritarias para la conservación en áreas naturales protegidas federales¹

Especie prioritaria	ANP con presencia verificada de la especie ²	Superficie de ANP con presencia verificada (ha) ³
Coral cuerno de alce (<i>Acropora palmata</i>)	11	1 190 094
Coral cuerno de venado (<i>Acropora cervicornis</i>)	10	661 946
Mariposa monarca (<i>Danaus plexippus</i>)	18	5 853 312
Tiburón ballena (<i>Rhincodon typus</i>)	11	1 858 750
Tiburón blanco (<i>Carcharodon carcharias</i>)	4	1 002 699
Tortuga caguama (<i>Caretta caretta</i>)	23	5 093 041
Tortuga carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>)	45	4 706 888
Tortuga golfina (<i>Lepidochelys olivacea</i>)	26	5 212 982
Tortuga laúd (<i>Dermochelys coriácea</i>)	25	1 220 816
Tortuga lora (<i>Lepidochelys kempii</i>)	2	572 899
Tortuga verde o negra (<i>Chelonia mydas</i>)	30	7 554 790
Flamenco (<i>Phoenicopterus ruber</i>)	8	1 121 351
Águila elegante (<i>Spizaetus ornatus</i>)	31	5 385 907
Águila harpía (<i>Harpia harpyja</i>)	7	419 453
Águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>)	29	13 895 750
Águila azor negra (<i>Spizaetus tyrannus</i>)	25	3 327 216
Águila viuda (<i>Spizastur melanoleucus</i>)	19	2 749 316
Cóndor de California (<i>Gymnogyps californianus</i>)	1	72 910
Cotorra serrana occidental (<i>Rhychopsitta pachyrhyncha</i>)	12	3 931 257

Tabla 4.8 | Superficies de hábitat con presencia verificada de especies prioritarias para la conservación en áreas naturales protegidas federales (conclusión)

Especie prioritaria	ANP con presencia verificada de la especie ²	Superficie de ANP con presencia verificada (ha) ³
Cotorra serrana oriental (<i>Rhychopsitta terrisi</i>)	4	995 002
Guacamaya roja (<i>Ara macao</i>)	8	615 260
Guacamaya verde (<i>Ara militaris</i>)	14	2 008 742
Loro cabeza amarilla (<i>Amazona oratrix</i>)	21	4 435 999
Loro nuca amarilla (<i>Amazona auropalliata</i>)	12	2 665 059
Pavón (<i>Oreophasis derbianus</i>)	4	470 411
Quetzal (<i>Pharomachrus mocinno</i>)	4	299 291
Gorrión del altiplano (<i>Spizella wortheni</i>)	2	1 528 586
Zopilote rey (<i>Sarcoramphus papa</i>)	29	3 941 606
Ballena azul (<i>Balaenoptera musculus</i>)	14	3 305 381
Ballena jorobada (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	16	3 310 897
Berrendo (<i>Antilocapra americana</i>)	9	8 552 189
Perro llanero de cola negra (<i>Cynomys ludovicianus</i>)	3	812 428
Castor canadiense (<i>Castor canadensis</i>)	3	1 798 769
Jaguar (<i>Panthera onca</i>)	43	8 171 795
Manatí (<i>Trichechus manatus</i>)	8	2 440 620
Mono araña (<i>Ateles geoffroyi</i>)	28	3 719 068
Nutria (<i>Lontra longicaudis</i>)	22	7 743 795
Oso negro (<i>Ursus americanus</i>)	14	3 017 750
Pecarí de labios blancos (<i>Tayassu pecari</i>)	10	2 035 131
Perro llanero mexicano (<i>Cynomys mexicanus</i>)	3	2 109 049
Tapir (<i>Tapirus bairdii</i>)	21	3 247 511
Teporingo o Zacatuche (<i>Romerolagus diazi</i>)	6	161 445
Vaquita marina (<i>Phocoena sinus</i>)	1	527 608

Fuente:

Oceguera-Salazar, K.A., L.G. Rodríguez-Sánchez, C. Lomelín-Molina, L. Ruiz-Paniagua, D. Leyja-Ramírez, I. Paniagua-Ruiz, J.I. March-Misfut, E.I. Bustamante-Moreno, J. Brambila-Navarrete, M.P. Gallina-Tessaro, A. Flores-Rodríguez, S.A. García-Martínez, A.R. Valdés-Ríos, J. Vallejo-Castro, A.L. Fernández-Arriaga, Y. López-Sánchez y A. Rulfo-Méndez. *Prontuario Estadístico y Geográfico de las Áreas Naturales Protegidas de México*. Conanp. México. 2016.

Notas:

¹ La superficie total protegida federal asciende a 25 628 239 hectáreas.

² Se indica el número de ANP en las que haya registros verificados de la especie, incluyendo los provenientes de los esfuerzos de monitoreo, publicaciones científicas, registros realizados por personal de las ANP y del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB) que maneja la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

³ Se asigna la suma total de las superficies de las ANP con presencia verificada para esa especie, asumiendo que potencialmente utilizan todos los hábitats contenidos en el ANP; para las especies estrictamente marinas se considera únicamente las superficies marinas, tal es el caso de especies como ballena azul, jorobada y tiburón blanco.

Dentro de las ANP de México se conservan, también, una amplia gama de especies migratorias, de las cuales, a la fecha se han identificado 309 en 158 áreas naturales. Estas especies incluyen a siete insectos (como es el caso de la mariposa monarca), 21 tiburones, mantas y peces, seis tortugas marinas, 240 aves, 28 murciélagos y siete mamíferos marinos.

Uno de los instrumentos que se utilizan para formalizar las estrategias de conservación y el uso de las áreas naturales protegidas federales es el Programa de Manejo. Estos instrumentos, además de incluir aspectos relativos a las características del sitio (p. ej., 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 enero de 2016, un total de 103 ANP (58.19% del total de ANP del país) contaban con programas de manejo publicados en el Diario Oficial de la Federación (Conanp, 2016a).

Una proporción importante de las ANP mexicanas poseen también relevancia internacional: 41 ANP (una de ellas de carácter estatal) están incluidas dentro del programa El Hombre y la Biosfera (MAB, por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), cuyo principal objetivo es promover la investigación científica y la comunicación de las experiencias en el campo de la conservación y el uso racional de los recursos naturales. Además de lo anterior, nuestro país cuenta con seis ANP inscritas por el mismo organismo como Patrimonio Mundial: Sian Ka'an (inscrita en 1987), el Santuario de Ballenas de El Vizcaíno (1993), las Islas y Áreas Protegidas del Golfo de California (2005), las Reservas de la Biosfera de la Mariposa Monarca (2008), El Pinacate y Gran Desierto de Altar (2013) y el Archipiélago de Revillagigedo (2016). Finalmente, la Reserva de la Biosfera de Calakmul fue inscrita por la Unesco, en 2014, como el primer Bien Mixto (cultural y natural) mexicano.

Además de las ANP federales, en México también se han establecido áreas protegidas a nivel estatal y municipal. Para 2015, se habían contabilizado un total de 303 ANP de carácter estatal y, hasta abril de 2016, 169 a nivel de municipio, las cuales ocupaban una extensión de aproximadamente 3.3 y 0.20 millones de hectáreas, respectivamente (Mapa 4.4).

Paralelamente a las ANP federales, estatales y municipales también existe otro mecanismo de conservación que permite a la sociedad en general, de manera voluntaria, el establecimiento, administración y manejo de áreas naturales protegidas privadas. Estas áreas denominadas como Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) son certificadas por la Conanp, la cual participa tanto como fedatario de la voluntad de conservación con la que se crean, como respaldo institucional ante gobiernos locales, estatales, o incluso internacionales o ante las ONG, fundaciones o cualquier fuente de asesoría o financiamiento (Conanp, 2016b). Hasta marzo de 2016, se habían certificado un total de 389 ADVC, lo que representa poco menos de 400 mil hectáreas, distribuidas en 21 entidades del país, siendo Oaxaca (150), Guerrero (134) y Tlaxcala (29; Tabla 4.9; [Cuadro D3_BIODIV08_01](#)) las entidades con mayor número de áreas certificadas.

Tabla 4.9 | Áreas destinadas voluntariamente a la conservación, 2016

Tipo de ANP	Número	Superficie (ha)
Asociaciones	13	20 764
Comunidades	49	149 261
Empresas de participación estatal	2	2 064
Federal	1	2 195
Municipal	1	804
Parcelas	144	2 646
Personas físicas	102	57 013
Sociedades	17	73 173
Tierras de uso común	60	91 549
Total	389	399 474

Fuente:

Conanp. Programas de manejo. 2016. Disponible en: www.conanp.gob.mx/que_hacemos/listado_areas.php. Fecha de consulta: abril de 2016.

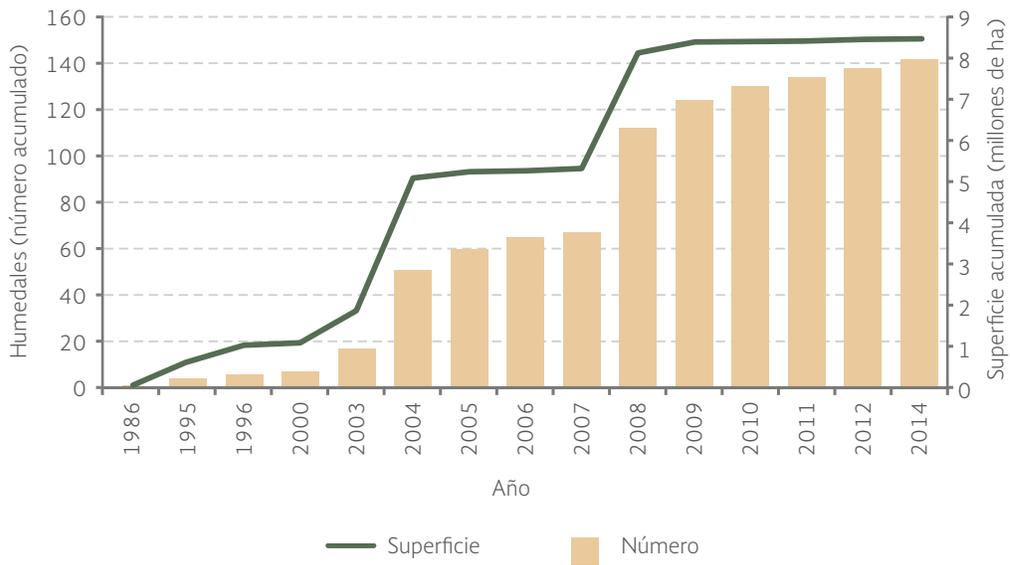
Humedales Ramsar

La Convención Ramsar, 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 humedales¹⁰ de importancia mundial y de sus recursos dentro de los territorios de los países firmantes. México se adhirió a dicha Convención en julio de 1986, y es la Conanp la dependencia federal encargada de llevar a cabo su aplicación en nuestro territorio.

Para abril de 2016, nuestro país contaba con 142 sitios Ramsar que cubrían una superficie de cerca de 8.6 millones de hectáreas de humedales. Sesenta y siete de estos sitios se encuentran incluidos dentro de alguna ANP federal, cuatro dentro de santuarios destinados a la protección de tortugas y 75 sitios fuera de las ANP (Figura 4.24, Mapa 4.5).

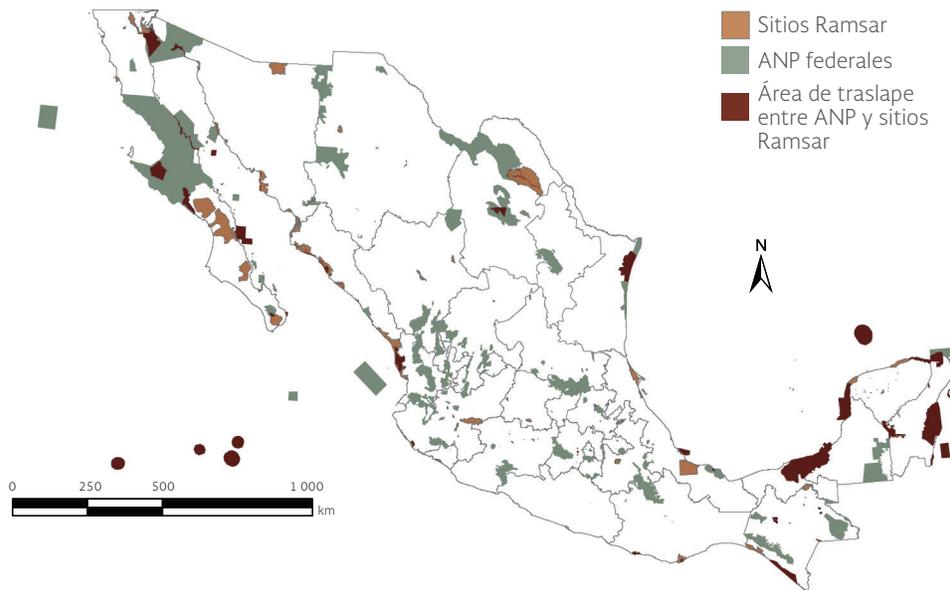
¹⁰ Considera como humedales a una amplia variedad de hábitats, tales como marismas, pantanos y turberas, o las superficies cubiertas de agua de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

Figura 4.24 | *Humedales continentales mexicanos en la Convención Ramsar, 1986 - 2014*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Coordinación para la Atención de Humedales y Zonas Costero Marinas, Conanp, Semarnat. México. 2015.

Mapa 4.5 | *Sitios Ramsar y áreas naturales protegidas federales en México, 2015*



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Subdirección Encargada de la Coordinación de Geomática, Conanp, Semarnat. México. 2015.

Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma)

Además del esquema de protección de los ecosistemas dentro de las ANP, en México se han promovido otros esquemas que buscan el uso sustentable de la biodiversidad. En 1997 se estableció el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA), con el cual se busca promover la conservación de los hábitats naturales y sus servicios ambientales, así como de las poblaciones y ejemplares de especies silvestres, a la par de las actividades productivas convencionales, como la ganadería o la agricultura (Semarnat, 2015a).

Las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Uma) funcionan como centros productores de pies de cría, bancos de germoplasma, educación ambiental, investigación, unidades de producción de ejemplares, partes y derivados y para cubrir las demandas del mercado nacional e internacional, entre otros. De acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) existen dos categorías para el manejo de la vida silvestre: de manejo en vida libre (anteriormente denominado “extensivo”), en el cual los ejemplares se mantienen en libertad, dentro de sus ecosistemas naturales, y de manejo intensivo, en el que los especímenes se mantienen en confinamiento.

El establecimiento de una Uma puede llevarse a cabo en cualquier tipo de predio, ya sea ejidal, comunal o propiedad privada, esto una vez que la Semarnat autoriza el plan de manejo de la Uma, mismo que funge como el documento técnico operativo que describe y programa las actividades para el manejo de las especies y sus hábitats. El plan de manejo está sujeto a verificación periódica, y deberá garantizar la conservación de los ecosistemas y la viabilidad de las poblaciones de todas las especies existentes en la unidad registrada (Conafor, 2009).

Algunas de las especies de fauna que se aprovechan o se protegen en las Uma son el pecarí de collar (*Pecari tajacu*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), tortugas dulceacuícolas (*Trachemys venusta* y *T. elegans*), el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*), el tepezcuintle (*Cuniculus paca*), la iguana (*Iguana iguana*) y el conejo silvestre (*Sylvilagus floridanus*). En cuanto a la flora, se pueden mencionar algunos tipos de orquídeas (*Cypripedium irapeanum*, *Coryanthes picturata*, *Vanilla planifolia*, *V. pompona* y *Laelia anceps*) y el cedro rojo (*Cedrela odorata*).

Para junio de 2016, en el país se tenían registradas un total de 12 649 Uma vigentes, cubriendo una superficie acumulada superior a las 38.01 millones de hectáreas¹¹ (cerca del 19.3% del territorio nacional; Figura 4.25). De las Uma registradas, 9 893 eran de manejo en vida libre y 2 756 de manejo intensivo. El mayor número de Uma se ubica en el norte del país, principalmente en los estados de Nuevo León, Sonora, Tamaulipas, Coahuila y Durango (Mapa 4.6).

¹¹ Si se consideran los datos históricos de Uma registradas por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de la Semarnat, el total de unidades en 2014 fue de 12 445 y la superficie acumulada de 38.74 millones de hectáreas.

Figura 4.25 | Superficie y número de Uma vigentes registradas¹ en México, 1999 - 2016



Nota:

¹ Si se consideran los datos históricos de Umas registradas por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) de la Semarnat, el total de unidades en 2014 fue de 12 445 y la superficie acumulada de 38.74 millones de hectáreas.

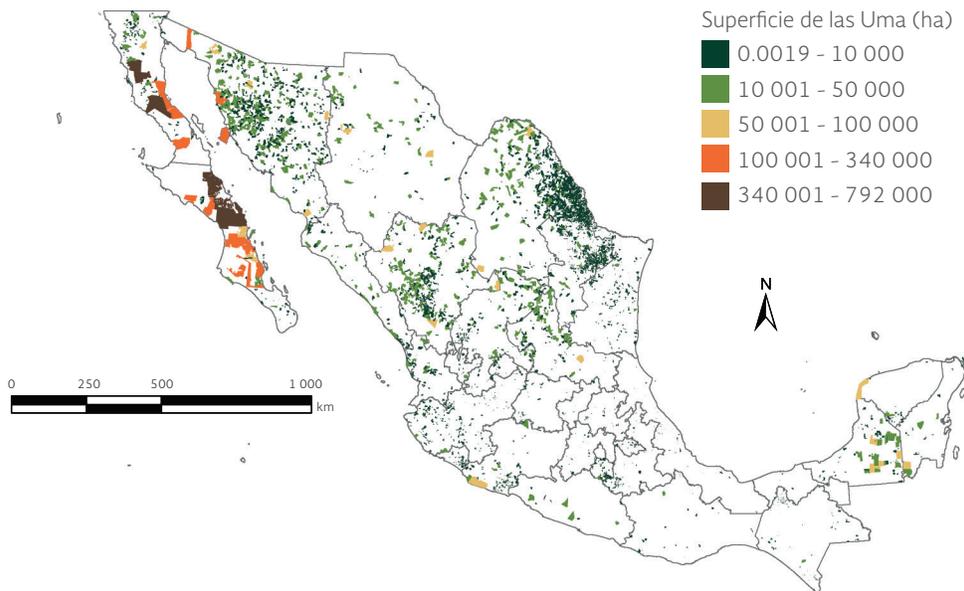
² Cifra preliminar al 30 de junio.

Fuente:

Subsecretaría de Gestión y Protección Ambiental, Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2015.

Semarnat. *Cuarto Informe de Labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

Mapa 4.6 | Uma en México¹, 2014



Nota:

¹ El mapa muestra tan sólo las 5 664 Uma que contaron con datos de su posición geográfica precisa.

Fuente:

Subsecretaría de Gestión y Protección Ambiental, Dirección General de Vida Silvestre, Semarnat. México. 2015.

Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS)

Los Centros para la Conservación e Investigación de la Vida Silvestre (CIVS) surgen con el Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000, y operan de conformidad a lo establecido en la Ley General de Vida Silvestre. El objetivo principal de estos centros es contribuir a la conservación, protección, recuperación, reintroducción y canalización de ejemplares producto de rescates, entregas voluntarias o aseguramientos por parte de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) o la Procuraduría General de la República (PGR). Entre sus funciones principales están la recepción, acopio, albergue y rehabilitación física, clínica y etológica de fauna silvestre, así como la difusión, capacitación, monitoreo, evaluación y muestreo que contribuyan al desarrollo del conocimiento de la vida silvestre y su hábitat.

Actualmente se cuenta con seis centros ubicados en los estados de Jalisco, Yucatán, Oaxaca, Quintana Roo y el estado de México, este último con dos CIVS. Los principales grupos de especies que llegan a estos centros son mamíferos, aves, reptiles e invertebrados, los cuales pueden ser liberados en su hábitat natural, canalizados a diferentes Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre como pie de cría o para desarrollar programas de reproducción e investigación (Semarnat, 2015b).

En el periodo 1998-2014 se ingresaron a los CIVS un total de 28 412 ejemplares, en su mayoría reptiles (43.2%), aves (31.8%) y mamíferos (12.2%); y en menor proporción arácnidos, artrópodos, anfibios y cactáceas (12.8% en conjunto; [Cuadro D3_BIODIV04_10](#)). Del total de ejemplares ingresados se liberaron a distintos ecosistemas naturales el 18.4%, los cuales correspondieron a reptiles (35.9% del total liberado), aves (28.6%), mamíferos (26.8%) y arácnidos (8.2%).

REFERENCIAS

Acevedo Gasman, F., E. Huerta Ocampo, S. Lorenzo Alonso y S. Ortiz García. La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío. En: Dirzo, R., R. González e I.J. March. *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio. México. 2009.

Barnosky, A.D. y E.L. Lindsey. Timing of Quaternary megafaunal extinction in South America in relation to human arrival and climate change. *Quaternary International* 217: 10–29. 2010.

Barnosky, A.D., N. Matzke, S. Tomiya, G.O.U. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental, C. Marshall, J.L. McGuire, E.L. Lindsey, K.C. Maguire, B. Mersey y E.A. Ferrer. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471: 51-57. 2011.

Bermúdez, C.C., A. Castillo y A. Williams. *Análisis logístico interno de la sociedad portuaria regional de barranquilla*. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. 2009.

Capdevila-Argüelles, L., B. Zilletti y V.A.S. Álvarez. *Causas de la pérdida de biodiversidad: especies Exóticas Invasoras*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 2ª época, Tomo X. España. 2013.

Ceballos, G., P.R. Ehrlich, A.D. Barnosky, A. García, R.M. Pringle y T.M. Palmer. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1, e1400253. 2015.

Challenger, A., R. Dirzo, J.C. López, E. Mendoza, A. Lira-Noriega e I. Cruz. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Dirzo, R., R. González e I.J. March. *Capital Natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio. México. 2009.

CCA. *Plan operativo para la Conservación de la Biodiversidad*. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal. 2008

- CITES. ¿Qué es la CITES? Disponible en: <https://cites.org/esp/disc/what.php>. Fecha de consulta: marzo de 2016.
- Conabio. Coordinación de Información y Servicios Externos. Semarnat. México. 2015a.
- Conabio. Chile. Conabio. 2015b. Disponible en: www.biodiversidad.gob.mx/ usos/ alimentacion/ chile.html. Fecha de consulta: noviembre de 2015.
- Conabio. Frijol. Conabio. 2013. Disponible en: www.biodiversidad.gob.mx/ usos/ alimentacion/ frijol.html. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- Conabio. Nuestros mares mexicanos. Conabio. 2014. Disponible en: www.conabio.gob.mx/ web/ medios/ index.php/ noticias-2014/ 316- nuestros- mares- mexicanos. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- Conabio. Razas de maíz de México. Conabio. 2012. Disponible en: www.biodiversidad.gob.mx/ usos/ maices/ razas2012.html. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- Conafor. Manual técnico para beneficiarios: Manejo de vida silvestre. México. 2009.
- Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México. 2014.
- Conanp. Áreas protegidas decretadas. 2015. Disponible en: www.conanp.gob.mx/ que_ hacemos/. Fecha de consulta: agosto de 2015.
- Conanp. Programas de manejo. 2016a. Disponible en: www.conanp.gob.mx/ que_ hacemos/ programa_ manejo.php. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Conanp. Prontuario Estadístico y Geográfico de la Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 2016b.
- Conanp. Impulsa la Conanp un movimiento para la conservación de los ecosistemas. Comunicado de prensa Núm. 196/11. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 2011.
- Cotecoca, Sagarpa. Monografías de Coeficientes de Agostadero. México. Abril 2015.
- Cotecoca. Monografías de Coeficientes de Agostadero, años 1972-1981. México. 2004.
- Crutzen, P.J. Geology of mankind. *Nature* 415: 23. 2002.
- De Anda, J. Proceso de fragmentación del río Grande de Santiago (México) y sus implicaciones sociales y ambientales. *Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible*: 21. 2014. Disponible en: www.eumed.net/ rev/ delos/ 21/ rio-grande.html. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- De la Vega-Salazar, M.Y. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas de México. *Ciencias* 78: 20-30. 2003.
- Del Olmo Calzada, M. y A. del C. Montes Villalpando. *El Museo de Tepexpan y el estudio de la Prehistoria en México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Toluca, estado de México. México. 2011.
- Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder y G. Ledec. *Conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The WB/The WWF. Washington, D. C. 1995.
- DOF. 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. México. 2010 (30 de diciembre).
- FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, La protección social y la agricultura: romper el ciclo de la pobreza rural*. Roma. 2015.
- González, A. y G.B. Badillo. Road Ecology Studies for Mexico. *Oecologia Australia* 17 (1): 175-190. 2013.
- González-Lozano, M.C., L.C. Méndez-Rodríguez, D.G. López-Veneroni y A. Vázquez Botello. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia* 31 (9): 647-656. 2006.
- Hernández-Xolocotzi, E. Aspectos de la domesticación de plantas en México: una apreciación personal. 1998. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (Comps.). *Diversidad Biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250 000. México. 2013.
- INIFAP. Informe Nacional para la conferencia técnica internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos (Leipzig, 1996). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), México. 1995.
- IUCN. *The IUCN Red list of threatened species 2015.4. The IUCN Species Survival Commission*. 2015. Disponible en: www.iucnredlist.org/ about/ summary- statistics. Fecha de consulta: mayo de 2016.

- Jiménez, S.C.L. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria* 12 (1). 2011. Disponible en: www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art04/art04.pdf. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Lara-Lara, J.R., V. Arenas Fuentes, C. Bazán Guzmán, V. Díaz Castañeda, E. Escobar Briones, M. de la C. García Abad, G. Gaxiola Castro, G. Robles Jarero, R. Sosa Ávalos, L.A. Soto González, M. Tapia García y J.E. Valdez-Holguín. Los ecosistemas marinos. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.
- Laurance, W.F., A. Peletier-Jellema, B. Geenen, H. Koster, P. Verweij, P. Van Dijck, T.E. Lovejoy, J. Schleicher y M. Van Kuijk. Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion. *Current Biology* 25 (7): R259-R262. 2015.
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. *Estado del conocimiento de la biota*. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.
- March, I.J. y M. Martínez (Eds.). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México*. IMTA-The Nature Conservancy-Conabio-Aridamérica-GEI. México. 2008.
- MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- Martínez-Meyer, E., J. Sosa-Escalante y F. Álvarez. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, suplemento 85: S1-S9. 2014.
- Martínez-Yrizar, A., A. Búrquez y T. Calmus. Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Región y sociedad* 24 (spe3): 289-307. 2012. Disponible en: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-9252012000600010&lng=es&nrm=iso. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- Medina-Macías, M.N., M.A. González-Bernal y A.G. Navarro-Sigüenza. Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 487-503. 2010.
- Mendoza, R. y P. Koleff. *Introducción de especies exóticas acuáticas en México y en el mundo*. En: Mendoza, R. y P. Koleff (Coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Conabio. México. 2014.
- Miller, R.R. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30: 121-153. 1986.
- Mittermeier, R.A., P. Robles-Gil y C. Goetsch-Mittermeier. *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. Cemex-Agrupación Sierra Madre. México. 1997.
- Montes-Hernández, S. *Informe final del proyecto "Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género Capsicum que crecen y se cultivan en México"*. Conabio. México. 2010.
- Mora, C., D.P. Tittensor, S. Adl, A.G.B. Simpson y B. Worm. How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biology* 9 (8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127. 2011.
- Navarro-Sigüenza, A.G., M.F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A.T. Peterson, H. Berlanga-García y L.A. Sánchez-González. Biodiversidad de las Aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S476-S495. 2014.
- Nixon, K.C. *The genus Quercus in Mexico*. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. 1993.
- Parra-Olea, G., O.A. Flores-Villela y C. Mendoza-Almeralla. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S460-S466. 2014.
- Pimm, S., G.J. Russell, J. Gittleman, y T.M. Brooks. The future of biodiversity. *Science* 269: 347-350. 1995.
- Piñero, D., J. Caballero-Mellado, D. Cabrera-Toledo, C.E. Canteros, A. Casas, A. Castañeda Sortibrán, A. Castillo, R. Cerritos, O. Chassin-Noria, et al. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente-Bousquets. *Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio. México. 2008.
- PNUMA. *El envejecimiento del derecho de aguas: la gestión de los recursos hídricos para los seres humanos y el medioambiente*. Nairobi. 2010.
- PNUMA. *Perspectivas del medio ambiente mundial (GEO5)*. Colombia. 2012.
- Puc-Sánchez, J.I., C. Delgado-Trejo, E. Mendoza-Ramírez y I. Suazo-Ortuño. Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México. *Biodiversitas* 111: 12-16. 2013.
- Raya-Pérez, J.C., C.L. Aguirre-Mancilla, K. Gil-Vega y J. Simpson. La domesticación de plantas en México: comparación de la forma cultivada y silvestre entre *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae). *Polibotánica* 30: 239-256. 2010.

- Rzedowski, J. *Vegetación de México*. 1ra. edición digital. Conabio. México. 2006.
- Sandom, Ch., S. Faurby, B. Sandel y J.C. Svenning. Global late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281: 1787, 20133254. 2014.
- Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano (Eds.). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. INE, Semarnat. México. 2007.
- SCBD. *Global biodiversity outlook 3*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. 2010.
- SCBD. *Global biodiversity outlook 4*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. 2014.
- SHCP. Programas del Plan Nacional de Desarrollo, Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018. Disponible en: www.gob.mx/presidencia/acciones-y-programas/programa-nacional-de-infraestructura-2014-2018. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Semarnat. *El medio ambiente en México 2002. Resumen*. Semarnat. México. 2003.
- Semarnat. Sistema de unidades de manejo. 2015a. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/vida-silvestre/sistema-de-unidades-de-manejo. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- Semarnat. *Atlas del Agua en México 2015*. Semarnat. México. 2015b.
- Smith-Ramírez, C., J.J. Armesto y C. Valdovinos (Eds.). *Historia, Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago. 2005.
- UNEP. *Latin America and the Caribbean: Environment Outlook*. United Nations. Nairobi. 2010.
- Wojtal, P. y J. Wilczynski. Hunters of the giants: Woolly mammoth hunting during the Gravettian in Central Europe. *Quaternary International* 379: 71-81. 2015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.05.040>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Zhang, Z.Q. (Ed.). Animal biodiversity: An outline of higher –level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa* 3148: 1-237. 2011.



Atmósfera

5

La atmósfera que envuelve a nuestro planeta cumple funciones esenciales para el mantenimiento de la vida: además de que aloja a la capa de ozono que filtra la dañina radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol, también participa en la regulación del clima, esto tanto por el movimiento de las masas de aire frío y caliente sobre los océanos y las masas continentales, como por su efecto en las corrientes oceánicas y en el transporte del vapor de agua que después se vierte en forma de precipitación en los continentes (Delworth y Greatbatch, 2000; UNEP, 2012b). Sumado a lo anterior, la atmósfera actúa también como reservorio de algunos elementos químicos vitales para los seres vivos, los cuales circulan en la biosfera a través de los llamados “ciclos biogeoquímicos” y que necesariamente pasan por una fase gaseosa en la atmósfera, como son los casos del carbono y del nitrógeno (Gruber y Galloway, 2008; Aufdenkampe et al. 2011).

A la atmósfera se liberan una enorme cantidad de sustancias producidas por las actividades humanas, las cuales pueden permanecer suspendidas desde unos pocos días (como en el caso de las partículas y el carbono negro), décadas (como los clorofluorocarbonos) o incluso siglos, tal como ocurre con algunos gases de efecto invernadero (el bióxido de carbono, por ejemplo). Aunque algunas de ellas pueden degradarse en la atmósfera, deponerse en tierra o en los océanos o integrarse en los ciclos biogeoquímicos, sus emisiones crecientes han sido la causa de algunos de los problemas ambientales más importantes que enfrentamos en la actualidad. La degradación de la capa de ozono estratosférico, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas son, sin duda, los más importantes.

En este sentido, resulta fundamental contar con información actualizada y confiable sobre los temas más relevantes relacionados con la atmósfera, la cual sea útil para tomar acciones efectivas a los niveles local y global. En este contexto, en la primera sección de este capítulo se describen las emisiones de contaminantes atmosféricos y su relación con la calidad del aire en algunas de las zonas urbanas con monitoreo. También se describe la situación y las tendencias de la calidad del aire en las ciudades que cuentan con estaciones de monitoreo e información

confiable. En las últimas dos secciones se abordan dos temas de carácter global: el cambio climático y el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico; en cada una de ellas se hace una descripción de las causas, las consecuencias y las medidas tomadas para enfrentarlos. En el caso del cambio climático, se describen los acuerdos a los que llegó la comunidad internacional en la reciente COP21 y los compromisos específicos que México ha hecho para enfrentar este problema.

CALIDAD DEL AIRE

El crecimiento de la población en zonas urbanas trajo consigo la concentración de las actividades económicas y productivas en zonas relativamente pequeñas, lo que agudizó problemas como el adecuado suministro de agua y la mala calidad del aire.

La calidad deficiente del aire tiene implicaciones sociales y económicas importantes, siendo quizá una de las más relevantes el de poder convertirse en la principal causa ambiental de muertes prematuras a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS; WHO por sus siglas en inglés), en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% de cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda). La mayor parte, cerca del 70%, ocurrió en los países de la región Pacífico occidental y el sureste de Asia (1.67 millones y 936 mil muertes, respectivamente), sin embargo, en el continente americano se registraron cerca de 58 mil decesos (WHO, 2014).

La mala calidad del aire también tiene impactos en el ámbito económico. Afecta la competitividad económica de los países¹, ya que los problemas de salud de la población generan tanto disminución de la productividad como un incremento del presupuesto que debe destinarse a los gastos en salud. El Banco Mundial estimó que el impacto al Producto Interno Bruto en los países de América Latina como consecuencia de las afectaciones a la salud por la emisión de contaminantes al aire es de alrededor del 2% (Clean Air Institute, 2013).

En el ámbito nacional, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) evaluó el impacto económico y sobre la salud en 2010 en las zonas metropolitanas del Valle de México (ZMVM), Guadalajara (ZMG) y Monterrey (AMM), encontrando que si se cumplieran los límites establecidos en la concentración de partículas finas ($PM_{2.5}$) recomendados por la Organización Mundial de la Salud², se evitarían pérdidas económicas por 45 mil millones de pesos y 2 170 muertes prematuras. Considerando la normatividad mexicana que establece un límite más alto para las $PM_{2.5}$ ³, si su concentración se mantuviera por debajo de este límite se evitaría un gasto

¹ El Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) en su evaluación de la competitividad global, incluye a la población expuesta a la concentración de contaminantes en el aire (particularmente $PM_{2.5}$) como un indicador del componente de sustentabilidad ambiental del Índice Global de Competitividad.

² El límite establecido por la OMS es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas.

³ El límite en México indica que no deben excederse los 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas.

de 27 mil millones de pesos y alrededor de 1 317 muertes prematuras (para mayor información sobre Salud ambiental se recomienda ver el capítulo de [Población y medio ambiente](#)).

Además de los efectos documentados sobre la salud de las personas, por la contaminación atmosférica también se han registrado afectaciones en los bosques y ecosistemas acuáticos debido a otros contaminantes importantes (como los óxidos de nitrógeno y de azufre) que se producen por la quema de combustibles fósiles y que provocan el fenómeno conocido como “lluvia ácida”.

Los impactos ambientales, sociales y económicos de la contaminación atmosférica hacen necesario conocer no sólo las concentraciones de los principales contaminantes en el aire, sino también sus fuentes de origen y sus volúmenes de emisión. Todo ello permite el diseño y la implementación de acciones de política pública orientadas a reducir la presencia de los contaminantes en la atmósfera y minimizar así sus impactos sobre la salud de la población y los ecosistemas.

FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AIRE

El volumen y características de los contaminantes emitidos, tanto local como regionalmente a la atmósfera, determinan en buena medida la calidad del aire en una zona particular. No obstante, las características climáticas y geográficas también influyen en las condiciones del aire a las que están expuestas las poblaciones. En esta sección del capítulo se presentan y analizan la emisión nacional de contaminantes, por tipo y fuente, así como por ubicación geográfica.

Emisión de contaminantes

El último Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) cuenta con datos para el año 2008. Incluye la estimación de las emisiones de contaminantes por fuente, entidad federativa y municipio para ese año y su información se concentra en el Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México (SINEA). Es importante mencionar que los datos publicados en el INEM 2008 no son comparables con aquellos publicados en inventarios anteriores⁴, ya que las metodologías empleadas han cambiado con el fin de mejorar la calidad de la información. Esto pone de manifiesto la necesidad de recalcularse cualquier inventario anterior cada vez que la metodología sufra algún cambio, con la finalidad de hacerlos comparables.

Existen también inventarios locales elaborados para algunas zonas metropolitanas y ciudades del país, los que pueden ser consultados directamente en sus respectivos Programas para Mejorar la Calidad del Aire. Destacan los inventarios de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), cuya actualización ha sido regular y la última incluye datos al año 2012 (recuadro de [Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México](#)).

⁴ El primer inventario de emisiones se desarrolló en 1988 con la implementación del Sistema Nacional del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas y un estudio que cuantificó las emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Recuadro | Emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México

La calidad del aire de la Ciudad de México empezó a monitorearse en 1966, con la instalación de cuatro estaciones que registraban las concentraciones de bióxido de azufre (SO_2) y de las partículas suspendidas. A partir de ese momento el esfuerzo e interés por conocer el tipo y la cantidad de los contaminantes emitidos a la atmósfera aumentó, y ya en 1972 se creó la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y se adoptaron las metodologías usadas por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) para realizar el monitoreo de contaminantes (Zuk, *et al.*, 2007; Secretaría del Medio Ambiente, 2002).

Sin embargo, la información recopilada no siempre se publicó de forma sistemática, y es hasta 1986 que se propuso la realización de un inventario de emisiones periódico que permitiera estudiar la producción de contaminantes atmosféricos y la implementación de medidas adecuadas para salvaguardar la salud de los habitantes de la urbe. A raíz de esta iniciativa, en 1989 se realizó el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y diversas secretarías integraron el Programa Integral para el Control de la Contaminación Atmosférica (PICCA). A partir de ese año las autoridades locales y federales que convergen en la zona metropolitana determinaron las políticas ambientales que permitieron realizar el monitoreo y tomar las medidas pertinentes en caso de que se rebasaran las normas establecidas. Desde 1994 los inventarios de emisiones de la ZMVM se publican bienalmente, actualizando el grado de precisión y desagregación de la información (Secretaría del Medio Ambiente, 2002).

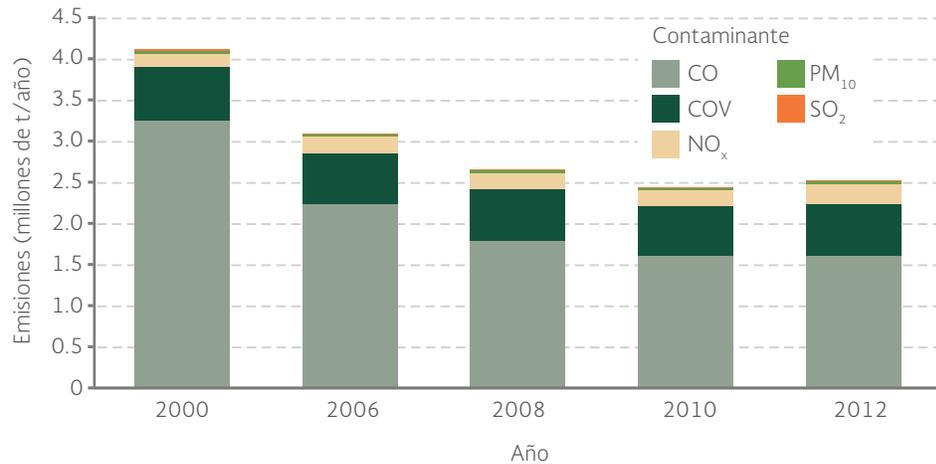
La red de monitoreo de la ZMVM ha crecido significativamente: pasó de cuatro estaciones en 1966 a cubrir la totalidad de las delegaciones que conforman la Ciudad de México y algunos municipios de las entidades vecinas. Hasta el año 2005 la ZMVM estuvo conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 18 municipios del estado de México, después de esa fecha se consideran también 58 municipios del estado de México y uno más que corresponde al estado de Hidalgo (Secretaría del Medio Ambiente, 2008).

A lo largo del tiempo también se han incrementado los contaminantes criterio que se monitorean. Antes de 1998 se generaba información sobre partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos totales (HC) y bióxido de azufre (SO_2), y desde ese año se reportan también las emisiones de bióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). A partir del año 2000 se agregó también el monitoreo de las partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) y amoníaco (NH_3), y en vez de reportar los hidrocarburos totales (HCT) se empezaron a reportar los compuestos orgánicos totales (COT), separando el CH_4 y los compuestos orgánicos volátiles (COV; Secretaría del Medio Ambiente, 2000).

Emisiones

En la ZMVM en el año 2012 se emitieron 2.52 millones de toneladas contaminantes: 1.6 millones de toneladas de CO (es decir, 63.8% del total de contaminantes), 632 748 toneladas de compuestos orgánicos volátiles (COV; 25.13%), 239 132 toneladas de NOx

Figura a | Emisión de contaminantes en la ZMVM, 2000 - 2012



Fuentes:

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010. Contaminantes criterio.* Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2012.
Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México 2012.* Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2013.

(9.5%), 34 677 toneladas de partículas PM₁₀ (1.38%) y 4 867 toneladas de SO₂ (0.19%). Si se compara el volumen total de las emisiones de 2012 con las generadas en 2000 se aprecia una reducción del 39%, sin embargo, entre 2010 y 2012 ocurrió un incremento del 3% en la emisión total de contaminantes (Figura a; Secretaría del Medio Ambiente, 2012, 2013).

Del total de los contaminantes analizados, el CO ha sido, consistentemente, el que más se ha emitido en la zona metropolitana, con valores que han oscilado entre el 79.2 y el 63.8% del total de emisiones generadas (Figura a). No obstante, la emisión de este gas se ha reducido en un 51% en el lapso de 13 años, al pasar de cerca de 3.3 millones de toneladas en 2000 a 1.6 millones en 2012, lo cual ha sido resultado, principalmente, de la incorporación de nuevas tecnologías en los vehículos. A pesar de esta tendencia, entre 2010 y 2012 las emisiones de este gas prácticamente no registraron cambios: su emisión se redujo en 0.06% (990 t; Secretaría del Medio Ambiente, 2012, 2013).

Otro contaminante que ha reducido sus volúmenes de emisión en la ZMVM es el SO₂: pasó de 12 792 a 4 867 toneladas entre 2000 y 2012, lo que significa un decremento del 62%. Esta disminución se debe principalmente a la reducción de azufre en los combustibles y al uso de tecnologías menos contaminantes (Figura a; Secretaría del Medio Ambiente, 2012, 2013).

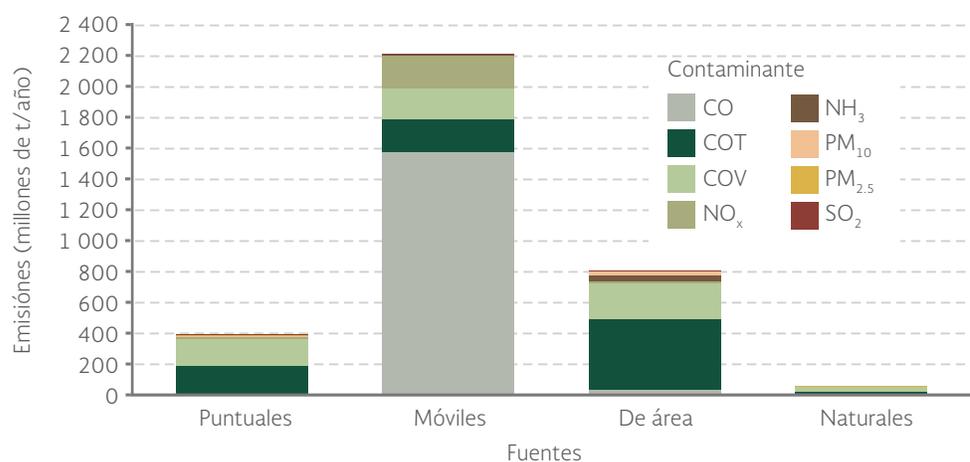
Los COV mostraron un decremento del 2% en su volumen de emisión entre 2000 y 2012, esto es, alrededor de 9 844 toneladas. Sin embargo, en el período comprendido entre 2010 y 2012 sus volúmenes de emisión aumentaron 5% (Figura a). Las partículas PM₁₀ tuvieron un comportamiento

similar: se redujeron entre 2000 y 2012 en alrededor del 1% (alrededor de 279 toneladas) con un incremento en los dos últimos años con medición (2010 y 2012) de 23%, es decir, 6 476 toneladas (Figura a; Secretaría del Medio Ambiente, 2012, 2013).

En lo que se refiere al origen de los contaminantes, en 2012 el 63.8% de las emisiones provino de las fuentes móviles (2.2 millones de toneladas), siendo el CO el contaminante que representó la mayor proporción de las emisiones de este tipo (1.6 millones de toneladas; 46% del total Figura b). Las altas emisiones asociadas a las fuentes móviles se deben a factores como el número de vehículos en circulación, la cantidad de combustible que consumen y las emisiones de vehículos sin tecnologías de control incorporadas (p. ej., en el año 2010, todavía el 11% de los vehículos a gasolina no contaban con sistemas de control de emisiones). En el año 2012, los autos particulares representaban el 58.5% de los vehículos que circulaban en la ZMVM, y también los que producían la mayor cantidad de contaminantes emitidos por fuentes móviles; no obstante, los tractocamiones, aunque menos abundantes (1.5%), contribuyen en gran proporción con las emisiones de partículas PM_{10} , debido a su consumo de diésel (Secretaría del Medio Ambiente, 2013).

A las fuentes móviles le siguieron en importancia las fuentes de área (que emitieron 23.2% del total de los contaminantes de la ZMVM; con 804 548 t), las fuentes puntuales (11.3%; 392 195 t), mientras que las fuentes naturales, las cuales corresponden a la vegetación y suelos, contribuyen con un porcentaje muy reducido de emisiones (1.7% del total, con 59 175 t; Figura b; Secretaría del Medio Ambiente, 2013).

Figura b | Emisión de contaminantes atmosféricos por fuente en la ZMVM, 2012



Nota:

De acuerdo al inventario de 2012, los contaminantes criterio que se monitorean en la ZMVM son: partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, SO_2 , CO, NO_x , COT, COV, NH_3 , Tóxicos, CN y CO_2e .

Fuente:

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México 2012*. Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2013.

Referencias:

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones. Zona Metropolitana del Valle de México 1998*. Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2000.

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones a la atmósfera. Zona Metropolitana del Valle de México 2000*. Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2002.

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México 2006*. Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2008.

Secretaría del Medio Ambiente, GDF. *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2012. Contaminantes criterio*. Secretaría del Medio Ambiente, GDF. México. 2013.

Zuk, M., M.G. Tzintzun y L. Rojas Bracho. *Tercer Almanaque de Datos y Tendencias de la Calidad del Aire en Nueve Ciudades Mexicanas*. Semarnat, INE. México. 2007.

Considerando los resultados del INEM 2008, a nivel nacional se emitieron en ese año alrededor de 59 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales, las fuentes naturales⁵ emitieron 21% y las antropogénicas el 79% restante. En el caso de las emisiones de las fuentes naturales, el 86% correspondió a compuestos orgánicos volátiles provenientes de la vegetación y el restante 14% a óxidos de nitrógeno generados por la actividad microbiana del suelo.

En el caso de las fuentes antropogénicas, puesto que las emisiones se generan en o cerca de ciudades o poblados donde se concentra la población, su análisis cobra mayor relevancia. El mayor volumen emitido provino de las fuentes móviles carreteras⁶ (58%), seguidas por las fuentes de área⁷ (13%), las fuentes fijas⁸ (7%) y las fuentes móviles no carreteras⁹ (1%; Figura 5.1; **IB 1.1-2; Cuadro D3_AIRE01_01_D**).



Los contaminantes emitidos en mayor proporción por fuentes antropogénicas fueron el monóxido de carbono (CO; 33 millones de toneladas; 70% del total), los compuestos orgánicos volátiles (COV; 6.03 millones de toneladas; 13%), los óxidos de nitrógeno (NO_x; 3.2 millones de toneladas; 7%) y el bióxido de azufre (SO₂; 2.2 millones de toneladas; 5%). Al resto de los contaminantes correspondió un porcentaje igual o menor al 2% en todos los casos (Figura 5.2; **IB 1.1-2**).



Los vehículos automotores (clasificados dentro de las fuentes móviles carreteras) generaron, en 2008, la mayor parte de las emisiones antropogénicas (73.3% del total). Este tipo de

⁵ Incluyen fuentes biogénicas como la vegetación y la actividad microbiana del suelo. En 2008 no se reportaron emisiones por actividad volcánica (otra fuente importante de emisiones, aunque intermitente).

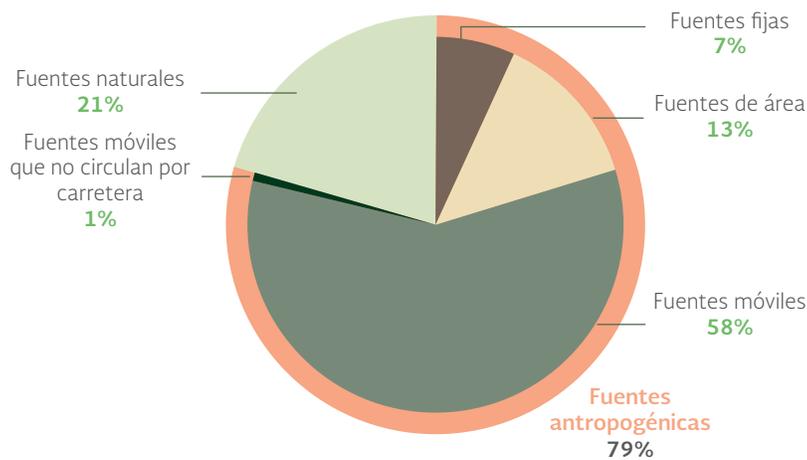
⁶ Incluyen autos particulares (tipo sedán), camionetas Pick-up, vehículos privados y comerciales, autobuses de transporte urbano, tractocamiones, taxis, camionetas de transporte público de pasajeros y motocicletas.

⁷ Incluyen combustión agrícola y doméstica, artes gráficas, asfaltado, lavado en seco, pintado 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 diésel, 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 quemadas agrícolas.

⁸ 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.

⁹ Incluyen aviación, equipo básico en aeropuertos, embarcaciones marinas, locomotoras de arrastre, locomotoras de patio, maquinaria de uso agropecuario y para construcción.

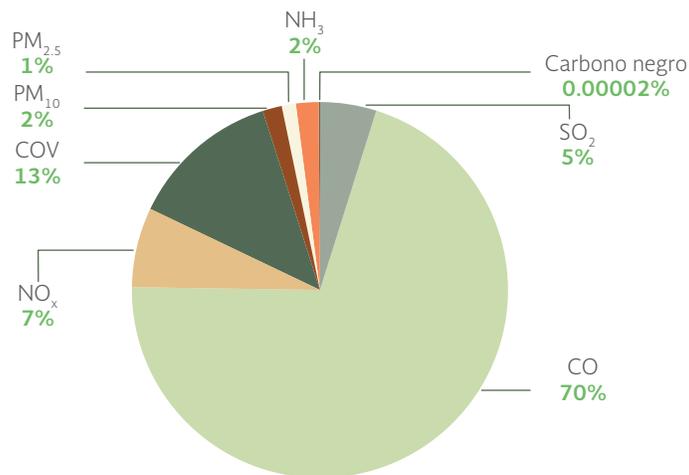
Figura 5.1 | Emisión nacional de contaminantes por fuente, 2008



Fuente: Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

fuentes móviles carreteras emitió principalmente CO (89.6% del CO total emitido por todas las fuentes), NO_x (62.5%) y COV (43.1%; Figura 5.3). Las fuentes de área (17.1% del total de contaminantes de las fuentes antropogénicas) produjeron principalmente CO y COV resultado principalmente de la combustión doméstica. Les siguieron las fuentes fijas (8.6% del total de contaminantes emitidos por fuentes antropogénicas), quienes produjeron la mayor parte del SO₂ en el país (96.9%), principalmente por la generación de energía eléctrica y la industria del petróleo y petroquímica.

Figura 5.2 | Emisión nacional de contaminantes de origen antropogénico por contaminante, 2008



Fuente: Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

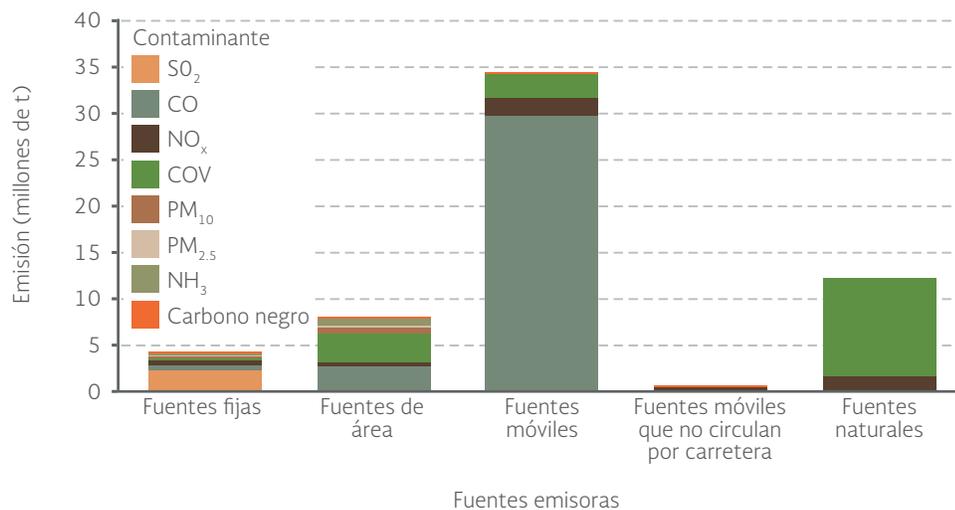
A nivel estatal y considerando el total de emisiones (naturales y antropogénicas), las cinco entidades federativas que emitieron una mayor cantidad de contaminantes fueron Jalisco, Michoacán, Veracruz, Baja California y el estado de México (Figura 5.4). Sus contribuciones oscilaron entre 7.3 y 9.8% del total nacional. En contraste, Tlaxcala, Aguascalientes, Baja California Sur y Querétaro emitieron, cada una, menos del 1%.

Por otro lado, la emisión nacional de contaminantes per cápita¹⁰ en 2008 fue de alrededor de 0.52 toneladas. Si sólo se consideran las emisiones antropogénicas, la cifra se reduce a 0.41 toneladas por habitante. El Mapa 5.1 muestra las emisiones per cápita a nivel municipal.

A nivel municipal, considerando exclusivamente las emisiones antropogénicas, se observa que 72% de los municipios emitieron entre 5 y 10 mil toneladas de contaminantes en 2008, lo que en conjunto significa alrededor de 5 millones de toneladas (11% del total emitido a nivel nacional; Mapa 5.2). Los cinco municipios que generaron mayores cantidades de contaminantes fueron Tijuana (Baja California), Morelia (Michoacán), Mexicali (Baja California), Guadalajara (Jalisco) y Monterrey (Nuevo León) que en total emitieron el 15% nacional.

Con respecto a las emisiones totales por municipio y contaminante, el CO fue generado en mayor cantidad por las fuentes móviles en municipios pertenecientes a ciudades donde el

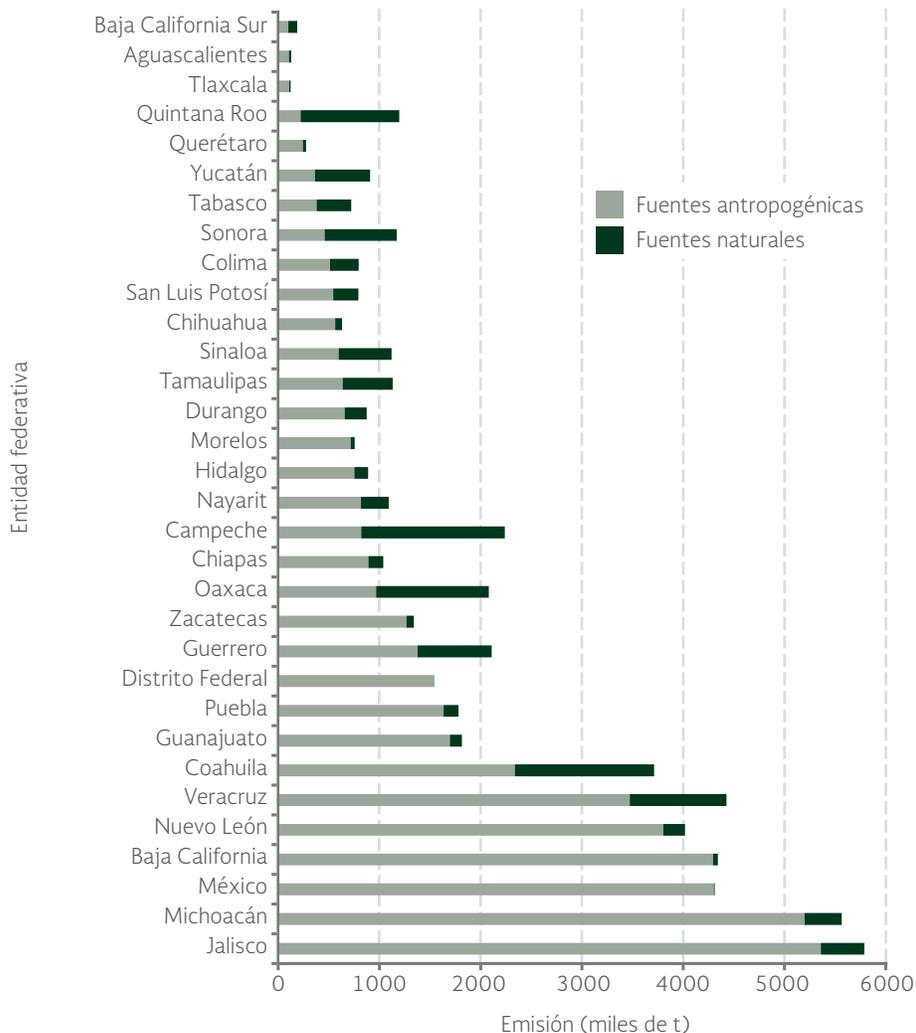
Figura 5.3 | Emisión nacional de contaminantes de origen antropogénico, por fuente y contaminante, 2008



Fuente: Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

¹⁰ La emisión per cápita se calculó con base en los datos del INEM 2008 y la población por municipio del año 2010.

Figura 5.4 | Emisión de contaminantes por entidad federativa, 2008



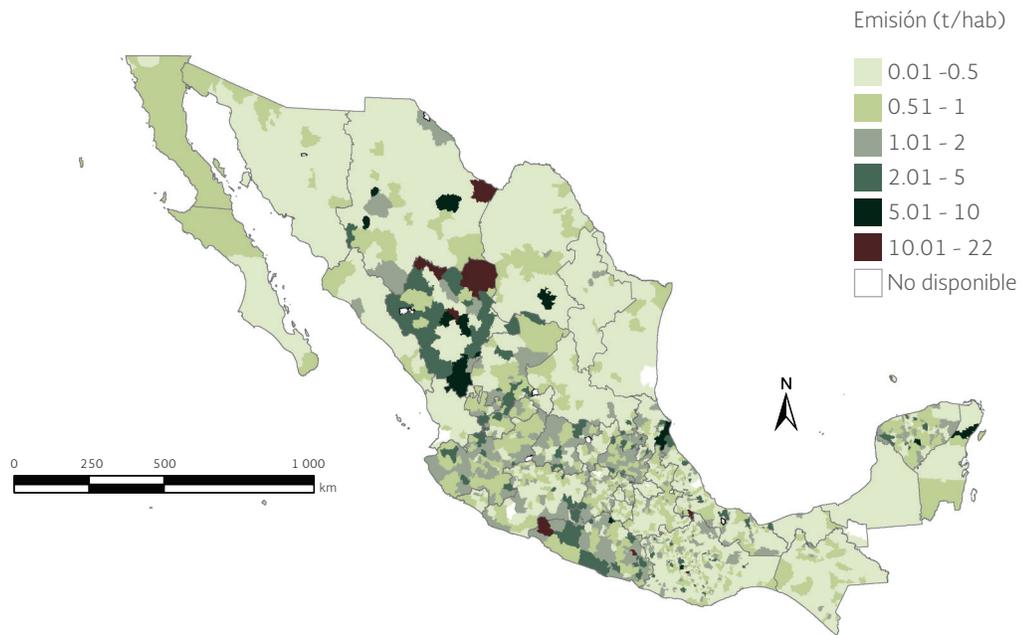
Fuente: Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

número de vehículos es elevado. Los municipios que emitieron más CO fueron Tijuana (Baja California), Morelia (Michoacán), Mexicali (Baja California), Guadalajara (Jalisco), Monterrey (Nuevo León) y Toluca (México; Mapa 5.3).

En el caso de los compuestos orgánicos volátiles (COV), 44% de los municipios generaron cantidades entre las 19 y las 2 mil toneladas, 41% emitió entre 2 mil y 10 mil toneladas, 12.2% entre 10 mil y 40 mil toneladas y 2.1% entre 40 mil y 500 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 produjeron poco más de 2.48 millones de toneladas de COV (equivalentes a 10.9% del total emitido), provenientes principalmente de fuentes naturales¹¹.

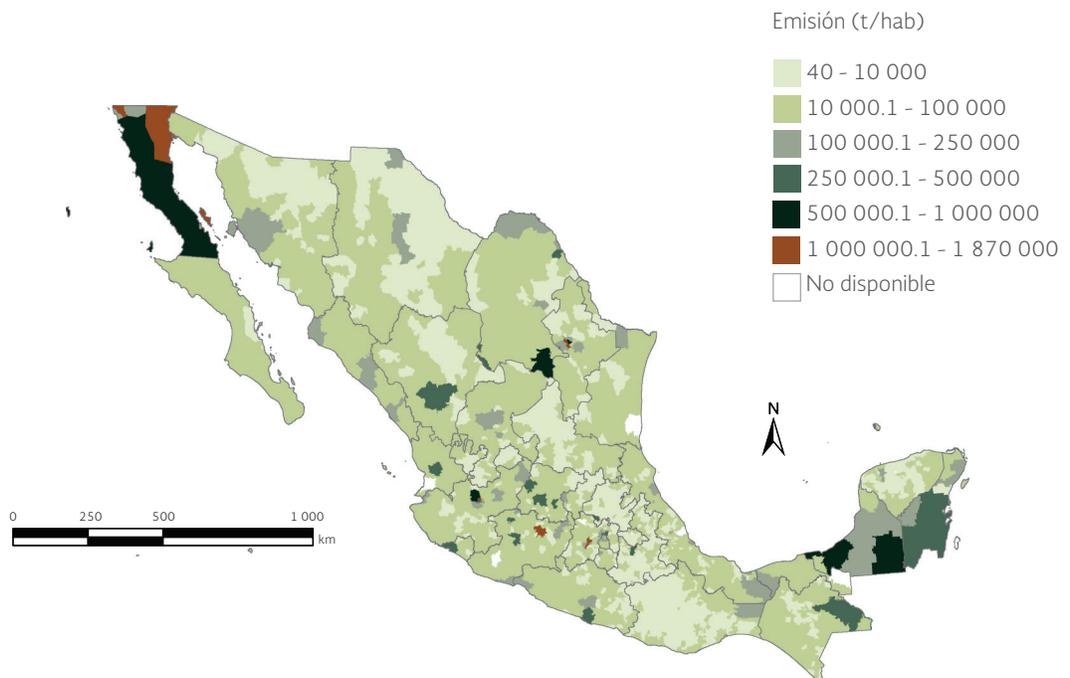
¹¹ Los COV naturales son isoprenos y monoterpenos y pueden ocasionar reacciones de tipo alérgico e incluso lesiones neurológicas graves.

Mapa 5.1 | Emisión per cápita de contaminantes por municipio, 2008



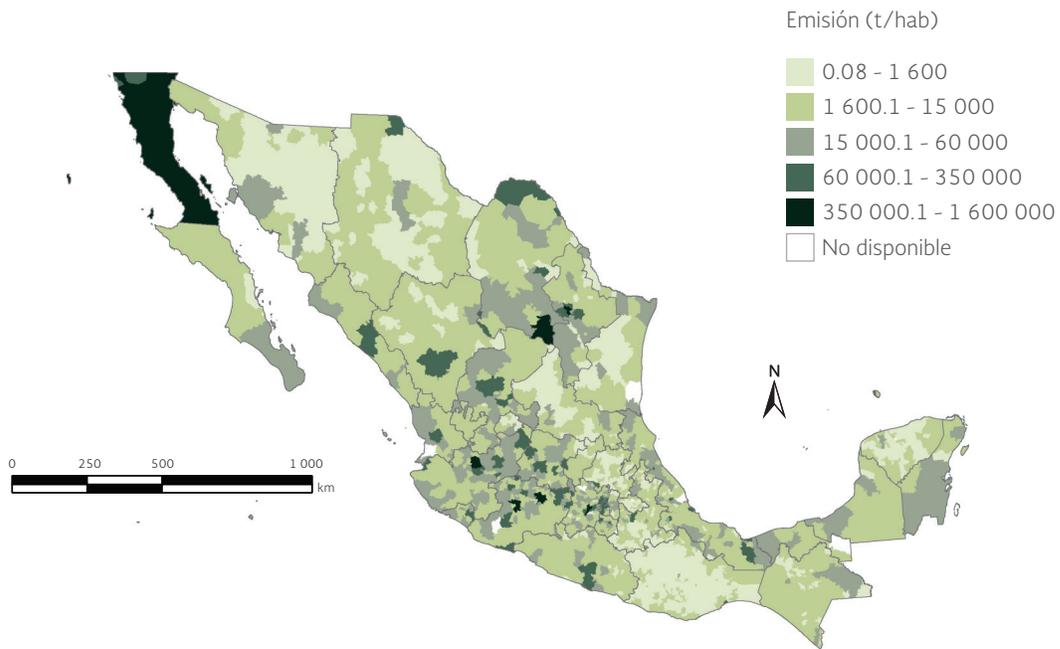
Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.2 | Emisiones antropogénicas totales por municipio, 2008



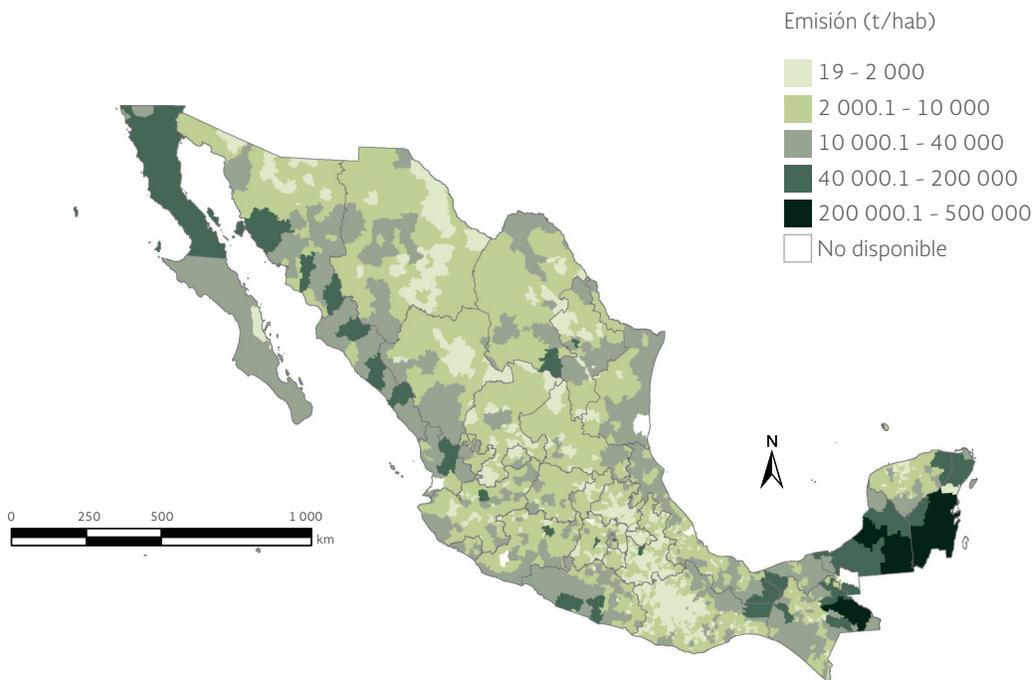
Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.3 | Emisión de monóxido de carbono (CO) por municipio, 2008



Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.4 | Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) por municipio, 2008



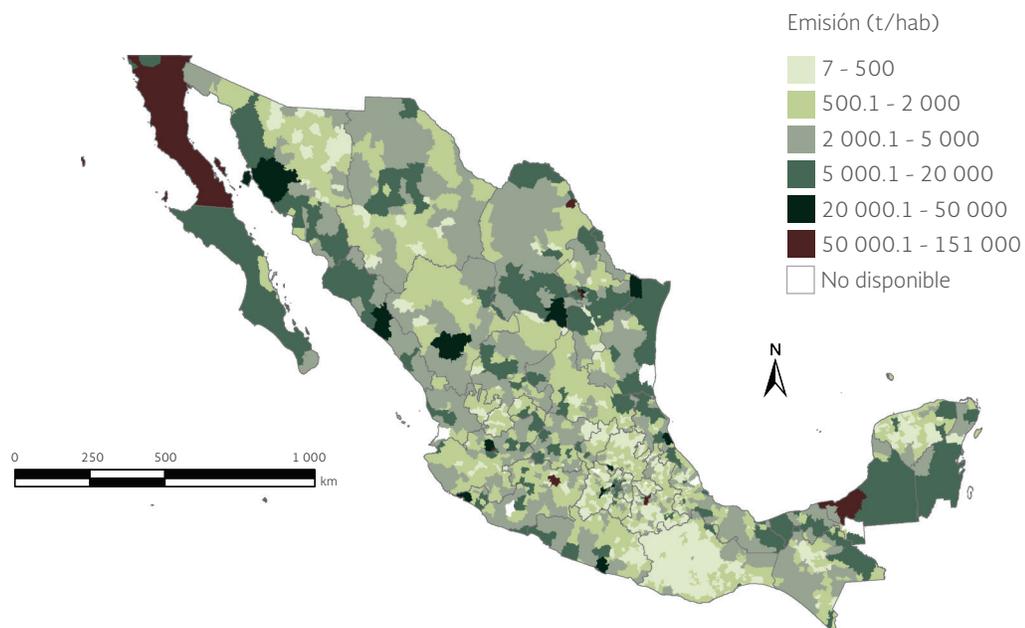
Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

En los óxidos de nitrógeno (NO_x) se observa que en 2008 alrededor del 63% de los municipios del país emitieron entre 7 y 1 000 toneladas, acumulando poco más de 503.9 mil toneladas, las que representaron el 10.3% del total nacional de ese contaminante (Mapa 5.5). Si a estos municipios se suman los que emitieron hasta 10 mil toneladas, se alcanza 56% de las emisiones totales nacionales y el 96% de los municipios del país. De esta manera, el restante 44% de las emisiones de estos óxidos fueron generadas por tan sólo 4% de los municipios. Entre estos últimos destacan los de Nava (Coahuila), Monterrey (Nuevo León), Tijuana y Mexicali (ambos en Baja California) y Puebla (Puebla) con emisiones de entre 60 y 150.2 mil toneladas.

La emisión del 58.4% del bióxido de azufre (SO_2) se concentró en seis municipios: Carmen (Campeche), Tula de Allende (Hidalgo), Nava (Coahuila), Manzanillo (Colima), La Unión Isidoro Montes de Oca (Guerrero) y Salina Cruz (Oaxaca; Mapa 5.6). En todos ellos, la mayor parte de las emisiones las generaron fuentes fijas, en particular las plantas de generación de electricidad y las refinerías de petróleo. La mayoría de los municipios del país (87%) emitió entre 0.02 y 60 toneladas de SO_2 , lo que representa el 0.9% del total.

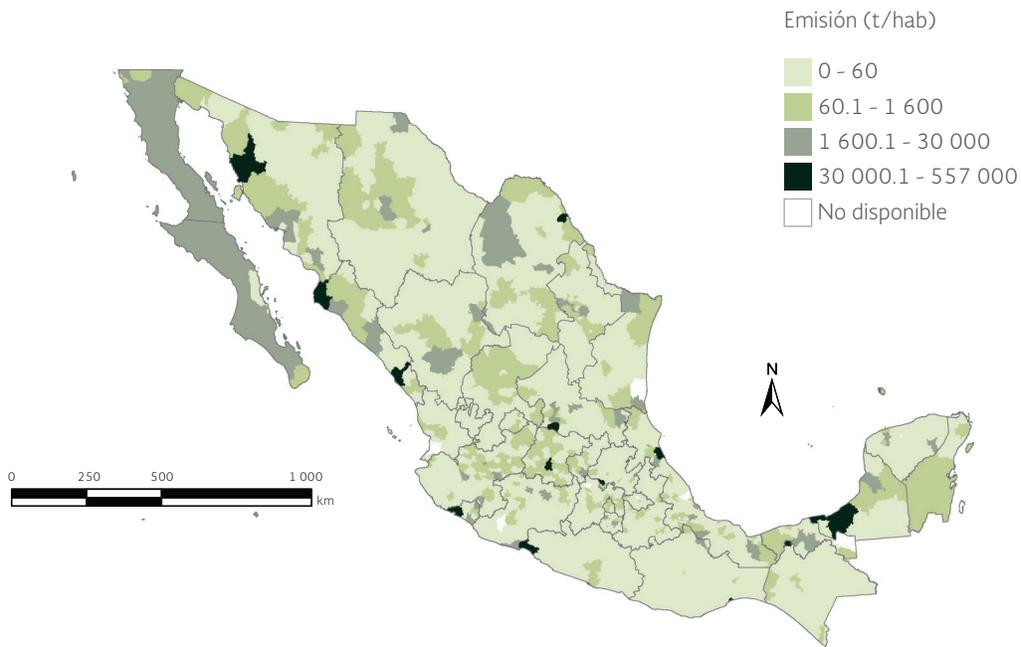
En lo que se refiere a las partículas menores a 10 micras (PM_{10}), el 96% de los municipios del país emitieron entre 0.14 y 1 600 toneladas, lo que representa en conjunto el 62% de la emisión total del contaminante (Mapa 5.7). Los cinco municipios con mayores emisiones de PM_{10} fueron Nava (Coahuila), Tula de Allende (Hidalgo), La Unión de Isidoro Montes de Oca (Guerrero), Ciudad Valles (San Luis Potosí) y Tuxpan (Veracruz). Respecto a la emisión de $\text{PM}_{2.5}$, el 98% de los municipios emitieron entre una y 1 600 toneladas, contabilizando el

Mapa 5.5 | Emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) por municipio, 2008



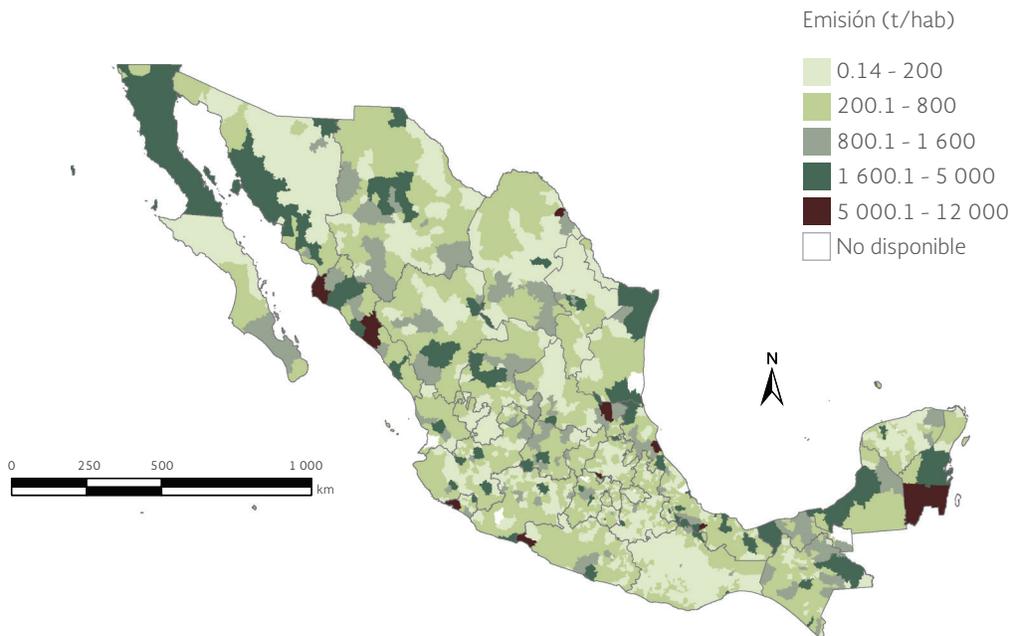
Fuente: Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.6 | Emisión de bióxido de azufre (SO₂) por municipio, 2008



Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013

Mapa 5.7 | Emisión de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) por municipio, 2008



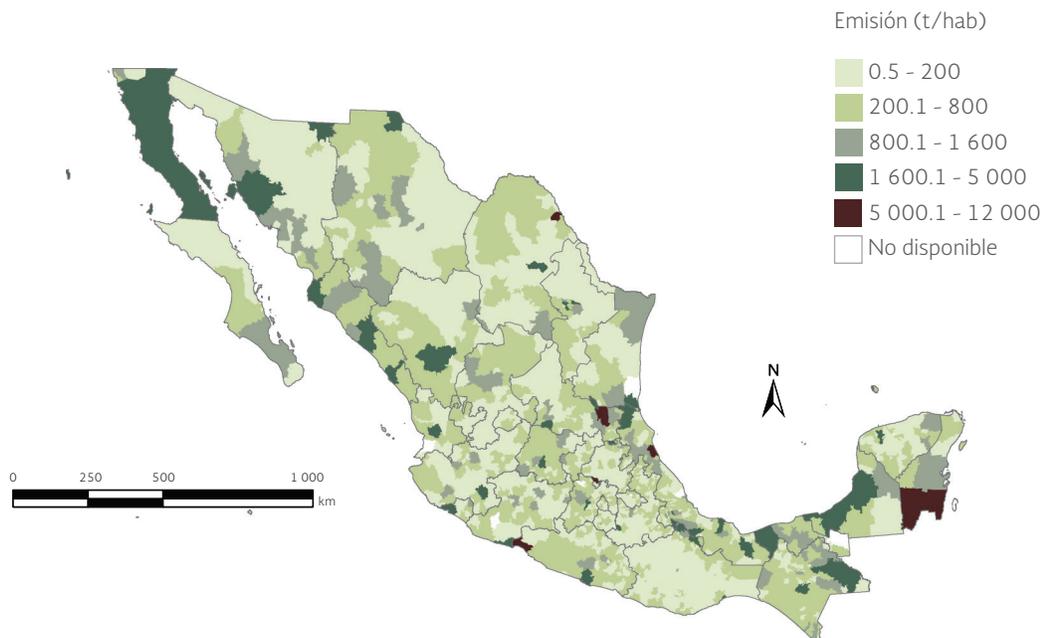
Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

74% del total emitido (Mapa 5.8). Los cinco municipios que emitieron el mayor volumen de este contaminante fueron Nava (Coahuila), La Unión de Isidoro Montes de Oca (Guerrero), Tula de Allende (Hidalgo), Tuxpan (Veracruz) y Othón P. Blanco (Quintana Roo). Ambos tipos de partículas fueron generados principalmente por las fuentes fijas y de área, destacando por su influencia los municipios en donde se localizan las centrales termo y carboeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad.

El amoniaco (NH_3) es un residuo de las actividades ganaderas. El 96% de los municipios produjeron entre 50 kilogramos y 1 600 toneladas, acumulando en conjunto poco más de 593 mil toneladas (esto es, el 69% del total de NH_3 emitido; Mapa 5.9). Los cinco municipios con las mayores emisiones fueron Mexicali (Baja California), Hermosillo (Sonora), Lagos de Moreno (Jalisco), Calihualá (Oaxaca) y Culiacán (Sinaloa), que emitieron entre 6 500 y 10 500 toneladas.

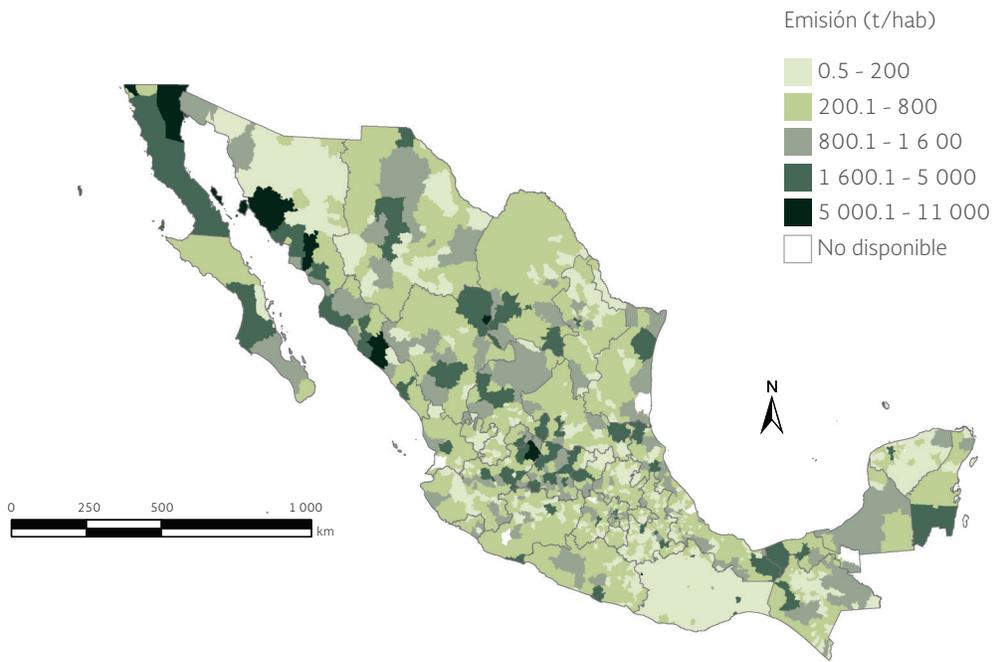
El carbono negro (CN) es producto de la quema incompleta de combustibles; principalmente lo emite el transporte que consume diésel. El 86% de los municipios emitieron entre una y 50 toneladas, acumulando cerca de 30 mil toneladas, lo que representa 38% de la emisión total de este contaminante (Mapa 5.10). Los municipios que emitieron más carbono negro fueron Ciudad Valles (San Luis Potosí), Cosamaloapan (Veracruz), Othón P. Blanco (Quintana Roo), Ahome (Sinaloa) y Tezonapa (Veracruz). Para mayores detalles sobre este contaminante, consultar el recuadro [El carbono negro y la salud](#).

Mapa 5.8 | Emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) por municipio, 2008



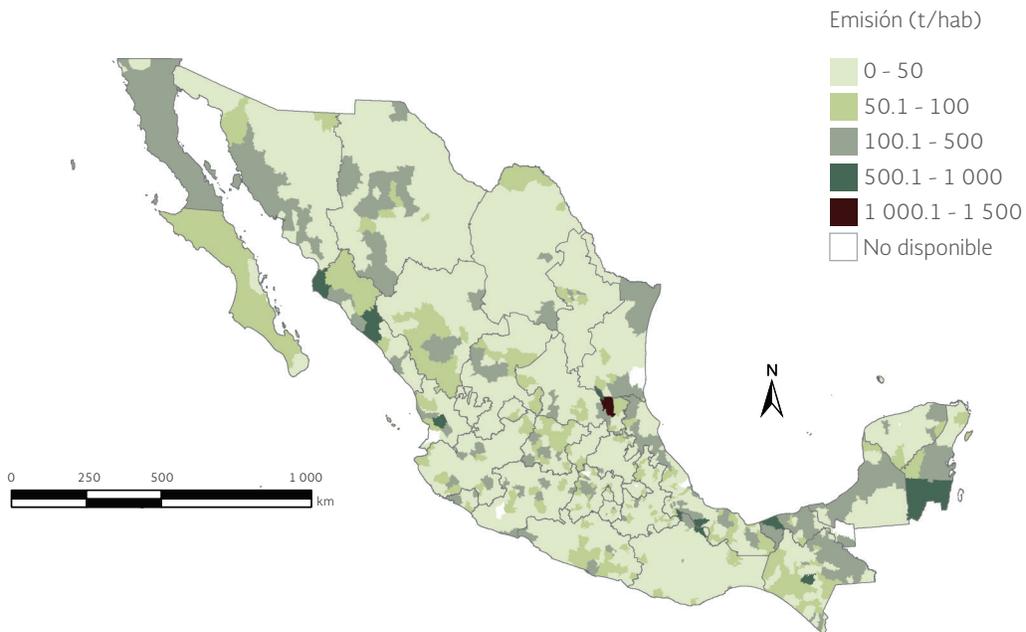
Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.9 | Emisión de amoníaco (NH_3) por municipio, 2008



Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013.

Mapa 5.10 | Emisión de carbono negro (CN) por municipio, 2008



Fuente:
Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. Semarnat. México. 2013

Recuadro | El carbono negro y la salud

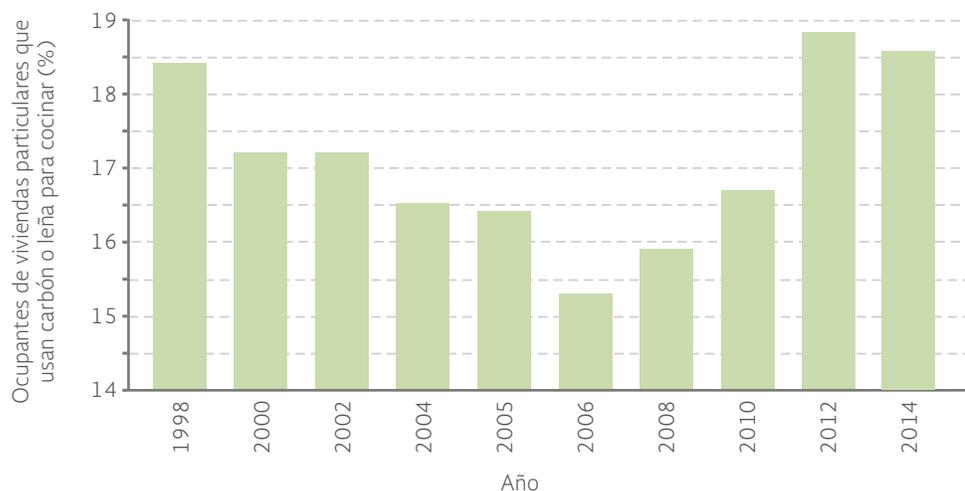
El carbono negro (CN) forma parte de los llamados contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), entre los que se encuentran también el metano (CH_4), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Está formado por pequeñas esferas de carbón de unas cuantas micras rodeadas por lo general de compuestos orgánicos y pequeñas cantidades de nitratos y sulfatos (Tollefson, 2009; Bond *et al.* 2013). Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles como el diésel y el combustóleo, así como por la quema de leña y otros tipos de biomasa (Molina *et al.*, 2009; Tollefson, 2009; Bond *et al.*, 2013). Tiene un tiempo de vida en la atmósfera de apenas unos días o semanas, es decir, menor al del bióxido de carbono (CO_2 ; Tollefson, 2009).

Aun cuando el mayor interés sobre el CN se ha centrado en su efecto en el aumento de la temperatura global (ver el recuadro **La importancia del carbono negro en el calentamiento global** en la sección de **Cambio climático** en este capítulo), sus consecuencias negativas sobre la salud también están causando gran preocupación. La asociación del CN con ciertos padecimientos se centra principalmente en las partículas suspendidas con diámetros menores de $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$). Estas partículas, además de producirse por la combustión de combustibles fósiles, también se generan en los hogares por la quema de biocombustibles (por ejemplo, leña) empleados para cocinar o para calefacción. A diferencia de las partículas PM_{10} , el reducido tamaño de las $\text{PM}_{2.5}$ les permite alcanzar zonas más profundas del sistema respiratorio, como la región bronquial, aumentando la incidencia de afecciones como accidentes cerebrovasculares, diversas enfermedades del corazón y cáncer de pulmón, como las más frecuentes, además de que podrían provocar muerte prematura (Janssen *et al.*, 2012; WHO, 2015).

Según las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de 4.3 millones de muertes prematuras en 2012 pudieron originarse por la exposición a partículas $\text{PM}_{2.5}$. Se considera que la población mayormente afectada por la exposición a las partículas más pequeñas del CN a nivel global son las mujeres (con una exposición promedio anual de $337 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y los niños ($285 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los hombres se ven expuestos a concentraciones relativamente menores ($204 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos niveles son más de 20 veces mayores que los recomendados por la OMS como promedio anual ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$; WHO, 2015). Se ha identificado que, por lo general, los sectores de la población con ingresos bajos y medios son los más vulnerables a la exposición de CN debido a su dependencia de los biocombustibles para cocinar o calentar las viviendas. En el caso de México, en el año 2014, aproximadamente el 18.6% de la población utilizaba carbón o leña para cocinar y, por consiguiente, se encontraba en riesgo de padecer enfermedades derivadas de la exposición al CN (Figura a).

Como parte de las acciones encaminadas a reducir los problemas de salud derivados del deterioro de la calidad del aire, en particular por efecto del CN, y también con la finalidad de reducir la emisión de compuestos de efecto invernadero que exacerban en calentamiento global, p. ej., México se ha

Figura a | Proporción de la población que utiliza combustibles sólidos en México, 1998 - 2014



Fuente:

Presidencia de la República e INEGI. Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, con datos de: CONEVAL con información de INEGI. ENIGH varios años. Disponible en: www.objetivosdesarrollodelmilenio.org.mx/. Fecha de consulta: octubre de 2014.

comprometido recientemente, de manera no condicionada, a reducir para el año 2030 en 51% sus emisiones de CN. Esta reducción se podría incrementar, de manera condicionada, hasta un 70%. Para cumplir esta última meta es necesario adoptar mecanismos de mercado y acuerdos a nivel global que comprendan acciones tales como asignar precio al carbono internacional, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnología (Semarnat, 2015).

Referencias:

Bond, T.C., S.J. Doherty y D.W. Fahey, *et al.* Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (118): 5380-5552. 2013. Disponible en: [doi:10.1002/jgrd.50171](https://doi.org/10.1002/jgrd.50171).

DOF. *Programa Especial de Cambio Climático 2014–2018*. Diario Oficial de la Federación. México. 2014 (28 de abril).

INECC. *Inventario de Gases y compuestos de Efecto Invernadero*. INECC. 2015. Disponible en: www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_inv_nal_emis_gei_result.pdf. Fecha de consulta: marzo de 2016.

Janssen, N.A.H., M.E. Gerlofs-Nijland, T. Lanki, R.O. Salonen, F. Cassee, G. Hoek, P. Fischer, B. Brunekreef y M. Krzyzanowski. *Health effects of black carbon*. WHO. Dinamarca. 2012.

Molina, M., D. Zaelke, K.M. Sarmac, S.O. Andersend, V. Ramanathane y D. Kaniaruf. Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (106)49: 20616-20621. 2009.

Semarnat. *Intended Nationally Determined Contribution. iNDC*. Semarnat. México. 2015. Disponible en: www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf. Fecha de consulta: julio de 2016.

Tollefson, J. Atmospheric Sciences: Climate's smoky spectre. *Nature* 460: 29-32. 2009.

WHO. *Reducing Global Health Risks Through Mitigation of Short-Lived Climate Pollutants*. Scoping. Report For Policy-makers. Switzerland. 2015.

MONITOREO Y CALIDAD DEL AIRE

Redes de monitoreo existentes en el país

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire permiten conocer las concentraciones de contaminantes a las que está expuesta la sociedad. Con el crecimiento de la población también crece la demanda de servicios como transporte, agua, electricidad y su infraestructura asociada, así como la generación de residuos y la emisión y concentración de contaminantes en la atmósfera (Lezama, 2010). En este contexto, la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 establece la instalación y operación de unidades de monitoreo en las zonas o centros de población que cuenten con alguna de las siguientes condiciones: asentamientos humanos con más de 500 mil habitantes, zonas metropolitanas, asentamientos humanos con emisiones superiores a 20 mil toneladas anuales de contaminantes criterio primarios a la atmósfera, conurbaciones y actividad industrial que por sus características requiera del establecimiento de estaciones de monitoreo de calidad del aire y/o de muestreo de contaminantes atmosféricos (DOF, 2012).

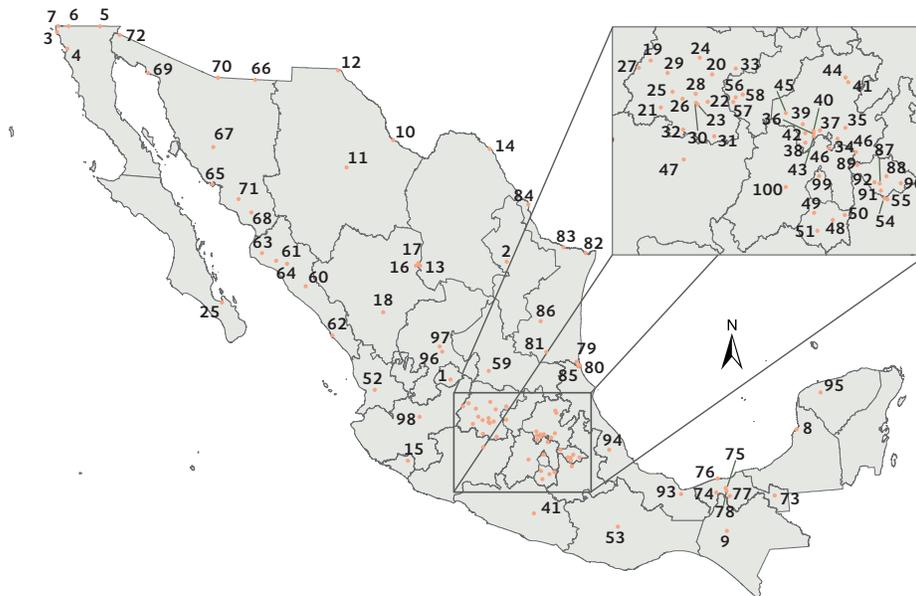
En México se han establecido estaciones y redes de monitoreo atmosférico en sitios que van desde ciudades y zonas metropolitanas, hasta localidades donde existe una intensa actividad industrial. Hasta 2015, el país contaba con equipos instalados para la medición de contaminantes atmosféricos en 29 estados de la república, con un total de 243 estaciones de monitoreo (Mapa 5.11); sin embargo, existían también tres localidades con más de 500 mil habitantes que no contaban con estos sistemas. Es importante resaltar que no todas las ciudades que cuentan con sistemas de monitoreo poseen datos suficientes ni confiables que permitan examinar la evolución de las concentraciones de contaminantes y por tanto, la calidad del aire en periodos largos de tiempo. Dado lo anterior, en las siguientes secciones se muestran las tendencias en la calidad del aire sólo para aquellas ciudades o zonas metropolitanas del país que cuentan con información adecuada para hacerlo.

La red de monitoreo más grande del país se localiza en ZMVM, que cuenta con 28 estaciones de monitoreo automático y 11 manuales. La red registra, entre otras variables, las concentraciones de O_3 , CO , SO_2 , NO_2 , PM_{10} y $PM_{2.5}$, considerados como contaminantes criterio. Debido a que la concentración de plomo ha disminuido significativamente en la ZMVM y se considera bajo control, no se incluyó en este reporte (INECC y Semarnat, 2014).

Otros ejemplos de ciudades con monitoreo que cuentan con datos desde mediados de los años noventa son Guadalajara, Monterrey, Toluca y ciudades fronterizas como Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez. 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 Naturales¹². En el Mapa 5.12 se muestra el cumplimiento de las normas de calidad del aire en varias ciudades que realizan monitoreo ambiental.

¹² Puede consultarse en la sección de Atmósfera de la Base de Datos en la dirección electrónica: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html?De=BADESNIARN.

Mapa 5.11 | Zonas metropolitanas o poblaciones con equipos instalados para el monitoreo de la calidad del aire, 2015



Zona metropolitana o población

1 Aguascalientes	27 San Francisco del Rincón	53 Oaxaca de Juárez	79 Altamira
2 AMM	28 Juventino Rosas	54 Cautlancingo	80 Ciudad Madero
3 Playas de Rosarito	29 Silao	55 Puebla	81 El Mante
4 Ensenada	30 Villagrán	56 Querétaro	82 Matamoros
5 Mexicali	31 Acámbaro	57 Corregidora	83 Reynosa
6 Tecate	32 Moroleón	58 El Marqués	84 Nuevo Laredo
7 Tijuana	33 San José Iturbide	59 San Luis Potosí	85 Tampico
8 Campeche	34 Zapotlán de Juárez	60 Culiacán	86 Ciudad Victoria
9 Tuxtla Gutiérrez	35 Pachuca de Soto	61 Guasave	87 Tlaxcala
10 Ojinaga	36 Atitalaquia	62 Mazatlán	88 Apizaco
11 Chihuahua	37 Ajacuba	63 Ahome	89 Calpulalpan
12 Juárez	38 Tepeji del Río de Ocampo	64 Salvador Alvarado	90 Huamantla
13 Torreón	39 Tepetitlán	65 Guaymas	91 Santa Cruz Quilehtla
14 Acuña	40 Tlaxcoapan	66 Agua Prieta	92 Ixtacuixtla de Mariano Matamoros
15 Villa de Álvarez	41 Xochicoatlán	67 Hermosillo	93 Minatitlán
16 Lerdo	42 Tula de Allende	68 Navojoa	94 Xalapa
17 Gómez Palacio	43 Atotonilco de Tula	69 Puerto Peñasco	95 Mérida
18 Durango	44 Lolotla	70 Nogales	96 Guadalupe
19 León	45 Huichapan	71 Cajeme	97 Zacatecas
20 San Miguel de Allende	46 Tepeapulco	72 San Luis Río Colorado	98 ZMG
21 Abasolo	47 Morelia	73 Balancán	99 ZMVM
22 Celaya	48 Cuautla	74 Huimanguillo	100 ZMVT
23 Cortazar	49 Cuernavaca	75 Nacajuca	
24 Dolores Hidalgo	50 Ocuilco	76 Paraíso	
25 Irapuato	51 Zacatepec de Hidalgo	77 Teapa	
26 Salamanca	52 Tepic	78 Centro	

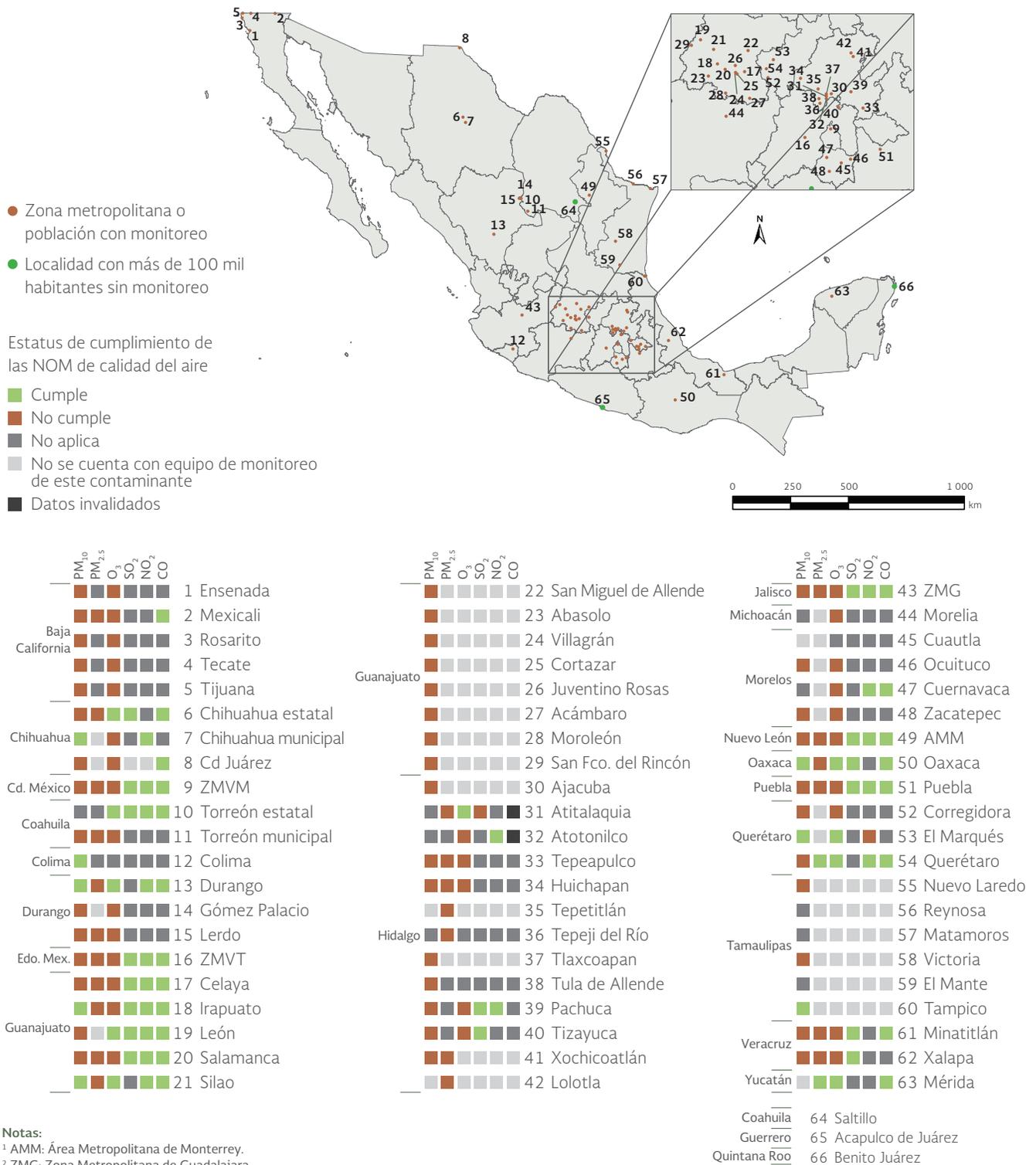
Nota:

¹ Datos a octubre de 2015.

Fuente:

Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire y los Contaminantes de Vida Corta, INECC, México. Datos a octubre de 2015.

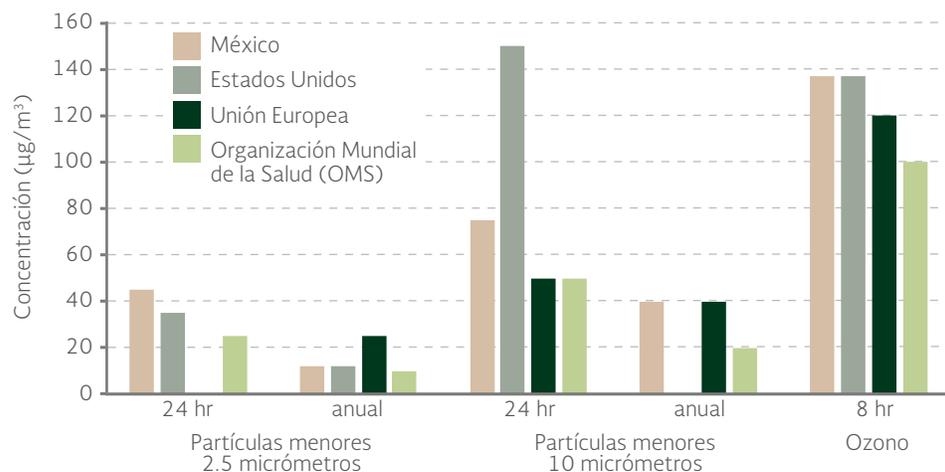
Mapa 5.12 | Cumplimiento de la normatividad de calidad del aire en zonas metropolitanas o poblaciones en México, 2014



Notas:
¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
³ ZMMV: Zona Metropolitana del Valle de México.
⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente: INECC y Semarnat. *Informe Nacional de Calidad del Aire 2014, México.* INECC, Semarnat. México. 2015.

Figura 5.5 | Límites máximos recomendados de algunos contaminantes



Fuentes:

European Commission. *Environment*. Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. Fecha de consulta: julio de 2016.
 OMS. *Calidad del aire (exterior) y salud*. OMS. Disponible en: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/. Fecha de consulta: julio de 2016.
 US Environmental Protection Agency. *Criteria Air pollutants*. Disponible en: www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table. Fecha de consulta: julio de 2016.
 PM_{2.5}: Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. No exceder 45 µg/m³ como promedio de 24 horas y no exceder de 12 µg/m³ como promedio anual.
 PM₁₀: Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. No exceder 75 µg/m³ como promedio de 24 horas y no exceder de 40 µg/m³ como promedio anual.
 O₃: Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014. No exceder 0.070 ppm (137 µg/m³) como promedio móvil de 8 h.
 CO: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. No exceder 11 ppm (12 595 µg/m³) en promedio móvil de 8 horas una vez al año.
 NO₂: Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993. No exceder 0.21 ppm (395 µg/m³) en una hora una vez al año.
 SO₂: Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010. No exceder 0.110 ppm (288 µg/m³) promedio en 24 horas una vez al año.

Derivado de los problemas de la contaminación del aire y de sus efectos sobre la salud de las poblaciones, se han establecido normas que establecen las concentraciones máximas de contaminantes que no deben sobrepasarse en un periodo definido. Nuestro país ha tenido avances y mejoras significativas en la definición de sus normas de calidad del aire para la protección a la salud desde su primera publicación, en 1994, hasta la fecha. No obstante, nuestros límites de concentración aún se encuentran por arriba de los recomendados por la OMS, la Unión Europea y, en algunos casos, respecto a Estados Unidos (Figura 5.5). Las normas oficiales mexicanas tienen como objetivo principal proteger la salud de la población, incluyendo a los grupos más susceptibles (**Cuadro D3_R_AIRE01_03**) y son expedidas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación. Por su parte, la Semarnat es responsable de las normas que establecen los procedimientos para la medición y calibración del equipo empleado para determinar las concentraciones de los contaminantes, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera y las especificaciones de los combustibles que se utilizan.

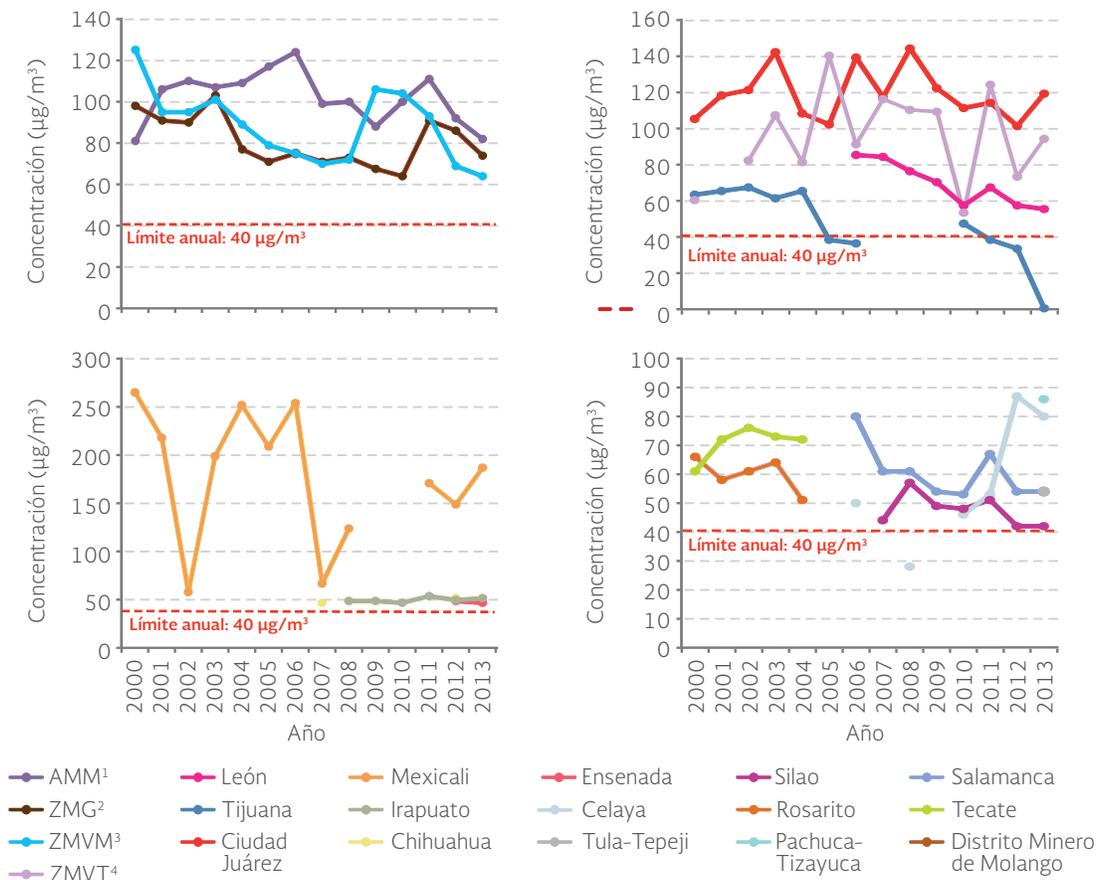
Calidad del aire en algunas ciudades

La calidad del aire en una zona determinada puede analizarse de distintas maneras, ya sea a través de la concentración de contaminantes, de los días en los que se rebasan los límites definidos por las normas para proteger la salud o a través de índices de calidad del aire. La evaluación de las concentraciones de contaminantes junto con el número de días en los que se exceden los valores establecidos en las normas permite obtener una aproximación a la dinámica temporal de la calidad del aire y con ello es posible evaluar la efectividad de las acciones implementadas para controlar la contaminación atmosférica.

La generación de indicadores de calidad del aire es un proceso complejo que involucra la recopilación, validación, integración y análisis de un gran volumen de datos de diversos contaminantes, en diferentes estaciones de monitoreo y en ciudades distintas. Por ello, aunque existe información histórica para todos los contaminantes criterio, por el momento los datos actualizados de calidad del aire sólo incluyen cuatro contaminantes: PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2 .

En el caso de las PM_{10} , el límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sólo se cumple para algunos años en Tijuana y en Celaya; el resto de las ciudades registra valores por encima del límite promedio anual (Figura 5.6). Las concentraciones más elevadas en 2013 se registraron en Mexicali ($187 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Ciudad Juárez ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT, $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

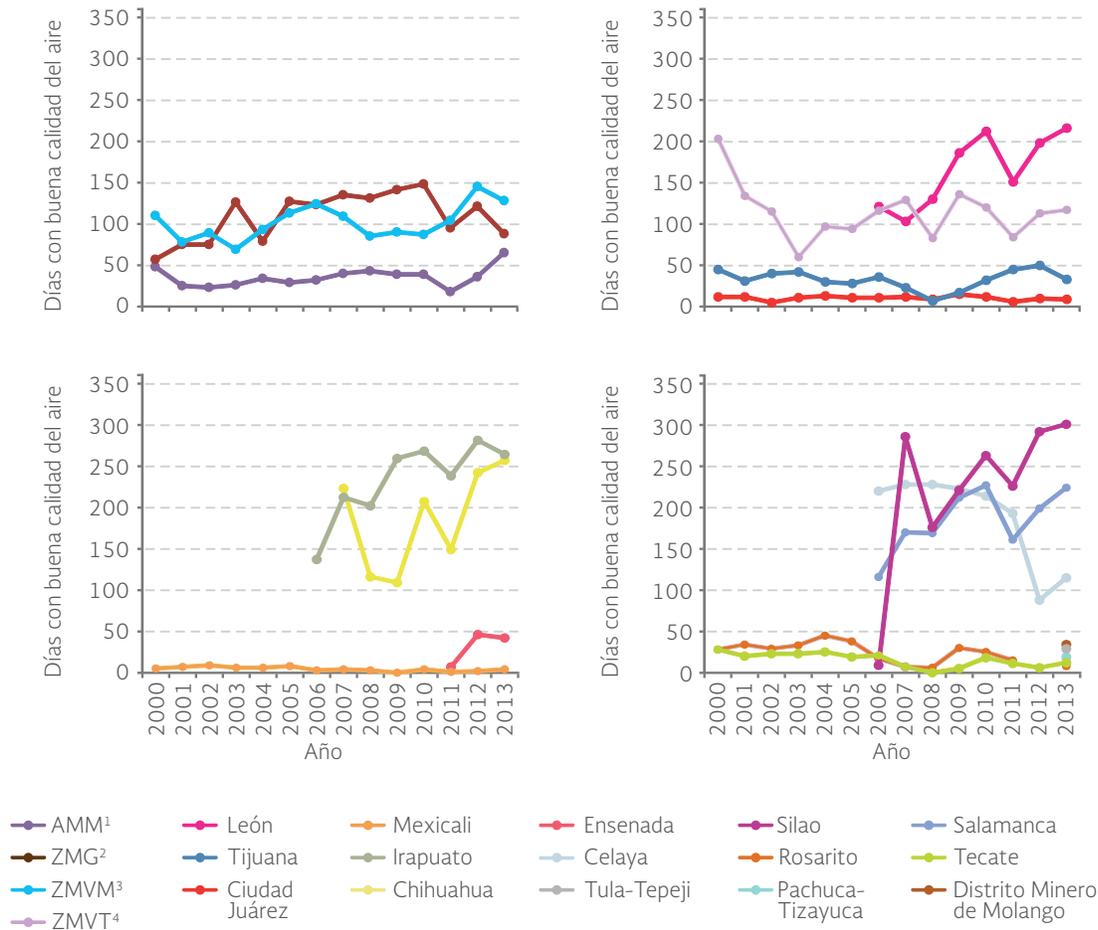
Figura 5.6 | Concentración anual de PM_{10} (promedio anual de los promedios de 24 horas), 2000 - 2013



Notas:
¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
³ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
 Estimados a partir de muestreos manuales: Ciudad Juárez, DMM, Ensenada, Mexicali, Pachuca-Tizayuca, Rosarito, Tecate, Tijuana, Tula-Tepeji, ZMVM. Las ciudades de Durango (Durango), Gómez Palacio (Durango) y Puebla (Puebla) no se incluyen porque no cuentan con datos recientes.

Fuente: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Julio de 2016.

Figura 5.7 | Número de días con buena calidad del aire, PM_{10} , 2000 - 2013



Notas:

¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.

² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.

³ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

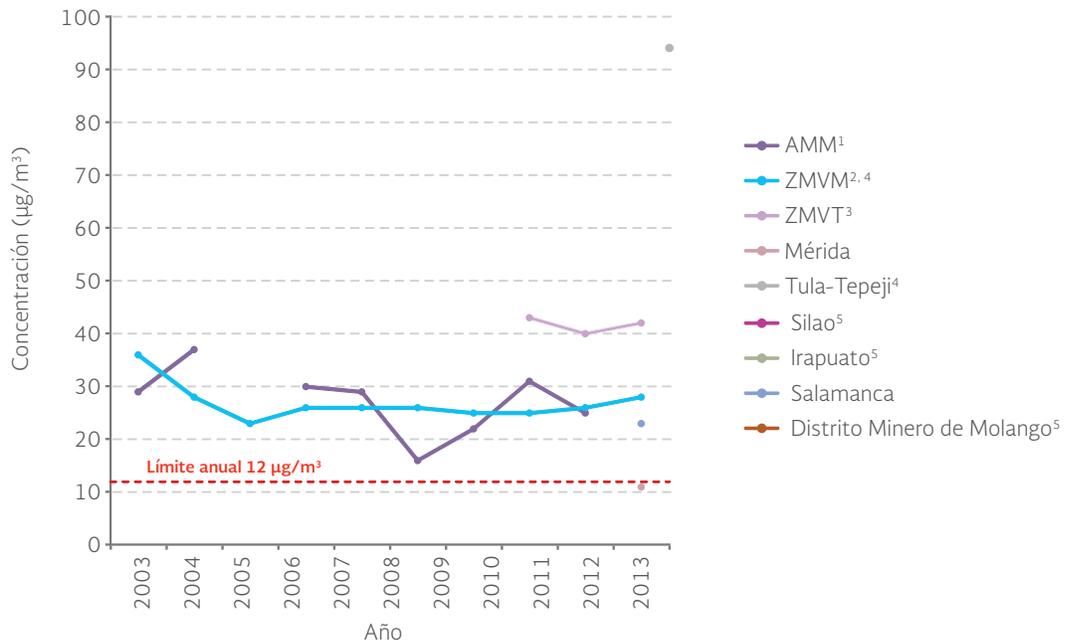
Estimados a partir de muestreos manuales: Ciudad Juárez, DMM, Ensenada, Mexicali, Pachuca-Tizayuca, Rosarito, Tecate, Tijuana, Tula-Tepeji.

Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Julio de 2016.

El análisis también puede hacerse evaluando el número de días con buena calidad del aire con base en el cumplimiento de las normas. En el caso de las PM_{10} , el número de días con buena calidad se calcula a partir de la concentración máxima del día de todas las estaciones de monitoreo de una ciudad o zona metropolitana. En el año 2013, las cinco ciudades con el mayor número de días con buena calidad del aire considerando este contaminante fueron Silao (301 días), Irapuato (264), Chihuahua (257), Salamanca (224) y León (216; Figura 5.7). En el mismo año, las cinco ciudades con menos días con buena calidad del aire fueron Mexicali (4 días), Rosarito (8), Ciudad Juárez (9), Tecate (12) y Pachuca-Tizayuca (19 días).

Figura 5.8 | Concentración anual de $PM_{2.5}$ (promedio anual de los promedios de 24 horas), 2003 - 2013



Notas:

- ¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
- ² ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- ³ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
- ⁴ Estimados a partir de muestreos manuales.
- ⁵ No se dispone de datos para estas localidades.

Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Julio de 2016.

Respecto a las $PM_{2.5}$, existen pocas ciudades en las que se esté monitoreando este contaminante. El registro más completo corresponde a la ZMVM y el AMM. Sin embargo, cada vez más ciudades se incorporan al registro de este tipo de partículas. El límite anual permitido por la norma son $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en 2013, de las ciudades que realizan su monitoreo, sólo la concentración anual en Mérida estuvo por debajo de la permitida ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Figura 5.8). En ese mismo año, varias ciudades presentaron valores por arriba del límite permitido: Salamanca ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la ZMVM ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la ZMVT ($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los datos generados por el AMM, Irapuato, Silao y el DMM no cumplieron con los criterios de suficiencia que permitieran valorar adecuadamente la calidad del aire en esas ciudades. El caso más severo de contaminación del aire con partículas $PM_{2.5}$ ocurre en Tula-Tepeji, en donde el INECC sugiere que la elevada concentración registrada en 2013 ($94 \mu\text{g}/\text{m}^3$) puede deberse tanto a las características climatológicas como a la actividad industrial (cementería y de cal, así como de explotación de bancos pétreos) que se registra en la zona.

Respecto a los días con buena calidad del aire por $PM_{2.5}$, un sitio cumple con la norma cuando el promedio anual de los valores diarios es menor o igual que $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las dos ciudades con el

monitoreo más prolongado de este contaminante son el AMM y la ZMVM; en ambas, la calidad del aire se ha comportado de manera errática a lo largo de los años, sin embargo, puede observarse cierta tendencia a un mayor número de días con buena calidad. A pesar de esta tendencia, en 2013 el número de días que la calidad del aire de este contaminante estuvo por debajo del valor de la norma fue menor en ambas áreas metropolitanas con respecto al año anterior (Figura 5.9). Para el resto de las ciudades, la poca información existente limita la evaluación de las tendencias; sin embargo, en 2013, de todas las ciudades con monitoreo, sólo el DMM y Tula-Tepeji reportaron menos de 30 días con buena calidad del aire (25 y 2 días, respectivamente).

El ozono afecta la calidad del aire en varias ciudades. La norma NOM-020-SSA1-2014 establece los límites permisibles de concentración de ozono anual en $0.070 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio móvil de ocho horas. Tijuana, Rosarito y las zonas metropolitanas AMM, ZMG, ZMVM y ZMVT son las que han monitoreado este contaminante clave durante periodos más prolongados de tiempo. Desde 2000 a 2013, el comportamiento de la concentración de O_3 en todas estas ciudades ha sido errático, pero en el caso de Tijuana, Rosarito y la ZMVM puede hablarse de un descenso progresivo en la concentración a lo largo del tiempo. En 2013, el límite anual de la concentración de ozono sólo se cumplió en Ciudad Juárez, Mérida, Chihuahua y Celaya (Figura 5.10).

Figura 5.9 | Número de días con buena calidad del aire, $\text{PM}_{2.5}$, 2003 - 2013



Notas:

¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.

² ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

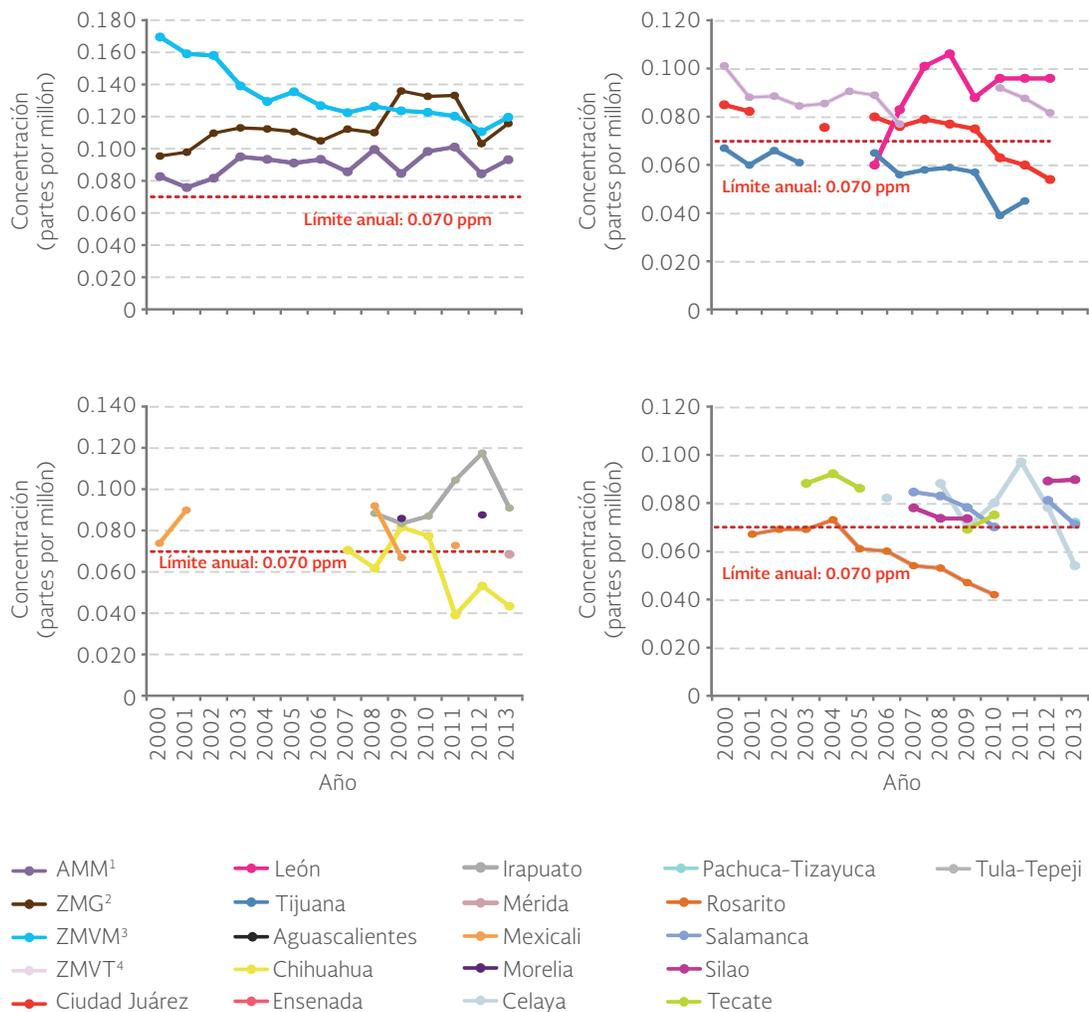
³ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Junio de 2015.

Respecto a los días con buena calidad del aire por O₃, el indicador se calcula con el máximo diario de las concentraciones horarias. La tendencia histórica en las ciudades es muy variada, pero en el 2013 las ciudades con el mayor número de días con buena calidad del aire fueron: Ciudad Juárez (326 días), Chihuahua (286), Celaya (278), Salamanca (263), Mérida (235), Tijuana (234), Tula-Tepeji (211) y Pachuca-Tizayuca (186; Figura 5.11). En ese mismo año, destaca la ZMVM por la baja frecuencia de días con buena calidad del aire (sólo 40 días).

Figura 5.10 | Concentración anual de O₃ (quinto máximo de las concentraciones diarias de los promedios móviles de 8 horas), 2000 - 2013



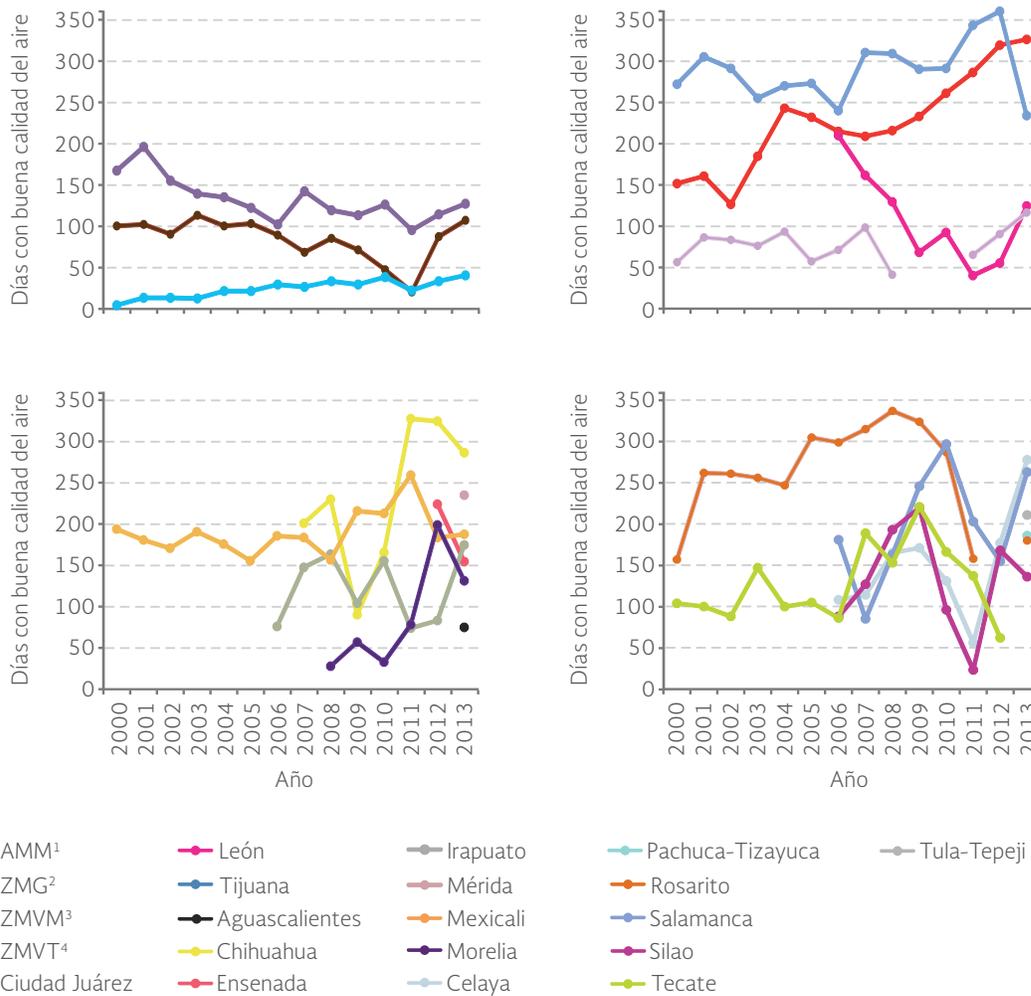
Notas:

- ¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
- ² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- ³ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- ⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Julio de 2016.

Figura 5.11 | Número de días con buena calidad del aire, O₃, 2000 - 2013



Notas:

- ¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
- ² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
- ³ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
- ⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

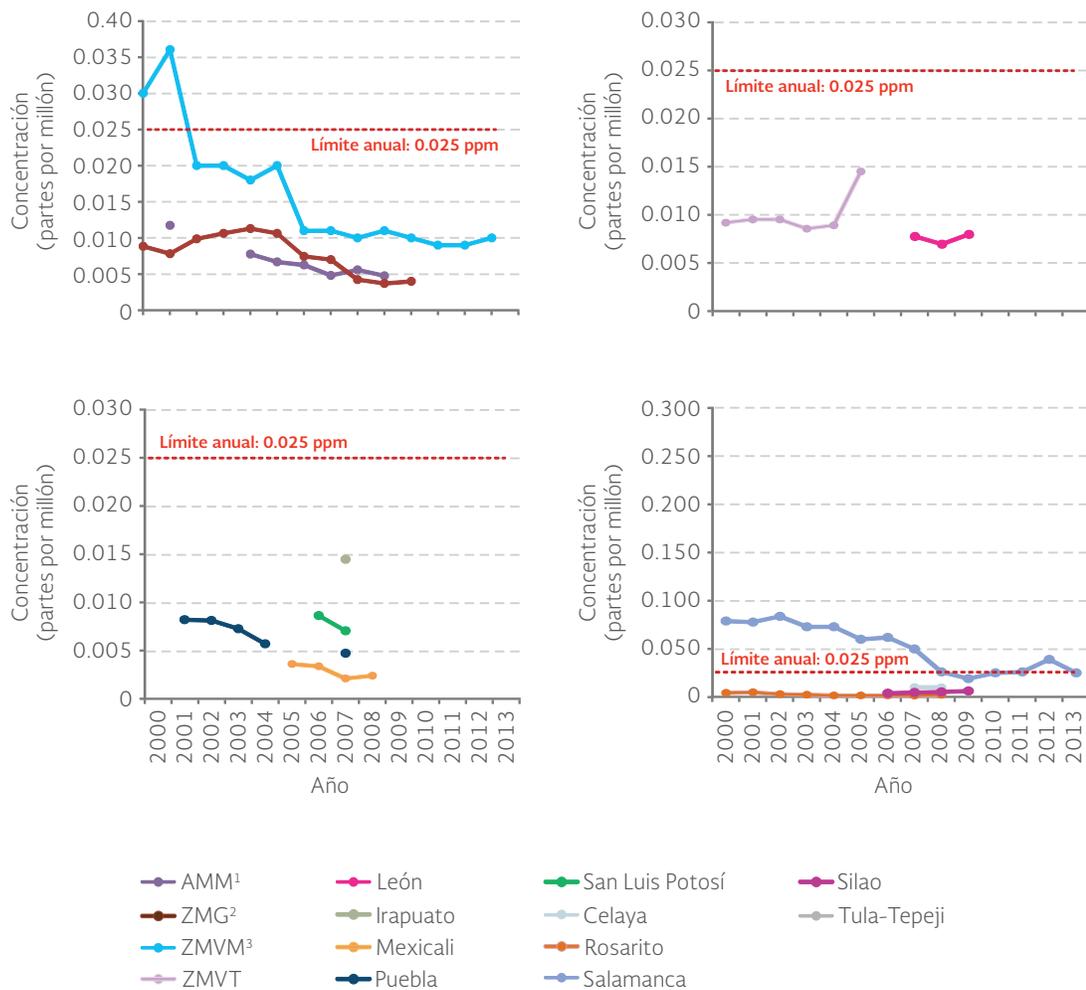
Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. INECC, Semarnat. México. Junio de 2015.

En el caso de la concentración de SO₂, sólo la ZMVM y Salamanca cuentan con datos para el período 2000-2013. En ese lapso de tiempo, para esas ciudades, la concentración del contaminante ha tendido a disminuir, aunque no lo suficiente para estar por debajo de lo establecido en la norma como límite anual (0.025 ppm; Figura 5.12). Otras ciudades sí han mantenido concentraciones de SO₂ por debajo de los valores permisibles, sin embargo, no han generado datos de calidad en los últimos años, tal es el caso de León, Rosarito, Silao, la ZMG y la ZMVT, por lo que no es posible observar si mantienen una tendencia a la baja en la concentración de este contaminante.

La frecuencia de días con buena calidad del aire de SO₂ se calcula con el promedio anual de las concentraciones diarias. Este contaminante ha sido largamente monitoreado en la ZMVM y en Salamanca. En ambas ciudades la calidad del aire ha mejorado a lo largo del tiempo. En 2013, la ZMVM tuvo 353 días con buena calidad del aire en este contaminante, mientras que Salamanca tuvo 358 días (Figura 5.13). En el caso de Tula-Tepeji sólo existe información para el año 2013, en el que se registraron 210 días con buena calidad del aire.

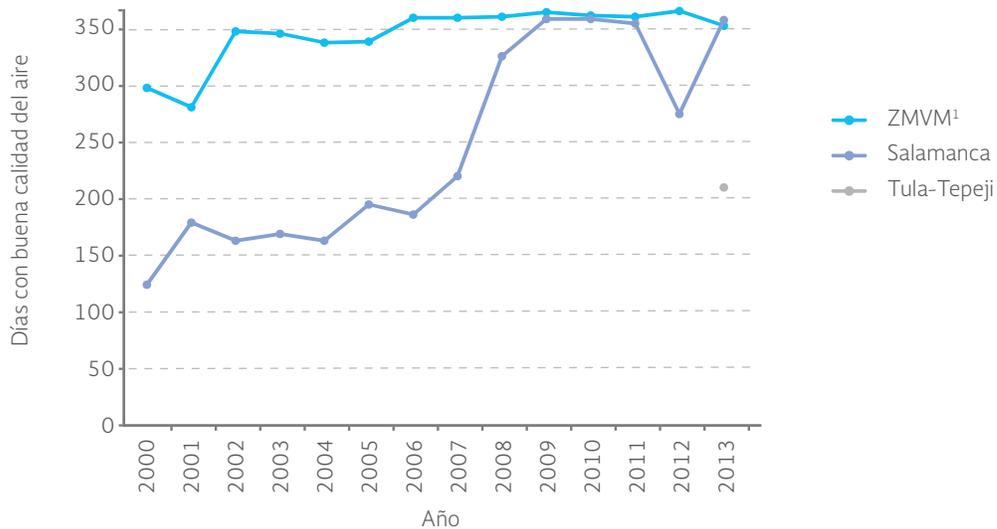
Figura 5.12 | Concentración anual de SO₂ (promedio anual de las concentraciones horarias), 2000 - 2013



Notas:
¹ AMM: Área Metropolitana de Monterrey.
² ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara.
³ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.
⁴ ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
 Las ciudades de Puebla (Puebla) y San Luis Potosí (San Luis Potosí) no se incluyen porque no cuentan con datos recientes.

Fuente:
 Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, INECC, Semarnat. México. Julio de 2016.

Figura 5.13 | Número de días con buena calidad del aire, SO_2 , 2000 - 2013



Nota:

¹ ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México.

Fuente:

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, INECC, Semarnat. México. Junio de 2015.

Para mayor detalle sobre los días con calidad del aire buena, regular y mala por ciudad y contaminante, se sugiere revisar las tablas en la base de datos estadísticos del SNIARN (Badesniarn; [Cuadro D3_AIRE01_20](#)), así como el Informe Nacional de Calidad del Aire 2014 (INECC, 2015). No existe información actualizada a 2013 ni para el CO ni el NO_2 para las ciudades que realizan monitoreo de calidad del aire. Si se desea examinar las tendencias históricas de estos contaminantes se recomienda revisar el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2012 (Semarnat 2013).

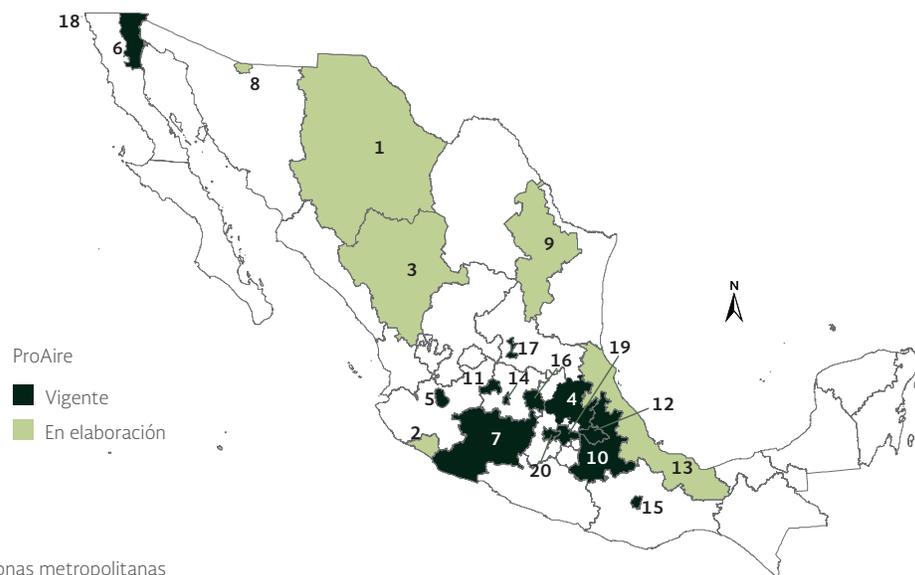
Acciones para mejorar la calidad del aire

La atención a la problemática de la calidad del aire requiere la implementación de políticas integrales que incluyan acciones concretas para su mejora. En este sentido, y como respuesta, se han desarrollado instrumentos para revertir las tendencias de deterioro en las principales ciudades de México. Entre los más importantes están los programas de gestión para mejorar la calidad del aire, conocidos como ProAire, que incorporan una visión de mediano y largo plazos e incluyen acciones concretas para la reducción y control de las emisiones, enfocándose en las principales fuentes de emisión (Semarnat, 2014). Los ProAire se han aplicado en zonas metropolitanas o ciudades que, por el tamaño de su población, actividad industrial, parque vehicular y condiciones climáticas y geográficas, presentan los mayores problemas de contaminación atmosférica.

Actualmente, el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) se encuentra vigente en catorce zonas metropolitanas y ciudades: Hidalgo, Jalisco, Mexicali, Michoacán, Puebla, Salamanca-Celaya-Irapuato, Tlaxcala, Zona Metropolitana de León (ZML), Zona Metropolitana de Oaxaca (ZMO), Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ)-San Juan del Río, Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP)-Soledad de Graciano Sánchez, Zona Metropolitana de Tijuana (ZMT), ZMVM y ZMVT. Y seis programas más se encuentran en fase de elaboración (Mapa 5.13). Los ProAire vigentes benefician a 66.7 millones de personas (Tabla 5.1; Semarnat, 2014).

Dado que la calidad de los combustibles está directamente relacionada con las emisiones generadas por su consumo, sus características deben regularse. En México, la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 establece las especificaciones para los combustibles que se utilizan (DOF, 2006). Esta norma define el contenido de azufre, olefinas y benceno, entre otros, e incluye un calendario para la introducción de la gasolina y diésel de ultra bajo azufre a nivel nacional. Se ha estimado que con la introducción de combustibles de bajo contenido de azufre, en el periodo 2006-2030 se podrían evitar 56 mil muertes, 166 mil casos de bronquitis crónica y poco más de 78.3 millones de días perdidos de trabajo y de actividad restringida (Semarnat, INE y Pemex, 2006).

Mapa 5.13 | ProAire vigentes y en elaboración, 2016



Poblaciones o zonas metropolitanas

1 Chihuahua	8 Nogales	15 ZMO (2014-2023)
2 Colima	9 Nuevo León	16 ZMQ-San Juan del Río (2014-2023)
3 Durango	10 Puebla (2012-2020)	17 ZMSLP-Soledad de Graciano Sánchez (2013-2021)
4 Hidalgo (2014-2023)	11 Salamanca-Celaya-Irapuato (2014-2022)	18 ZMT (2012-2020)
5 Jalisco (2011-2020)	12 Tlaxcala (2014-2023)	19 ZMVM (2011-2020)
6 Mexicali (2011-2020)	13 Veracruz	20 ZMVT (2012-2017)
7 Michoacán (2015-2024)	14 ZML (2013-2022)	

Fuentes:

Semarnat. *Cuarto Informe de Labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

Semarnat. *Programas de Gestión de la Calidad del Aire*. México. 2016. Disponible en: www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire?idiom=es. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Además de los ProAire y la mejora de combustibles, existen otros programas y políticas tendientes a mejorar la calidad del aire. Las medidas que influyen directa o indirectamente en la calidad del aire son diversas y van desde acciones de pavimentación y reforestación, hasta el desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras para limpiar el aire. Además, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en coordinación con otras dependencias del gobierno federal, es responsable de establecer los programas de reducción de emisiones en las industrias de jurisdicción federal, así como en los vehículos automotores nuevos en planta. Así mismo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece que las autoridades locales instrumentarán los programas de verificación vehicular y elaborarán los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en las entidades federativas, con la posterior evaluación y, en su caso, aprobación de la Semarnat.

Tabla 5.1 | *Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) vigentes y en elaboración, 2016*

<i>ProAire/región</i>	<i>Situación</i>
ProAire Chihuahua	En elaboración
ProAire Colima	En elaboración
ProAire Durango	En elaboración
ProAire Hidalgo (2014-2023)	Vigente
ProAire Jalisco (2011-2020)	Vigente
ProAire Mexicali (2011-2020)	Vigente
ProAire Michoacán (2015-2024)	Vigente
ProAire Nogales, Sonora	En elaboración
Pro Aire Nuevo León	En elaboración
ProAire Puebla (2012-2020)	Vigente
ProAire Salamanca, Celaya e Irapuato (2014-2022)	Vigente
ProAire Tlaxcala (2014-2023)	Vigente
ProAire Veracruz	En elaboración
ProAire Zona Metropolitana de León (2013-2022)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana de Oaxaca (2014-2023)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana de Querétaro-San Juan del Río (2014-2023)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana de San Luis Potosí - Soledad de Graciano Sánchez (2103-2021)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana de Tijuana (2012-2020)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana del Valle de México (2011-2020)	Vigente
ProAire Zona Metropolitana del Valle de Toluca (2012-2017)	Vigente

Fuentes:

Semarnat. *Cuarto Informe de Labores 2015-2016*. Semarnat. México. 2016.

Semarnat. *Programas de Gestión de la Calidad del Aire*. Semarnat. México. 2016. Disponible en: www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire?idiom=es. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Las actividades productivas se han intensificado globalmente como consecuencia de una población mundial que crece aceleradamente al igual que sus necesidades, y con patrones de consumo cada vez más demandantes. Resultado de ello, la energía y los materiales necesarios para la producción de bienes y servicios han crecido significativamente, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX (ver el capítulo **Población y medio ambiente**). Los impactos de este crecimiento pueden observarse a nivel global, regional y local, siendo uno de los más reconocidos por sus efectos y posibles consecuencias el cambio climático global, que representa hoy día, junto con la pérdida de la biodiversidad, uno de los principales retos ambientales globales.

El clima, y en particular la temperatura del planeta, dependen del balance entre la energía solar que recibe y el calor que emite (radiación infrarroja). Los gases de efecto invernadero (GEI) presentes naturalmente en la atmósfera dejan pasar la radiación solar hacia la superficie terrestre, pero absorben la radiación infrarroja que ésta emite, produciendo con ello un efecto neto de calentamiento, de manera similar a como ocurre en los invernaderos. Las actividades humanas emiten volúmenes de GEI que se suman a los que de manera natural existen en la atmósfera, con lo que se incrementa su concentración en la atmósfera y con ello el efecto de calentamiento.

El cambio climático global actual se manifiesta a través del incremento de la temperatura, los cambios en la precipitación (tanto en intensidad como en su distribución temporal y espacial), la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, el deshielo de los glaciares y el incremento del nivel del mar, entre otros. El Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) define 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). El IPCC señaló que es probable¹³ que el incremento de la temperatura superficial observado desde mediados del siglo XX a la fecha se deba muy probablemente al incremento de las concentraciones de GEI de origen antropogénico en todas las regiones, excepto la Antártida¹⁴ (IPCC, 2015).

Las consecuencias de este fenómeno global no sólo se restringen al ambiente, también alcanzan las esferas económica, social y política y sin duda serán determinantes para el desarrollo económico y social de nuestro país y del mundo. Ante esta situación resulta esencial no sólo avanzar en el conocimiento científico relacionado con el tema, sino también implementar medidas tanto para frenar el cambio climático (siendo la principal la mitigación de emisiones) como para diseñar e implementar estrategias de adaptación para enfrentar en las mejores condiciones sus efectos.

En esta sección se abordarán las evidencias y consecuencias de este fenómeno, sus causas, así como las medidas que se están tomando a nivel internacional y nacional para enfrentarlo.

¹³ De acuerdo con el IPCC, probable corresponde a una probabilidad entre 66 y 100% (IPCC, 2015).

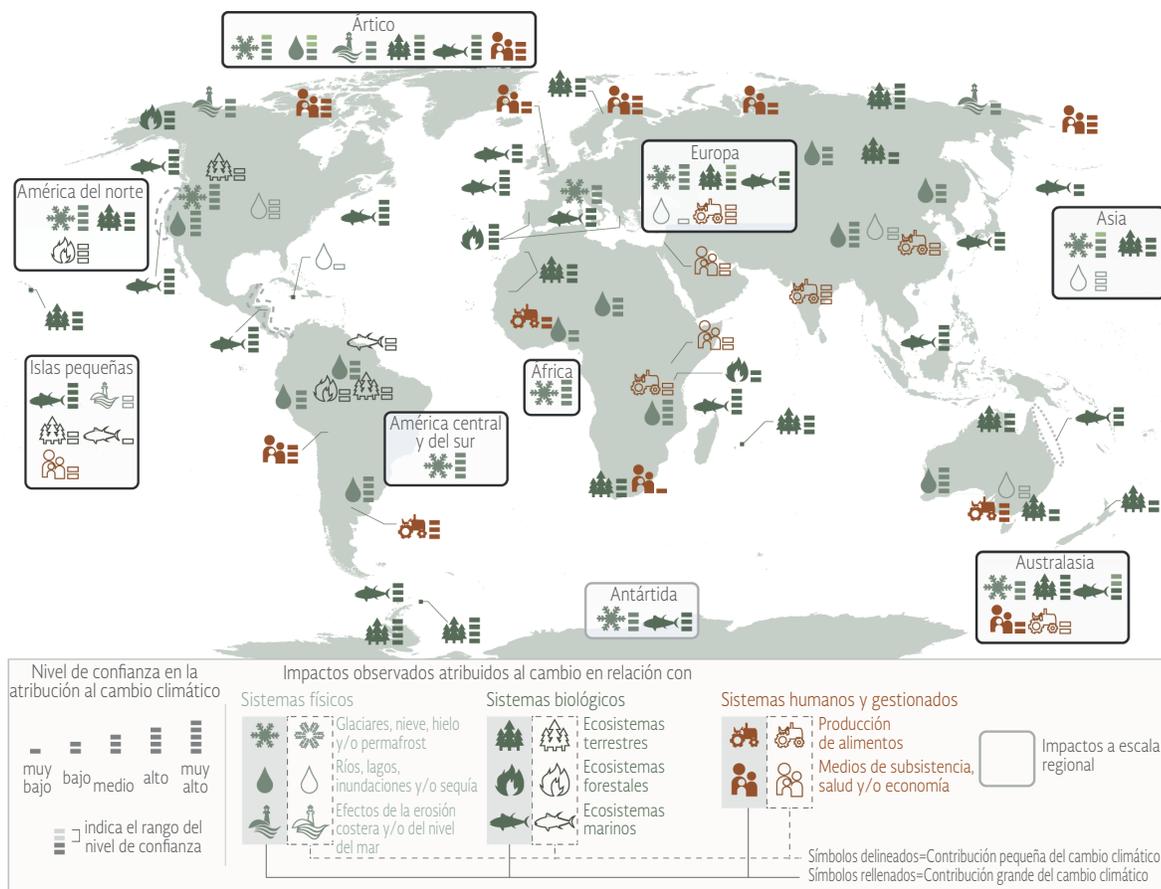
¹⁴ En el caso de la Antártida, debido a la gran incertidumbre relativa a las observaciones, existe un nivel de confianza bajo en cuanto a que los forzamientos antropogénicos hayan contribuido al calentamiento observado.

EVIDENCIAS Y CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En las últimas décadas, los cambios en el clima han causado impactos en los ecosistemas, la sociedad y los sectores productivos. En la Figura 5.14 se presenta un resumen de los principales impactos a nivel global identificados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y en las siguientes secciones se abordarán con detalle algunos de ellos, así como las principales evidencias de su presencia.

Muchas regiones del planeta registran alteraciones en el ciclo hidrológico resultado de cambios en los patrones de precipitación, temperatura y en los balances de los depósitos de hielos de glaciares y otros mantos. La extensión de los glaciares sigue disminuyendo en diversas regiones del mundo. En el caso de los glaciares tropicales de los Andes, el retroceso observado en los últimos 50 años no tiene precedentes desde la última edad de hielo: pasaron de perder 0.2 metros de grosor en el periodo 1964-1975 a 0.76 metros entre 1976 y 2010 (Rabatel et al., 2013). El incremento de la

Figura 5.14 | Resumen de los impactos globales del cambio climático



Fuente:
Tomado de:
IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. 2014.

temperatura también ha provocado el deshielo de los suelos congelados (el permafrost) en latitudes altas y zonas elevadas, lo que además de liberar a la atmósfera grandes cantidades del metano que mantenían acumulado, también afecta negativamente a la vegetación que crece en ellos.

Los impactos del cambio climático también han alcanzado a los sectores productivos. En la agricultura, el cambio en el clima ha provocado una disminución en el rendimiento de los cultivos de trigo y maíz en muchas regiones y a nivel global (IPCC, 2013; Figura 5.14). También se ha registrado una reducción en el rendimiento de los cultivos de arroz y la soya, aunque en menor nivel. De seguir esta tendencia, o intensificarse, podría poner en riesgo la seguridad alimentaria de muchos países, o bien, encarecer estos productos a tal nivel que se vuelvan inaccesibles para amplios sectores de la población, pues se tienen documentados incrementos en los precios de alimentos y cereales después de eventos climáticos extremos en las regiones donde se producen.

La biodiversidad también ha sido afectada por el cambio climático, ya que la distribución de las especies es determinada, entre otros factores, por el clima. Los cambios en el clima y la ocurrencia de eventos extremos pueden conducir a la reducción e incluso la pérdida de las poblaciones de numerosas especies. En muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas se tienen registros de modificaciones en sus áreas de distribución geográfica, patrones de migración e interacciones con otras especies en respuesta al cambio climático actual (IPCC, 2013; Figura 5.14). En los arrecifes de coral, se tienen registros de eventos de blanqueamiento, así como cambios en las áreas de distribución de especies de invertebrados, peces, insectos, aves y plantas; también se han observado cambios en las épocas de floración en muchas especies de plantas y el anticipo en la llegada y reproducción de aves migratorias.

En cuestión de salud humana, los efectos se han documentado como incrementos de la mortalidad asociada a eventos de calor extremo. En la Federación de Rusia, por ejemplo, en 2010 murieron alrededor de 55 mil personas por la onda de calor registrada ese año (Barriopedro *et al.*, 2011). También los cambios locales de temperatura y precipitación han modificado y extendido la distribución de algunos vectores de enfermedades, como el caso de los mosquitos que transmiten el dengue y el paludismo. Otros efectos secundarios de este fenómeno global se dan sobre grupos sociales en condición de pobreza que por su vulnerabilidad resienten con mayor intensidad la disminuciones en los rendimientos de los cultivos, la destrucción de sus hogares ocasionados por fenómenos hidrometeorológicos extremos y los aumentos en los precios de los alimentos, entre otros (Figura 5.14).

Cambios en la temperatura

La temperatura del planeta se ha elevado. Entre 1880 y 2012, la temperatura anual global (considerando la terrestre y oceánica) registró un aumento de 0.85 °C con respecto al promedio del periodo 1961-1990 (IPCC, 2013). A este fenómeno de incremento global de temperatura se le conoce como “calentamiento global” y es una de las evidencias más contundentes de la existencia del cambio climático. De acuerdo con mediciones recientes publicadas por la NASA, en el año 2015 se registró la mayor desviación de temperatura (0.86 °C) respecto a la media del periodo 1951-1980 (Figura 5.15; **IB 1.2-5**).

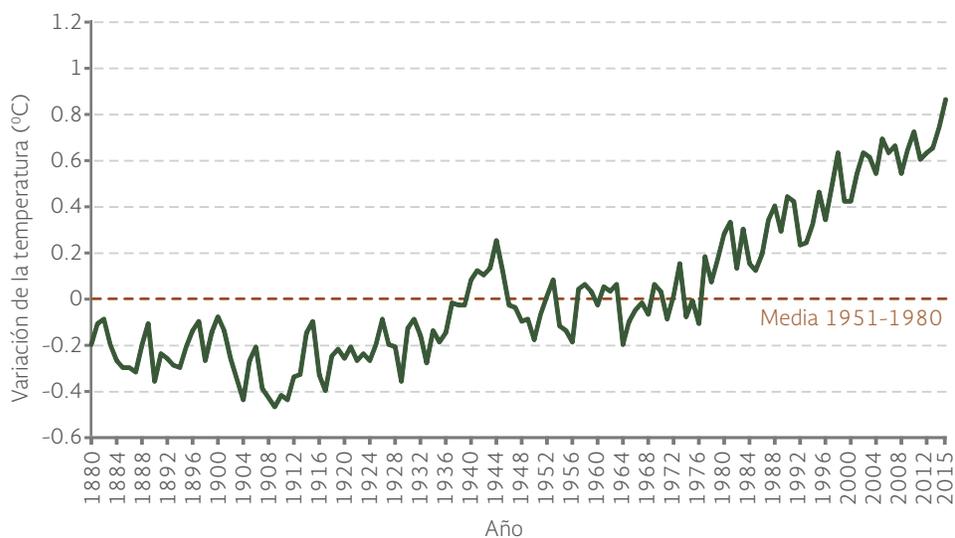


El incremento de la temperatura no ha sido homogéneo en todas las regiones del planeta (Figura 5.16). Desde mediados del siglo XX se observa un calentamiento significativo en América del Norte y Asia: en el norte de Alaska, por ejemplo, la temperatura aumentó hasta 3 °C (de principios de los ochentas a mediados de la década del 2000) y hasta 2 °C en algunas regiones norteadas de la parte europea de la Federación de Rusia (de 1971 a 2010; IPCC, 2013). La evaluación del IPCC (2013) también señala que, entre 1983 y 2012 ocurrió el periodo más cálido de los últimos 1 400 años, el cual ha generado un aumento en la frecuencia de ondas de calor en Europa, Asia y Australia (IPCC, 2013).

En la Figura 5.16 se muestra también que las superficies cubiertas por hielos perpetuos han sido afectadas por el incremento global de la temperatura. El IPCC calcula que en el periodo 1993-2009 la tasa de pérdida de hielo de los glaciares a nivel global, con excepción de los glaciares ubicados en la periferia de Groenlandia y Antártica, pudo haber sido de hasta 275 gigatoneladas al año en promedio, lo que podría haber contribuido a un aumento del nivel del mar de poco más de 12 centímetros en el periodo¹⁵.

La temperatura promedio del permafrost¹⁶ se ha incrementado en la mayor parte de las regiones desde principios de la década de 1980, lo que ha causado, por ejemplo, en algunas zonas del norte

Figura 5.15 | Variación de la temperatura global, 1880 - 2015¹



Nota:

¹ La serie de tiempo presenta el registro combinado de la temperatura global superficial terrestre y marina.

Fuente:

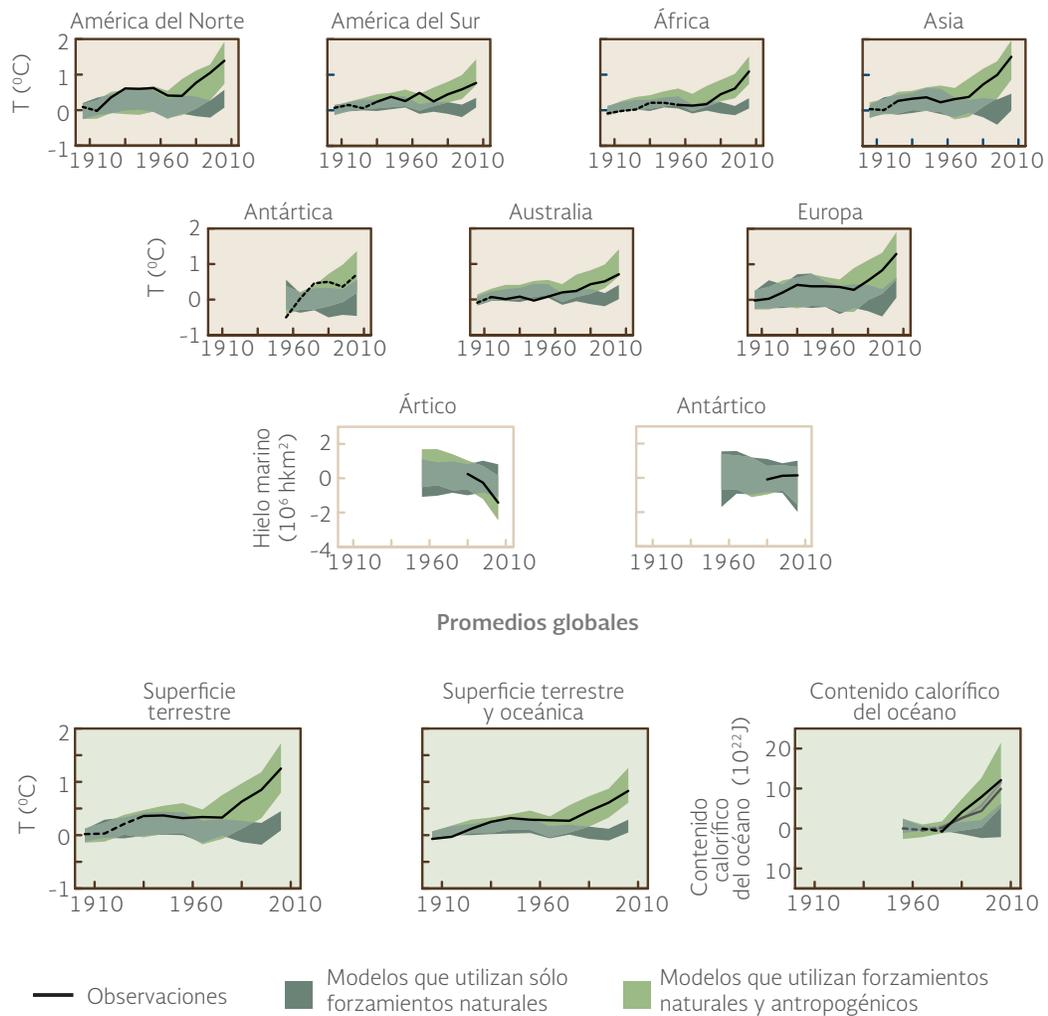
NASA. GISS Surface Temperature Analysis. Global Annual Mean Surface Air Temperature Change. Global Land-Ocean Surface Temperature Anomaly (Base: 1951-1980). 2014. Disponible en: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/. Fecha de consulta: mayo de 2016.

¹⁵ Se considera que el derretimiento de 100 gigatoneladas de hielo equivalen a una elevación media mundial del nivel del mar de 0.28 milímetros.

¹⁶ Se refiere a la capa del suelo permanentemente congelado en las regiones muy frías.

de la Federación de Rusia una reducción importante del grosor y extensión de su superficie entre 1975 y 2005. Esta pérdida resulta importante ya que el permafrost es un reservorio natural de grandes cantidades de bióxido de carbono y metano (dos de los principales gases de efecto invernadero) que se liberan cuando el suelo se descongela, aumentando su concentración en la atmósfera. Según un estudio publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Figura 5.16 | Cambio en la temperatura terrestre, extensión del hielo marino en el Ártico y Antártica y contenido calorífico en las capas superiores del océano de las principales cuencas oceánicas



Notas:

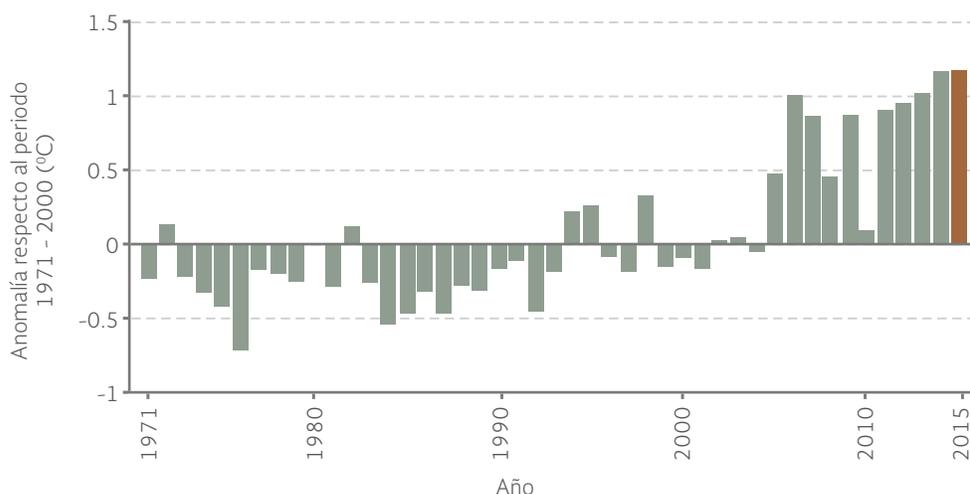
¹ Los cambios de temperatura se muestran en los gráficos negros (la anomalía es respecto al periodo 1880-1919), la extensión del hielo marino en los gráficos blancos (respecto a 1979-1999 y sólo para el mes de septiembre).

² 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.

Fuente:

IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* United Kingdom y USA. 2013.

Figura 5.17 | Anomalía de la temperatura media anual en México, 1971 - 2015



Nota:
La barra café corresponde a la anomalía estimada en 2015.

Fuente:
Conagua. *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015*. Conagua. México. 2015.

Ambiente (PNUMA), el deshielo del permafrost podría emitir entre 43 y 135 gigatoneladas de CO₂ equivalente en 2100 y entre 246 y 415 para el año 2200 (UNEP, 2012). Otro estudio estima que las emisiones procedentes del deshielo de permafrost podrían aumentar la temperatura entre 0.13 y 1.69 °C adicionales para el año 2030 (MacDougall et al., 2012).

En el caso de la temperatura superficial marina, entre 1971 y 2010 se incrementó 0.11 °C por década (IPCC, 2013). El calentamiento del océano sobresale notoriamente debido a que se calcula que en ese mismo periodo representó más del 90% de la energía acumulada en el sistema climático (IPCC, 2013).

A nivel nacional, entre 1960 y 2012, el incremento promedio de la temperatura fue de 0.85 °C, valor similar al reportado a nivel mundial para el periodo 1880-2012 (Semarnat, 2014). En México, desde el año 2005 los registros anuales de temperatura han estado por arriba de los 21.4 °C (con excepción del año 2010), valor por arriba del promedio anual de temperatura registrado en el periodo 1971-2011 que alcanzó 20.9 °C. Si se analizan las anomalías de temperatura¹⁷ nacionales se observa que entre 2006 y 2015 la temperatura nacional estuvo más de medio grado centígrado por arriba del promedio del periodo 1971-2000, con excepción de los años 2008 y 2010 (Figura 5.17). Se estima además que la temperatura media nacional durante 2015 fue de 22.1 °C, valor 1.1 °C por arriba del periodo 1981-2010, con lo que se convierte junto con 2014 como los más cálidos desde 1971 (Conagua, 2015).

¹⁷ Anomalía se refiere a la desviación de un valor medido (temperatura o precipitación) respecto a su valor promedio en un periodo de referencia (Conagua, 2014).

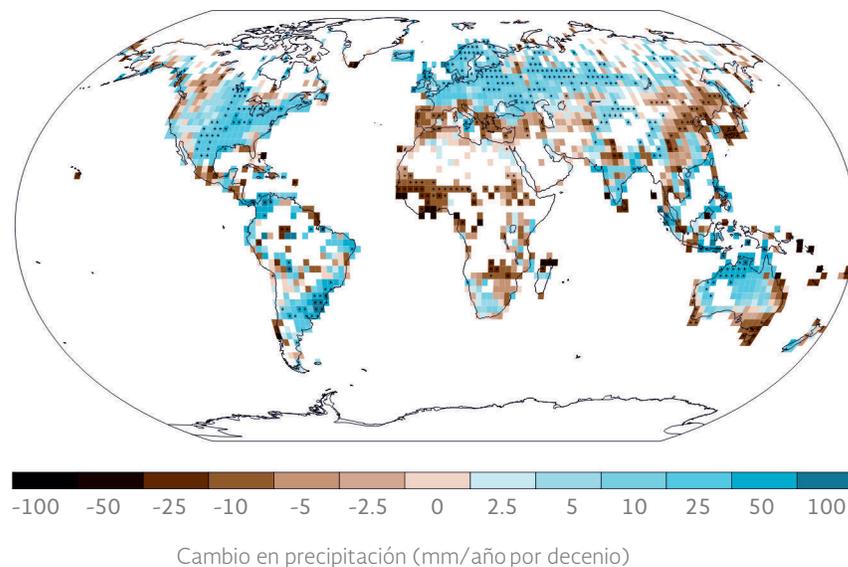
El incremento de temperatura nacional no ha sido homogéneo a lo largo del territorio. Por ejemplo, en 2015 los promedios de la temperatura media más altos (de entre 30 y 35 °C) de temperatura media anual se registraron en la vertiente del Pacífico desde Chiapas hasta Baja California Sur y en el Golfo de México y el Caribe. Los promedios más bajos (10 a 15 °C) se concentraron en el sur de Chihuahua y norte de Durango (Conagua, 2015).

El calentamiento observado a nivel global se ha acompañado en las latitudes medias por el aumento del número de días cálidos extremos, así como por la disminución de la cantidad de días gélidos extremos y heladas (IPCC, 2007a). Los registros demuestran que las temperaturas extremas y las olas de calor en el mundo aumentaron en frecuencia y duración, lo que tiene importantes efectos sobre la salud de la población. Por ejemplo, en Europa occidental murieron 72 210 personas durante la ola de calor de 2003, en la Federación de Rusia la cifra alcanzó alrededor de 55 mil personas y en Perú 339 el mismo año (WMO, 2014).

Cambios en los patrones de precipitación

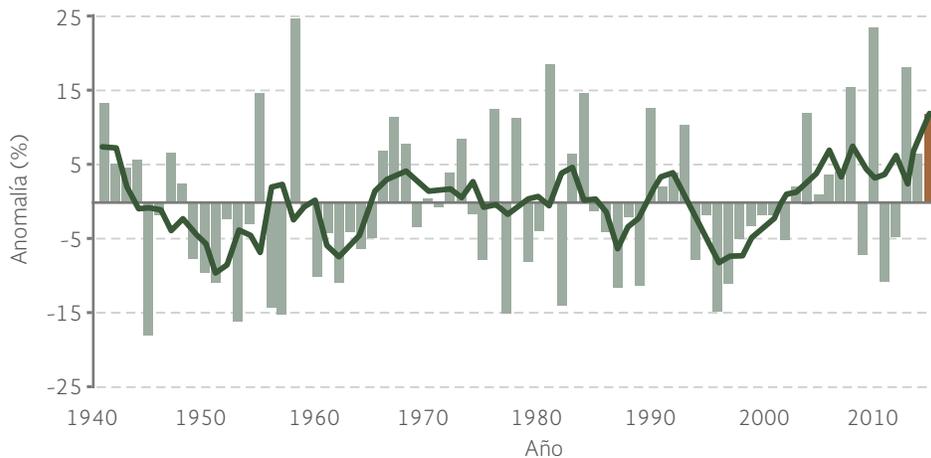
Las variaciones en los patrones de precipitación a nivel global y nacional representan otra alteración del sistema climático. De acuerdo con el IPCC, a partir de 1976 la humedad superficial aumentó en estrecha relación con las temperaturas más altas tanto terrestres como oceánicas. El vapor de agua total 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, 2007b). Se ha observado un incremento significativo de la frecuencia o intensidad de las precipitaciones en América del Norte y Europa, así como condiciones más secas en el Mediterráneo, África meridional y algunas zonas de Asia meridional (Figura 5.18; IPCC, 2007b, 2008 y 2013).

Figura 5.18 | Cambios en la precipitación terrestre, 1951 - 2010



Fuente:
IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* United Kingdom y USA. 2013.

Figura 5.19 | Anomalía de la precipitación anual en México, 1941 - 2015



Nota:

La barra café corresponde a la anomalía nacional estimada en 2015 y la línea verde oscuro a la media móvil de cinco años.

Fuente:

Conagua. *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015*. México. 2015.

A diferencia de la temperatura, en nuestro país la precipitación no ha seguido un patrón claro de cambio: muestra aumentos o disminuciones con variaciones regionales (Figura 5.19). En el periodo 1941-2015, 55% de los años (41 de 74 años) registraron niveles de precipitación por debajo del promedio; 1945 fue el año menos lluvioso (638.8 mm) y 1958 el más lluvioso (997.8 mm). En el 2015 la precipitación (872 mm) fue 11.7% superior al promedio anual del periodo.

Incremento del nivel del mar

La elevación del nivel del mar es otro de los efectos conocidos del cambio climático y se ha originado tanto por la expansión de los cuerpos de agua marina al calentarse (los océanos han absorbido alrededor del 90% del calor que se ha adicionado al sistema climático; IPCC, 2013), como por el agua que se derrite de glaciares y otros mantos de hielo y alcanza los mares. Desde inicios de los años setenta estos dos factores han sido responsables del 75% de la elevación observada del nivel medio global del mar (IPCC, 2013). Es importante señalar que el efecto de la expansión oceánica por el calentamiento del agua marina no ha ocurrido en todo el planeta: zonas del Atlántico norte, Pacífico norte y Pacífico ecuatorial se enfriaron en los últimos 50 años, siguiendo un patrón opuesto a la tendencia global de calentamiento (IPCC, 2007b).

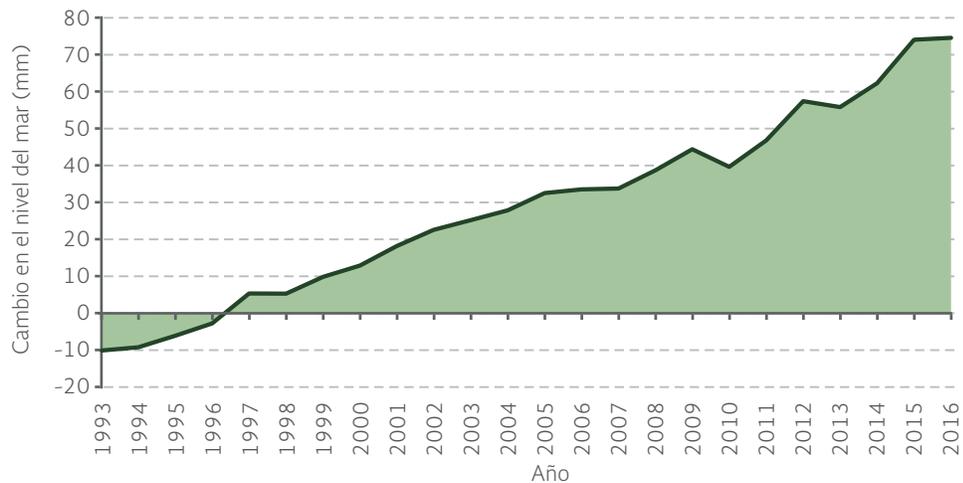
El incremento total del nivel medio del mar durante el periodo 1901-2010 fue de 19 centímetros, con un rango que oscila entre los 17 y 21 centímetros (IPCC, 2013). El ritmo al que ha ocurrido el ascenso del nivel, para el mismo periodo, se ha estimado en 1.7 milímetros por año en promedio (IPCC, 2013). 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 4 metros por debajo del

nivel del mar), pequeños cambios pueden tener efectos importantes. De acuerdo con registros recientes de la NASA, en el periodo 1993-2016, la tasa de incremento del nivel global del mar fue de 3.42 milímetros anuales, con un incremento total estimado de 7.45 centímetros hasta enero de 2016 (Figura 5.20).

El deshielo de los glaciares pudo contribuir con alrededor del 30% del incremento del nivel del mar entre 1993 a 2009 (Nicholls y Cazenave, 2010). De acuerdo con el último reporte del IPCC, el derretimiento de los glaciares y casquetes polares contribuyó con 0.076 metros al incremento del nivel del mar en el periodo 1993-2010 (IPCC, 2013).

Nuestras costas también han sido afectadas por la elevación del nivel del mar. En 17 sitios estudiados en el Golfo y en el Pacífico entre principios de los años cincuenta y el año 2000 se encontraron evidencias de elevación del nivel del mar. En el Golfo de México, el incremento anual registrado varió entre 1.9 milímetros en Veracruz, Veracruz, hasta 9.16 milímetros en Ciudad Madero, Tamaulipas (Figura 5.21). En el Pacífico sobresalieron Guaymas, Sonora y Manzanillo, Colima, con incrementos anuales de 4.23 y 3.28 milímetros, respectivamente (INE *et al.*, 2008).

Figura 5.20 | Cambio en el nivel medio global del mar, 1993 - 2016¹



Nota:

¹ Los datos corresponden al mes de diciembre. El dato de 2016 corresponde a mes de enero.

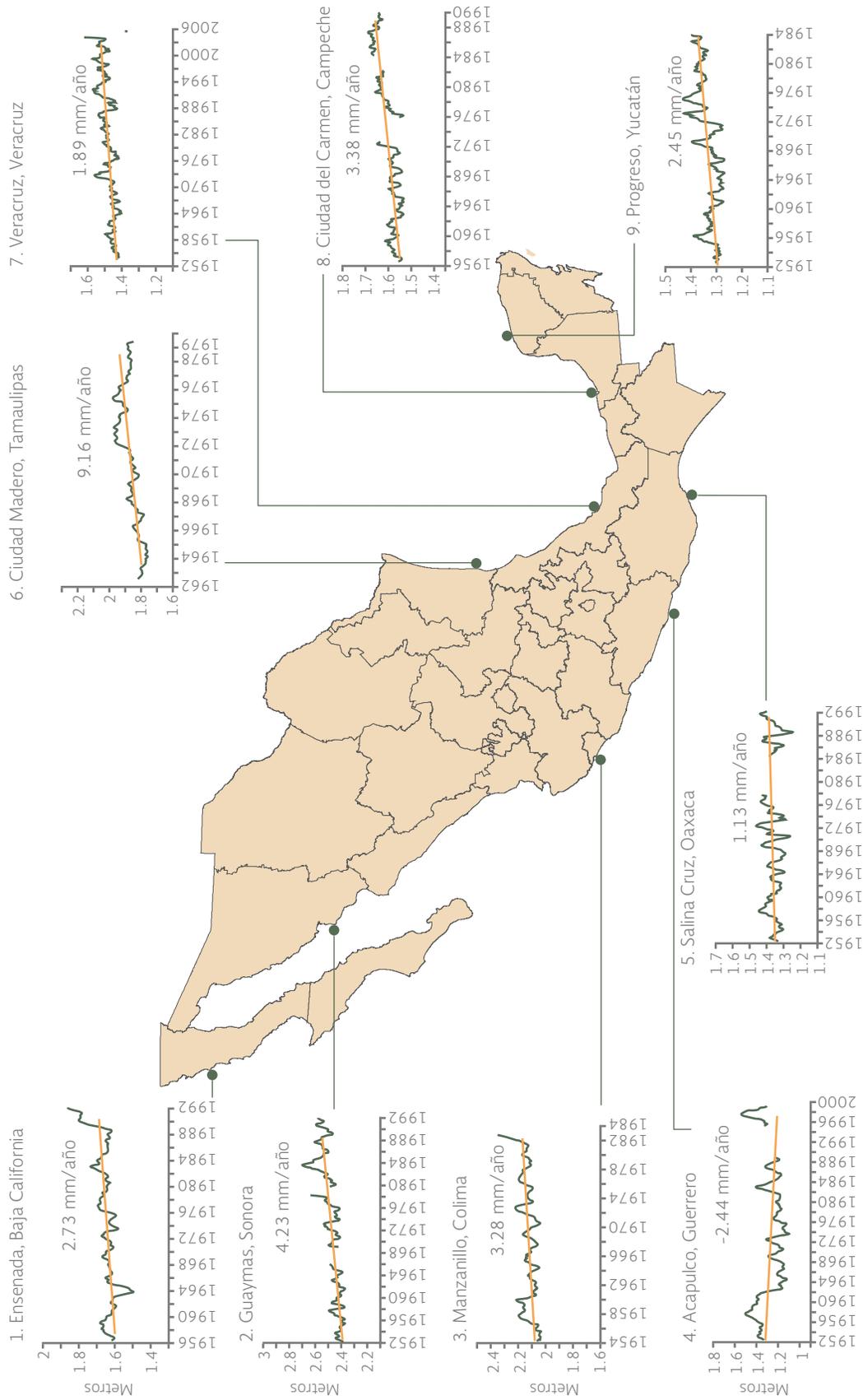
Fuente:

NASA. *Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. Sea Level*. NASA. 2015. Disponible en: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Deshielos

El deshielo de los glaciares y casquetes polares es otra consecuencia del cambio climático. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 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

Figura 5.21 | Variación del nivel del mar en algunos sitios de los litorales mexicanos



Fuente: INE, Semarnat y UNAM. Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deitas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al calentamiento global y fenómenos hidrometeorológicos extremos. INE, Semarnat y UNAM, México, 2008.

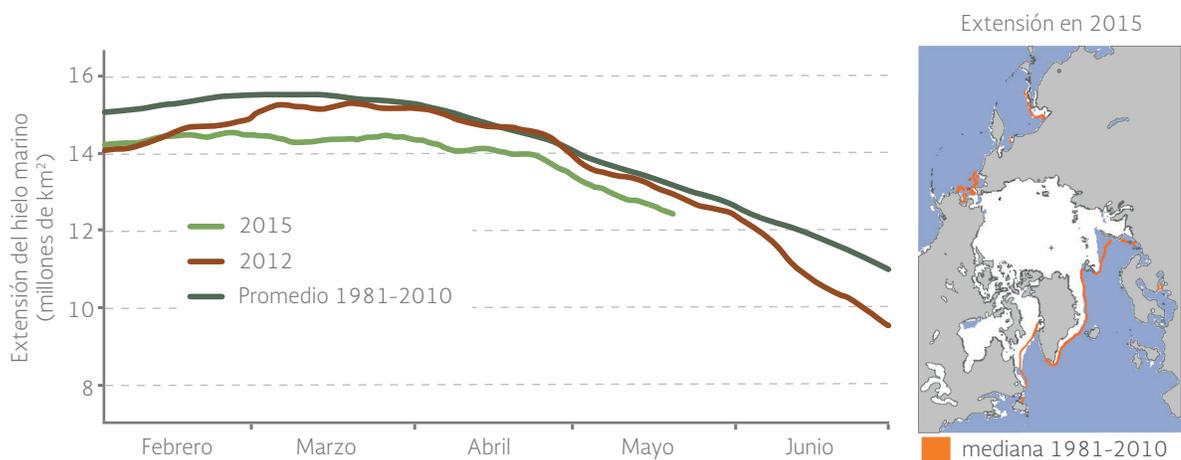
que el volumen perdido de hielo fue mayor al volumen acumulado. La pérdida acumulada de espesor del hielo en 2005 fue de aproximadamente 15 metros de agua equivalente (mae)¹⁸ respecto al año 1980 (UNEP y WGMS, 2008).

El incremento de temperatura provoca el derretimiento de los glaciares en diversas partes del planeta. De acuerdo con el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, en el periodo 1993-2009 se registró una pérdida importante de hielo de los glaciares a nivel global (mayor detalle en la Figura 5.16 de la sección **Cambios en la temperatura**).

En el caso de Antártica, destaca la pérdida del hielo de la plataforma Larsen B que actualmente cubre una superficie aproximada de 1 600 km². En el año 2002 ocurrió una fragmentación y pérdida significativas de hielo en esta plataforma. Investigadores de la NASA indican en un nuevo estudio que sus glaciares se han adelgazado entre 20 y 22 metros y que la reducción de hielo se ha acelerado considerablemente. Dado que en los glaciares normalmente existe un flujo de agua, un incremento en el volumen o velocidad del flujo puede acelerar la pérdida de hielo; en el caso de la Plataforma Larsen B, el flujo se aceleró 55% entre 1997 y 2012. Bajo estas condiciones, dicho estudio plantea la posibilidad de que los restos de la Plataforma Larsen B desaparezcan a finales de esta década (Khazendara *et al.*, 2015).

La Figura 5.22 muestra la extensión del hielo marino en el Ártico en distintos periodos; en 2015 la extensión (14 millones de km² en promedio) fue menor que en el 2012 y que la extensión promedio del periodo 1981-2010 (14.8 millones de km²). De acuerdo con registros del Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo (NSIDC, por sus siglas en inglés), en abril de 2015 se perdieron 862 mil kilómetros cuadrados de hielo ártico (NSIDC, 2015).

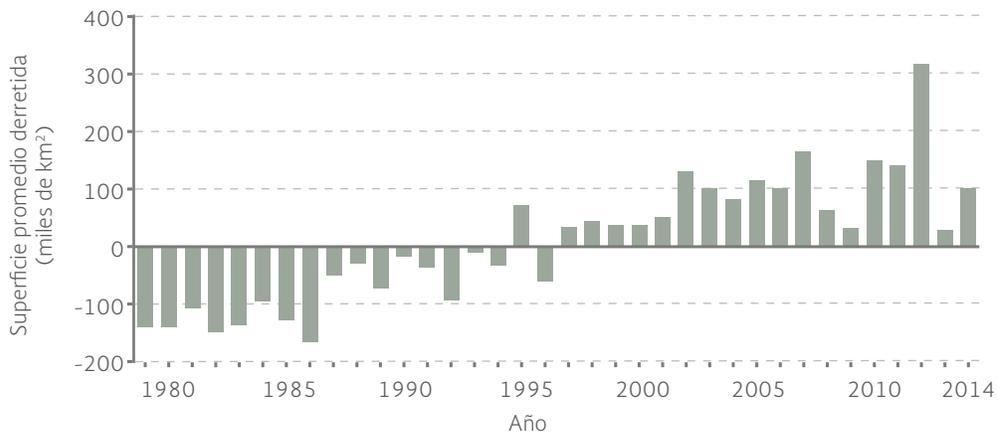
Figura 5.22 | Reducción en la extensión de hielo marino en el Ártico, 1981 - 2015



Fuente: NSIDC. *Arctic Sea Ice News & Analysis*. NSIDC. 2015. Disponible en: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>. Fecha de consulta: mayo de 2015.

¹⁸ Los glaciólogos expresan el balance de masa anual de los glaciares (es decir, su ganancia o pérdida en grosor) en metros de agua equivalentes (mae).

Figura 5.23 | Superficie de hielo perdida en Groenlandia de junio a agosto de cada año¹, 1979 - 2014



Nota:

¹ La pérdida de hielo se reporta con respecto a la superficie del periodo 1981-2010.

Fuente:

NASA. *Greenland Ice Sheet Today*. NASA. 2015. Disponible en: <http://nsidc.org/>. Fecha de consulta: mayo de 2015.

La superficie de hielo en Groenlandia, durante el verano de 2014, sólo alcanzó a cubrir una superficie del 39.3% con respecto a la superficie promedio de 1981-2010 (NOAA, 2015). Ese año fue el séptimo con la mayor extensión de hielo derretido en los últimos 35 años. El área total derretida de junio a agosto de 2014 fue de alrededor de 100 mil kilómetros por arriba del promedio de 1981-2010 (Figura 5.23; NASA, 2015).

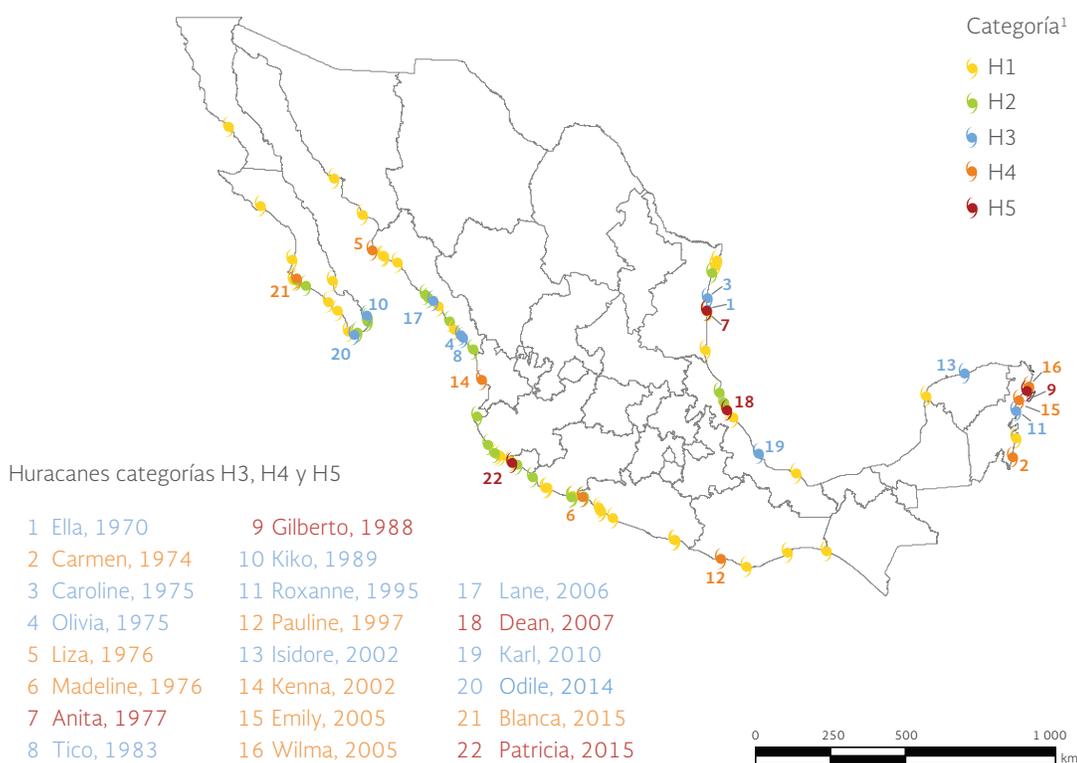
Los deshielos también han afectado a los glaciares de montaña: en el 2006 perdieron 402 gigatoneladas de agua en promedio (NASA, 2011). Se ha documentado también un retroceso de los glaciares alpinos, escandinavos, islandeses, andinos y aquellos de regiones occidentales y septentrionales de América del Norte. Existe también un incremento en las fracturas de los taludes de roca de la zona occidental de los Alpes (IPCC, 2014). En el caso de México, se han registrado reducciones de hasta el 40% entre 1960 y 1983 en la extensión de los glaciares del Iztaccíhuatl. El Pico de Orizaba y el Popocatepetl mostraron una tendencia similar (aunque en este último la reducción se aceleró por su actividad volcánica). Se ha planteado que de mantenerse las tasas de reducción de los glaciares mexicanos, es posible que desaparezcan en menos de 30 años (Delgado, 2007; Delgado *et al.*, 2007).

Los asentamientos humanos también se verían afectados por los deshielos. Más de un sexto de la población mundial que vive en cuencas fluviales alimentadas por el agua que se derrite de la nieve o los glaciares podría verse afectada al reducirse su disponibilidad; al igual que lo sería la generación de energía hidroeléctrica a causa de la disminución del volumen de agua almacenado en los glaciares y la reducción de su escorrentía (IPCC, 2007b).

Entre los posibles efectos del cambio climático están la variación en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los ciclones y las sequías. Éstos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales muy importantes sobre las regiones en las que ocurren, e incluso sobre aquellas que dependen de los recursos o bienes producidos en las zonas de impacto. México, por su ubicación geográfica, condición climática y características socioeconómicas de la población, es particularmente vulnerable a estos fenómenos.

El efecto del incremento en la temperatura sobre el número e intensidad de los ciclones tropicales es un tema en debate. No se ha encontrado una correlación fuerte entre las temperaturas oceánica y atmosférica y el número de huracanes, sin embargo, existe evidencia de que la intensidad de los huracanes ha sido influenciada directamente por el incremento de la temperatura de los océanos (Webster *et al.*, 2005). El Mapa 5.14 muestra los huracanes que han entrado a las costas nacionales entre 1970 y 2015.

Mapa 5.14 | *Ciclones tropicales en México, 1970 - 2015*



Nota:

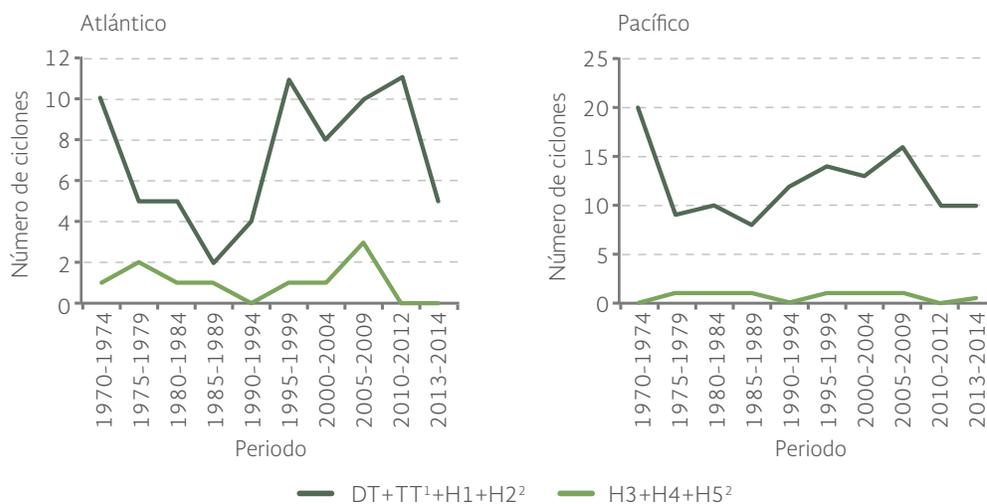
¹ H=Huracán, ciclón tropical de núcleo caliente en el que el viento medio máximo en superficie es de 118 km/h, o superior. El número corresponde a la escala Saffir-Simpson.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2015*. Biblioteca Mexicana del Conocimiento. México 2015.

En el Atlántico se han incrementado la temperatura superficial oceánica y la intensidad de los ciclones, pero no su ocurrencia (Holland y Webster, 2007; IPCC, 2013). No existe una tendencia clara en su frecuencia en el Atlántico mexicano entre 1970 y 2010 (Figura 5.24). En el Pacífico mexicano el número total de ciclones presenta menos variación que la observada en el Océano Atlántico y ninguna tendencia clara en su frecuencia e intensidad en los últimos años. En 2015 alcanzó las costas mexicanas uno de los huracanes más intensos registrados en la historia moderna: en el mes de octubre, el huracán Patricia, clasificado como huracán categoría 5 de la escala Saffir-Simpson, tocó las costas de los municipios de la Huerta y Cihuatlán, en Jalisco. Los registros apuntaron a vientos máximos sostenidos de 324 kilómetros por hora y rachas de hasta 400 kilómetros (Conagua, s/a). Para el futuro, se ha proyectado que a finales de siglo aumente la intensidad de los ciclones tropicales entre 2 y 11% como consecuencia del aumento de temperatura (Bender *et al.*, 2010; Knutson *et al.*, 2010).

Figura 5.24 | *Ciclones tropicales que han impactado México, 1970 - 2014*



Notas:

¹ DT: depresión tropical

TT: tormenta tropical

² H1, H2, H3, H4 y H5 se refieren a huracanes con diferentes intensidades de acuerdo con la escala Saffir-Simpson que va de 1 a 5.

Fuente:

Conagua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN). Conagua. México. 2015.

Tornados

Los tornados son perturbaciones atmosféricas que se forman por el choque de masas de aire con diferente densidad, temperatura, humedad y velocidad (Cenapred, 2014). La velocidad del viento generada por un tornado oscila, por lo general, entre los 60 y los 420 kilómetros por hora y su duración puede ser de minutos y en casos excepcionales de varias horas. En algunos casos, las consecuencias de los daños que causan a viviendas e infraestructura pueden ser muy significativas.

La mayor parte del territorio mexicano es susceptible a tornados de pequeña intensidad; estacionalmente son más frecuentes en la transición de primavera a verano y en la época lluviosa (Macías Medrano y Avendaño García, 2014). En los últimos 15 años se han presentado 130 tornados en el país (Conagua, 2015). Algunos de los más recientes son los de Tangancicuaro, Michoacán (2014), San Cristóbal de las Casas, Chiapas (2014) y el de Acatlán, Hidalgo (2015).

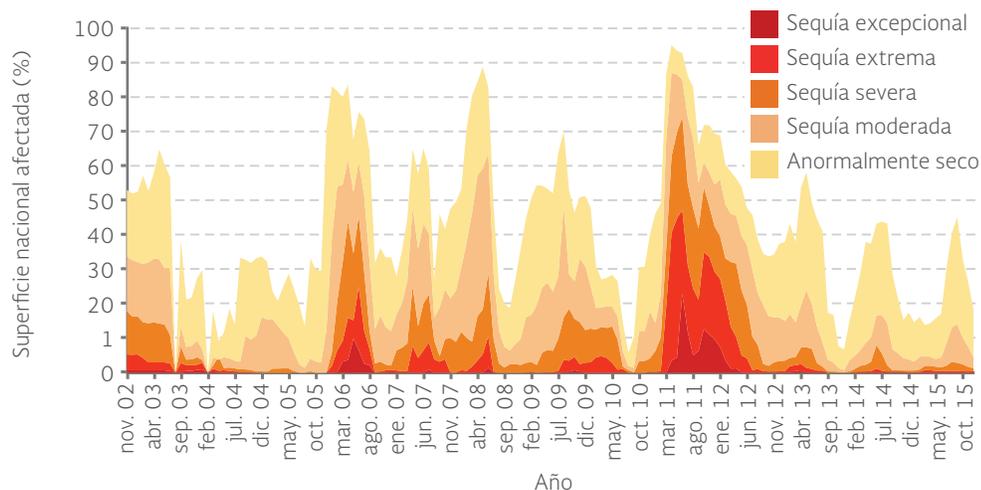
En mayo de 2015, Ciudad Acuña, en Coahuila, fue impactada por un tornado categoría EF3 (escala Fujita mejorada¹⁹), con vientos del orden de 50 kilómetros por hora y rachas mayores a 200 kilómetros. La población afectada fue de alrededor de 6 500 personas, además de ocho decesos (Conagua, 2015).

Sequías

A diferencia de la aridez, que puede ser una condición natural de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal, en la cual el nivel de la precipitación es significativamente menor a la normal, lo que puede ocasionar serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996). Entre sus efectos más importantes pueden mencionarse la pérdida de la productividad de las tierras y de la provisión de servicios ambientales de los ecosistemas afectados (con sus importantes consecuencias económicas y sociales).

Según el IPCC, a partir de 1970 se han registrado sequías más intensas y largas en los trópicos y subtropicales (IPCC, 2007, 2014). En México, durante el siglo XX se registraron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, así como una sequía severa en 1998, los cuales afectaron principalmente a los estados del norte del país (Cenapred, SEGOB, 2001). Recientemente se presentaron severos periodos de sequía entre 2000 y 2003, en 2006, entre 2007 y 2008, en 2009 y entre 2010 y 2012 (Figura 5.25). En mayo de 2011, más del 90% de la superficie del país se consideraba afectada por la sequía. En 2014 y 2015 el porcentaje de superficie afectada fue menor al 50% de la superficie nacional.

Figura 5.25 | Superficie nacional afectada por sequía en México, 2002 - 2015



Fuente:

Conagua. *Monitor de Sequía de México*. Servicio Meteorológico Nacional. Conagua. México. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=74. Fecha de consulta: mayo de 2016.

¹⁹ Es la escala empleada para medir la fuerza de los tornados tomando como base los daños que ocasionan. La versión mejorada sustituye a la de Fujita-Pearson de 1971, con seis niveles que van del EF0 al EF5 y que ascienden en la intensidad de los daños.

La recurrencia de la sequía puede agravar las condiciones de estrés ambiental y, por tanto, afectar severamente el entorno social y la continuidad de las actividades económicas de las regiones afectadas. Entre 2010 y 2015, si se consideran tan sólo las condiciones de sequía severa y extrema, 45% del territorio sufrió cuando menos dos años de sequías²⁰, principalmente en la mitad norte del país y en casi la totalidad de la península de Yucatán (Figura 5.26). La superficie afectada por cinco y seis años de sequías extremas y severa fue de tan solo del 0.4% del país, concentrada en la zona fronteriza de Coahuila con los Estados Unidos. De este porcentaje, 0.27% correspondió a zonas con cinco años de sequías y el restante 0.13% a regiones con seis años de sequía consecutivos.

Impactos sobre la biodiversidad

El clima es uno de los principales factores que determinan los patrones de vegetación, estructura y composición florística y faunística. En la actualidad contamos con información relevante que demuestra los efectos del cambio climático global sobre las especies y sus ecosistemas (ver IPCC, 2013). En el caso de las especies, los cambios en las condiciones ambientales de sus hábitats alteran, entre otros procesos biológicos, los patrones fenológicos, como son las fechas de floración, anidación, alimentación o migración. En Suiza, por ejemplo, los cerezos silvestres (*Prunus avium*) florecen en años recientes en promedio hasta 16 días antes de la fecha en la que lo hacían en la década de 1950 y su temporada de crecimiento se ha extendido por el aumento de las temperaturas en cerca de 3 días por década desde 1951 (ver Vittoz *et al.*, 2013).

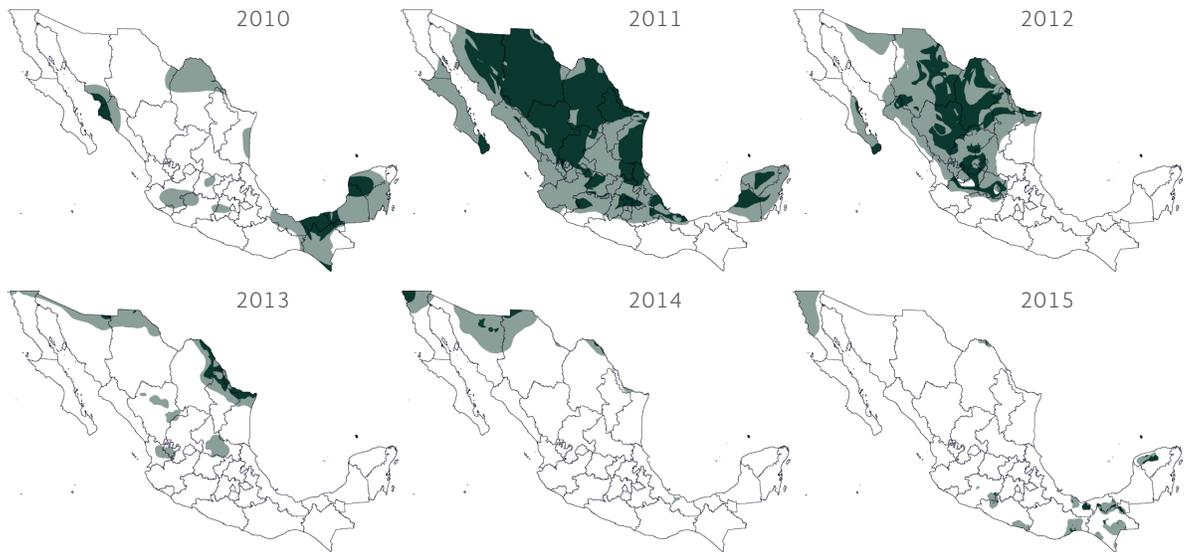
A nivel de los ecosistemas se han documentado: i) la modificación de los límites de su distribución, ii) el reemplazo de ecosistemas, iii) la degradación, y iv) la modificación de su composición de especies (IPCC, 2002). A lo anterior deben sumarse los efectos ocasionados por el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (p. ej. huracanes, sequías, inundaciones, granizos y rachas de vientos), así como la presencia de plagas y enfermedades que también tienen efectos importantes en la estructura, composición y dinámica de muchos ecosistemas a lo largo del mundo.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad ya es apreciable en nuestro país. Los cambios se presentan principalmente en los bosques de coníferas latifoliadas y el bosque mesófilo; así como en el medio marino y los ecosistemas insulares (Challenger y Dirzo, 2008). No obstante, en otros ecosistemas también han sido registrados impactos significativos, como en el caso de los matorrales xerófilos. En un estudio realizado en un área de la zona fronteriza entre México y los Estados Unidos (ver Brown *et al.*, 1997), en donde la precipitación invernal se incrementó substancialmente durante el siglo XX, la cobertura de los arbustos aumentó significativamente desde la década de los años ochenta, y con ella cambió la composición de especies del ecosistema. Especies clave como la rata canguro y algunas especies de hormigas se extinguieron localmente; otras especies antes comunes se hicieron raras (dos especies de lagartijas cornudas del género *Phrynosoma*) y especies poco comunes, como el roedor *Chaetodipus bayleii* (común a zonas arbustivas) se hicieron más abundantes.

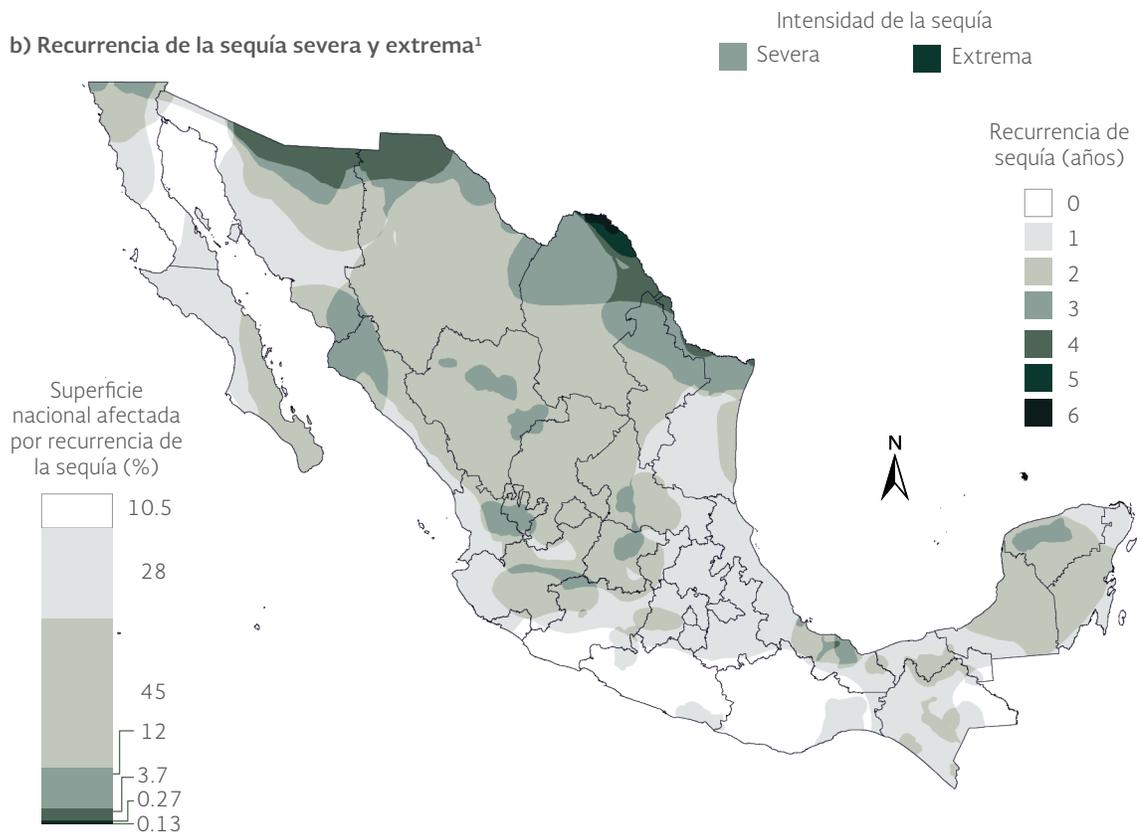
²⁰ El número de años de recurrencia de sequía no necesariamente corresponde a años consecutivos.

Figura 5.26 | Recurrencia de las sequías severa y extrema en México, 2010 - 2015

a) Sequía anual



b) Recurrencia de la sequía severa y extrema¹



Nota:

¹ La intensidad de la sequía es con base al Monitor de Sequía de América del Norte (NADM).

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Semarnat, Conagua. Monitor de Sequía en México. Semarnat, Conagua. México. Junio 2016.

Es importante apuntar que no obstante que el cambio climático tiene actualmente efectos importantes en los ecosistemas nacionales, los principales factores de cambio que continúan afectando negativamente a la biodiversidad son la destrucción de los hábitats, la sobreexplotación de organismos silvestres y la presencia de especies invasoras.

LA CAUSA DEL CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO: INCREMENTO EN LA EMISIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LOS GEI

Los gases de efecto invernadero (GEI) se emiten tanto por fuentes naturales como por las actividades humanas. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente antropogénica emisora de GEI. A partir de la Revolución Industrial del siglo XVIII, y con mayor intensidad durante la segunda mitad del siglo XX, se aceleró la producción de bienes y servicios y con ello se produjo una mayor demanda y consumo de estos combustibles. Como consecuencia, las emisiones de GEI también aumentaron y se acumularon en la atmósfera, lo que de acuerdo con la evidencia científica disponible, ha promovido el cambio climático (IPCC, 2013).

Emisiones globales

El volumen de emisión mundial de CO₂²¹ es representativo de la emisión total de GEI, ya que equivale a más del 70% de las emisiones totales y es para el cual se cuenta con información más confiable y homogénea a nivel mundial. Las estimaciones mundiales de emisión de CO₂ se enfocan principalmente en las generadas por el consumo y quema de combustibles fósiles.

Figura 5.27 | Emisión mundial de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, 1971 - 2013¹



Nota:

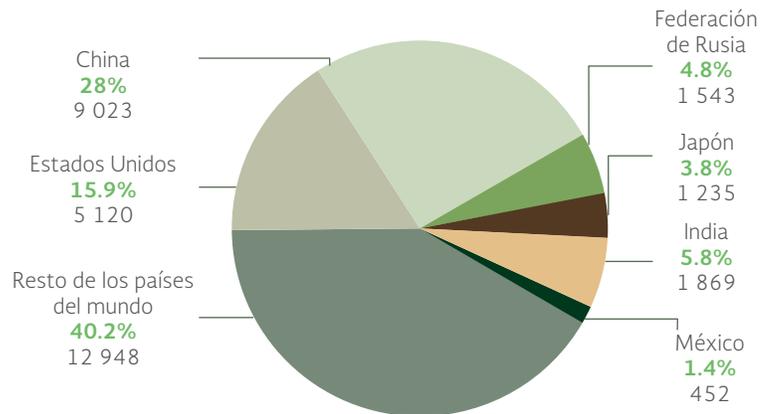
¹ No incluye las emisiones de búnkeres internacionales.

Fuente:

IEA. CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights. 2015 Edition. IEA. France. 2015.

²¹ El CO₂ es el GEI más importante debido a su volumen emitido, su larga vida en la atmósfera (entre 5 y 200 años), su forzamiento radiativo (1.3-1.5 Wm⁻²) y el notable incremento de su concentración en la atmósfera (IPCC, 2013).

Figura 5.28 | Contribución de los principales países emisores y México a la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles, 2013¹



Notas:

¹ No incluye las emisiones de bunkers internacionales.

² Millones de toneladas de bióxido de carbono y porcentaje.

Fuente:

IEA. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. 2015. IEA. France. 2015. Disponible en: www.iea.org/media/freepublications/stats/CO2Highlights2015Exceltables.xls. Fecha de consulta: agosto de 2016.

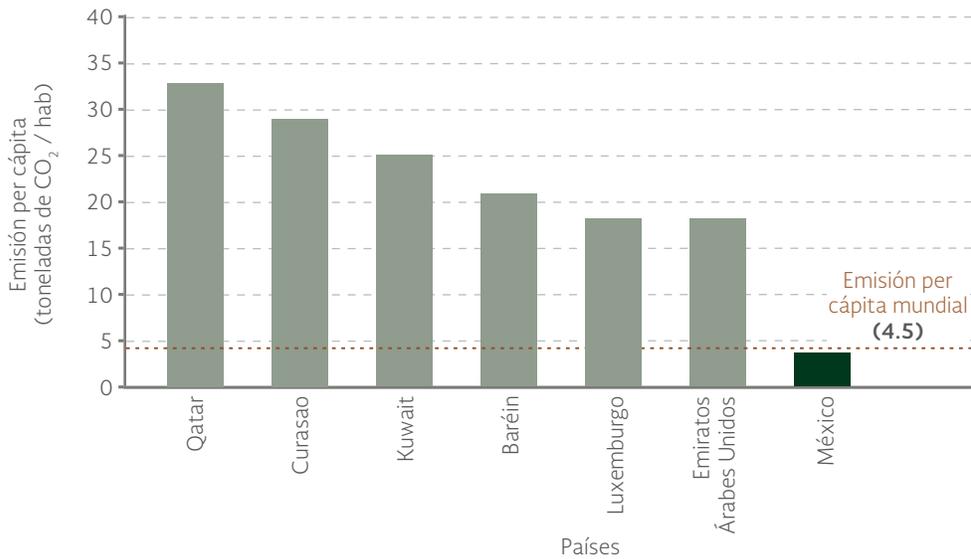
Durante el periodo 1971-2013, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 130% (Figura 5.27; **IB 1.2-1**). De acuerdo con el último informe publicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), en el año 2013, cinco países fueron responsables del 58.4% del CO₂ emitido a nivel mundial por consumo y quema de combustibles fósiles: Estados Unidos, China, Federación de Rusia, Japón e India, en conjunto emitieron 18 790 millones de toneladas de un total de 32.2 mil millones generadas en el planeta (Figura 5.28). Entre estos países, destacan China y Estados Unidos, responsables de 28 y 15.9% de las emisiones en el planeta en ese año, respectivamente. La contribución de México a las emisiones globales en 2013 fue de 1.4%, ubicándolo entre los primeros quince países por su volumen de emisión (Figuras 5.28 y 5.29). Si se considera la emisión de bióxido de carbono en el contexto regional sobresalen Asia, Norteamérica y Europa.

Las emisiones también se pueden analizar a nivel per cápita con el fin de evaluar la posible contribución promedio de cada habitante a la emisión de CO₂. A nivel mundial en 2013, destacaron Qatar (33.4 toneladas de CO₂ por habitante), Curasao (28.9), Kuwait (25), Baréin (21.2) y Luxemburgo y los Emiratos Árabes Unidos (cada uno con 17.9) como los seis principales emisores por habitante, con volúmenes que representaron entre cuatro y siete veces la emisión per cápita mundial (4.5 toneladas de CO₂ por habitante; Figura 5.29; IEA, 2015). En el caso de México, el valor varía ligeramente dependiendo de la fuente de datos, entre 3.46 (INECC, Semarnat, 2015) y 3.82 toneladas de CO₂ por consumo de combustibles fósiles por habitante (IEA, 2015). Estas cifras lo ubican en el lugar 69 a nivel mundial y como el más bajo dentro de los países de la OCDE (9.6 toneladas por persona), muy por debajo de la cifra de Luxemburgo (17.9), Australia (16.7) y Estados Unidos (16.2; IEA, 2015).

Un indicador útil para mostrar de manera indirecta la relación que guardan la economía de un país y su emisión de CO₂ es la llamada “intensidad de carbono”, que expresa el volumen de GEI que se emite por cada unidad de producto interno bruto (PIB) generada por una economía. A nivel global, según datos de la Agencia Internacional de Energía (2015), la intensidad de

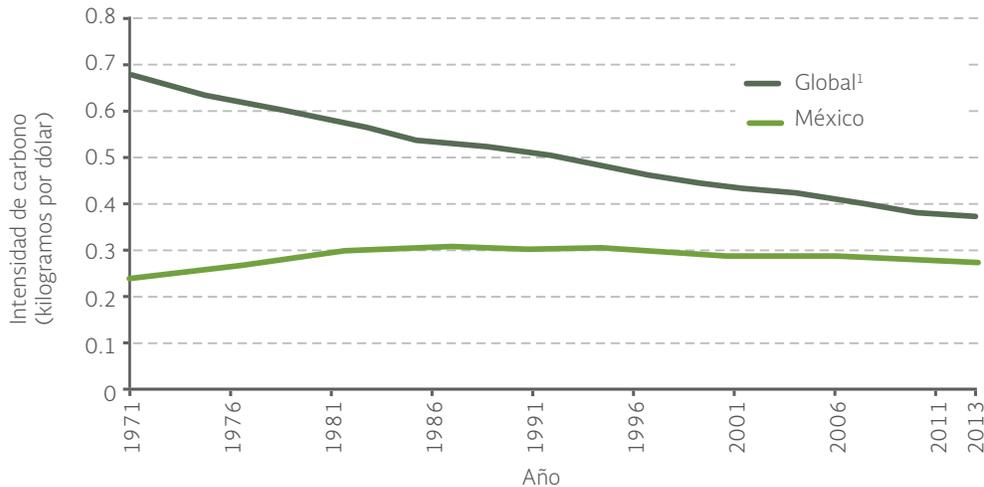
carbono global²² se redujo 27.8% entre 1990 y 2013, alcanzando en este último año un valor de 0.37 kilogramos por dólar²³ (IEA, 2015). En el caso de México, la misma fuente reporta una reducción de la intensidad de carbono, en el mismo periodo, de 0.3 a 0.28 kilogramos por dólar, lo que representa una reducción de 6.6% (Figura 5.30).

Figura 5.29 | Emisión per cápita de CO₂ en algunos países y México, 2013



Fuente: IEA. CO₂ Emissions from Fuel Combustion. 2015 Edition. IEA. France. 2015.

Figura 5.30 | Intensidad de carbono global y en México, 1971 - 2013



Nota: ¹ Sólo considera las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles.

Fuente: IEA. CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights. 2015 Edition. IEA. France. 2015.

²² Considerando exclusivamente la quema de combustibles fósiles.
²³ Considerando el poder de paridad de compra y dólares a precios de 2005.

En México, los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero se han publicado regularmente como parte de las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La primera de ellas se presentó en 1997 con datos de emisiones de 1990. Desde entonces se han publicado otras cuatro Comunicaciones con sus respectivos inventarios (Tabla 5.2).

En marzo de 2015, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) presentó al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos²⁴ de Efecto Invernadero (INEGyCEI 2013). En octubre del mismo año, el INECC publicó el INEGyCEI como parte del Primer Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático. El INEGyCEI

Tabla 5.2 | *Comunicaciones Nacionales de México ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*

<i>Comunicación y fecha de publicación</i>	<i>Periodo de datos reportados en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero</i>	<i>Descripción</i>
Primera, 1997	1990	-Primera estimación nacional de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI). -Incluye una visión general de las circunstancias nacionales respecto al cambio climático y los avances y resultados de los primeros estudios de vulnerabilidad del país ante el cambio climático.
Segunda, 2001	1994, 1996 y 1998	-Actualización del inventario nacional. -Las emisiones de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura sólo presentaron datos para 1996. -Incluyó escenarios de emisiones de GEI futuras.
Tercera, 2006	1990 a 2002	-Actualización y recálculo del inventario nacional. -Las emisiones de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura consideran el periodo 1993-2002.
Cuarta, 2009	1990 a 2006	-Incluye los avances nacionales en materia de cambio climático a partir de la publicación de la Tercera Comunicación. -Actualización y recálculo del inventario nacional.
Quinta, 2012	1990 a 2010	-Incluye los avances nacionales en materia de cambio climático entre la Cuarta y Quinta Comunicaciones Nacionales. -Incorpora el tema de cambio climático en ciudades. -Actualización y recálculo del inventario nacional.

Fuentes:

Semarnat. *Comunicaciones Nacionales de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Primera a Quinta)*. Semarnat. México. 1997 a 2012.
Semarnat. *Cambio Climático: una reflexión desde México*. Semarnat. México. 2012.

²⁴ La Ley General de Cambio Climático establece que además de los Gases de Efecto Invernadero, el Inventario también deberá cuantificar los compuestos de efecto invernadero, por lo que en 2013 se incluyeron las cuantificaciones de las emisiones de carbono negro.

2013 fue elaborado con un enfoque metodológico distinto a los inventarios presentados en las Comunicaciones Nacionales anteriormente presentadas. Este enfoque permitió contar con información de datos más puntual, precisa y desagregada; también empleó, en la medida de lo posible, factores de emisión acordes a la realidad nacional y por lo tanto una mejor precisión sobre las emisiones nacionales.

El cambio en la metodología utilizado en la elaboración del Inventario 2013 modificó, y en este caso de manera significativa, la estimación del total de emisiones de gases de efecto invernadero reportada en inventarios anteriores (realizados con métodos básicos, así como con información nacional agrupada por tipo de datos de actividad, como tipo de combustible o producción y uso de factores de emisión por defecto del IPCC). Como resultado, la información de emisiones correspondiente al año 2013 no es comparable con la serie histórica que se presentó en la Quinta Comunicación Nacional, por lo que no debe interpretarse como la actualización de la serie 1990-2012 que se presenta en el BUR. Las emisiones de la serie histórica no fueron estimadas con el enfoque metodológico del 2013, por falta de información confiable y completa para estos años. Para mayores detalles respecto a las emisiones nacionales derivadas de ambas metodologías, consultar el recuadro de [Inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en México](#).

De acuerdo con el INEGyCEI 2013, elaborado con datos de 2013 y la metodología revisada, las emisiones totales de CO₂equivalente²⁵ en ese año fueron de 665 Mt. Las fuentes móviles, principalmente el autotransporte (26.2%) y la generación de energía eléctrica (19%) fueron los sectores que más contribuyeron al total de emisiones. Le siguen en importancia el sector industrial (17.3%), el de petróleo y gas (12.1%) y el agropecuario (12%), aunque en este último caso, resalta su contribución a la generación de metano. Las emisiones atribuibles a los residuos y al uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura no sobrepasaron el 5% cada una (Figura 5.31).

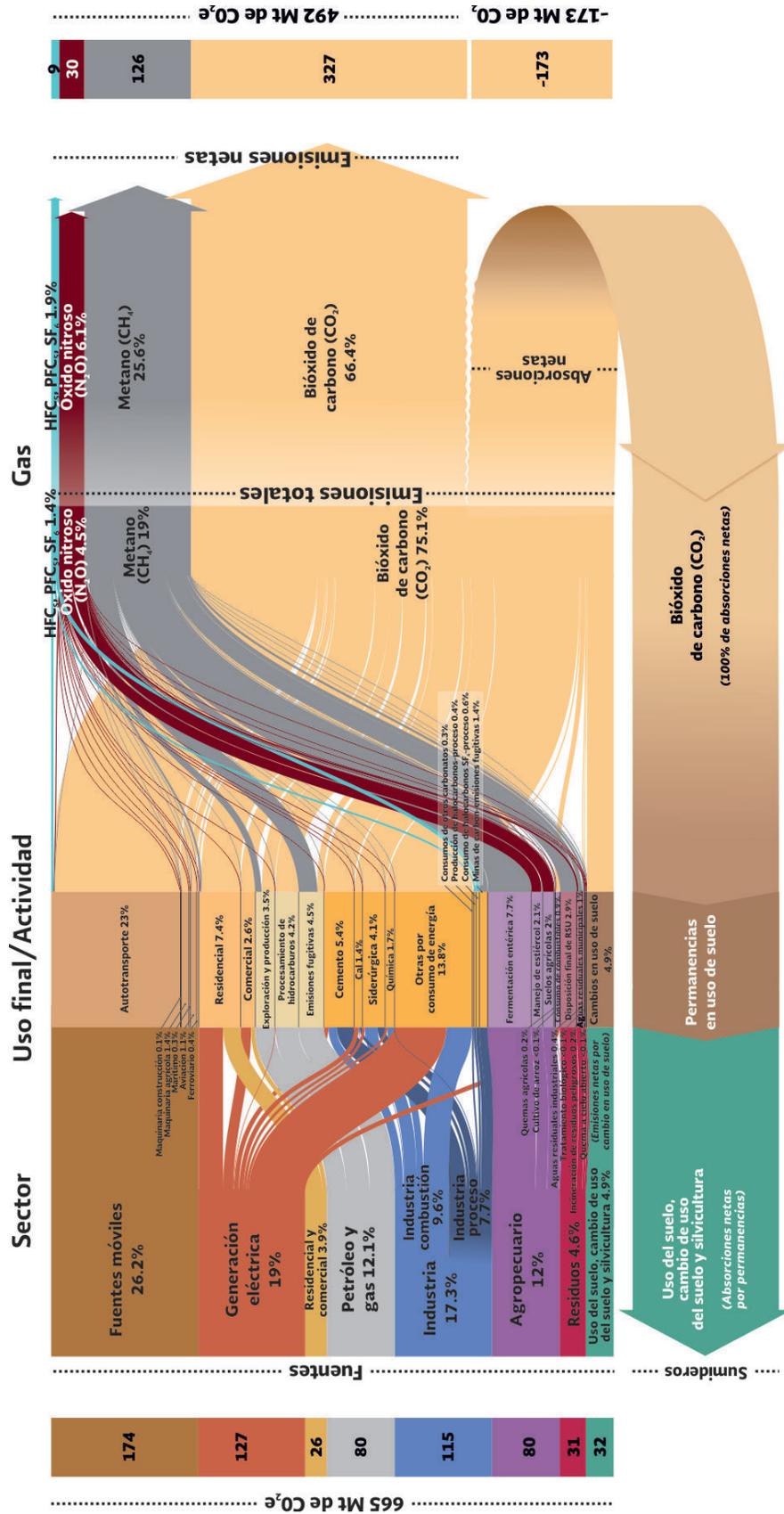
En términos de la composición de las emisiones totales de los GEI, el CO₂ fue el gas de mayor generación (499.7 Mt, 75.1%), seguido por el metano (19%) y el óxido nitroso (4.5%). En este Inventario también se estimó por primera vez la cantidad de CO₂ absorbido por la vegetación natural del país (especialmente bosques y selvas), que ascendió a 173 Mt. El balance de las emisiones y absorciones de GEI muestra que en 2013 la emisión neta del país fue de 492 Mt de CO₂equivalente (Figura 5.31).

Adicionalmente a la estimación de las emisiones de GEI, también se calcularon las emisiones del carbono negro (CN)²⁶, un compuesto climático de vida corta (CCVC). Para más detalles

²⁵ CO₂ equivalente (CO₂ e) corresponde al 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 el volumen de dicho gas por su potencial de calentamiento. El potencial de calentamiento de los GEI se establece con base en el potencial de calentamiento del bióxido de carbono, al que se le ha asignado un potencial de calentamiento equivalente a la unidad (IPCC, 2013).

²⁶ El carbono negro es un agregado de partículas microscópicas (un porcentaje de las PM_{2.5}) con un núcleo de carbono que puede estar rodeado de otros compuestos orgánicos, sulfatos y nitratos.

Figura 5.31 | Emisiones de gases de efecto invernadero nacionales, 2013



Fuente: INECC y Semarnat. 2015. Primer Informe Bienal ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC, Semarnat. México.

Los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero en el país han sido calculados utilizando diferentes metodologías que pretenden obtener cada vez mejores estimaciones y mayores detalles respecto a las fuentes de emisión. Su publicación responde al compromiso internacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes los inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el Protocolo de Montreal (INECC, 2013).

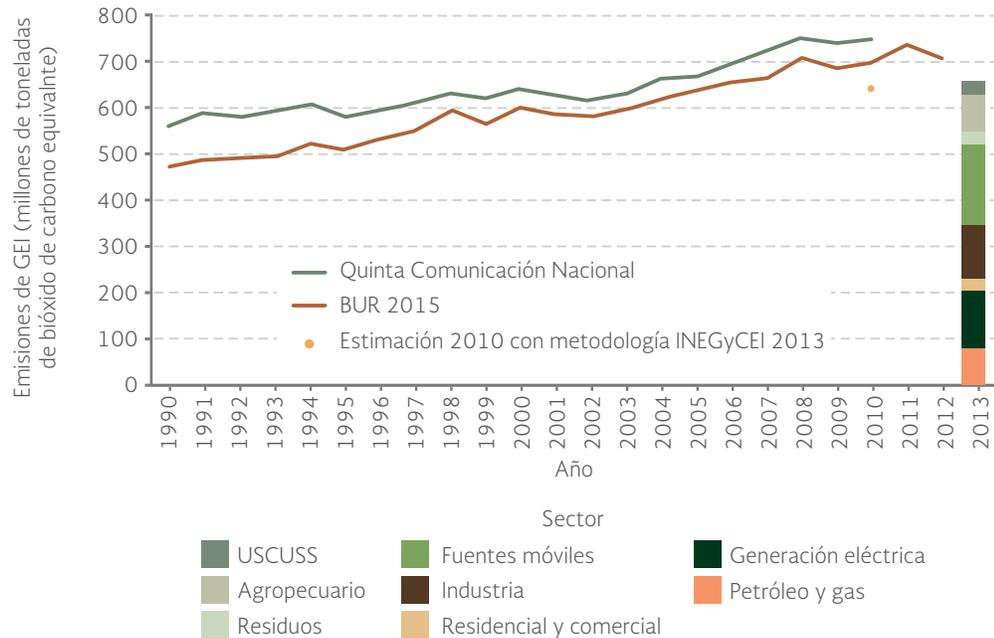
La primera estimación nacional empleó datos del año 1990; formó parte de la Primera Comunicación Nacional (1997) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Para la Segunda Comunicación (2001) se calcularon las emisiones de los años 1994, 1996 y 1998 con la metodología revisada en 1996 por el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). En 2006, la Tercera Comunicación Nacional incluyó nuevos cálculos para el periodo 1990-2002. La Cuarta Comunicación Nacional (2009) presentó datos para el periodo 1990-2006 y a finales de 2012 se publicó la Quinta Comunicación Nacional con datos de la serie histórica para el periodo 1990-2010 (Figura a).

En el año 2015 se presentó la actualización del INEGEI con mejoras metodológicas con respecto a inventarios anteriores. Con la nueva metodología empleada se calculó, hasta donde la información de los sectores lo permitió, las emisiones de GEI para la serie histórica 1990-2012¹, la cual se publicó como parte del Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (BUR, por sus siglas en inglés; Figura a).

El Inventario más reciente corresponde a las emisiones nacionales del año 2013 (INECC-Semarnat, 2015). El Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) 2013 fue elaborado con un enfoque metodológico distinto a los inventarios presentados en las Comunicaciones Nacionales anteriormente. Este enfoque permitió contar con información de datos más puntual, precisa y desagregada; y empleó, en la medida de lo posible, factores de emisión acordes a la realidad nacional, por lo que da una información más realista de las emisiones nacionales.

¹ Esta serie comprende las estimaciones de las emisiones por fuentes y sumideros para el periodo 1990-2012 en cinco de las seis categorías de emisión definidas por el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés): energía (categoría 1), procesos industriales (2), agricultura (4), USCUSS (5) y desechos (6). De la categoría de solventes (3) no se presentan resultados. Respecto a los GEI, consideró los incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, SF₆ y perfluorocarbonos (PFC). La serie se reporta con el Potencial de Calentamiento Global a 100 años (PCG100) contenido en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés).

Figura a | Emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, 1990 - 2013



Fuentes:

INECC, Semarnat. Coordinación del Programa de Cambio Climático. INECC, Semarnat. México. 2012.
 INECC, Semarnat. Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015.
 INECC, Semarnat. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2015.

Este nuevo inventario incluye la estimación de las emisiones por fuentes y sumideros para los sectores: 1) generación eléctrica, 2) petróleo y gas, 3) fuentes móviles de autotransporte y no carreteras, 4) industria, 5) agropecuario, 6) uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUS), 7) residuos y 8) residencial y comercial. Los GEI que se incluyeron fueron el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Dada la importancia del carbono negro (CN), el INEGyCEI 2013 también incluyó estimaciones de sus emisiones para los sectores mencionados.

De acuerdo con este inventario, la emisión nacional de gases y compuestos de efecto invernadero en 2013 fue de 665 mil toneladas de CO₂ equivalente. Las actividades con mayor emisión de GEI fueron en ese año las fuentes móviles (26%), la generación de energía eléctrica (19%) y las industriales (17%; Figura a)².

Debido a que el cambio de metodología empleado en este nuevo inventario no permite una comparación directa válida con las cifras reportadas en inventarios anteriores (esto es, no es

² Para mayores detalles de la emisión de GEI por los distintos sectores considerados en el inventario de 2013, referirse al texto principal de la sección de *Emisiones nacionales*.

correcto interpretar los cambios observados entre los años 2012 y 2013 como cambios reales en las emisiones), se hizo un ejercicio para evaluar de qué magnitud era el cambio en las cifras reportadas atribuibles simplemente al cambio de método y no a variaciones temporales reales de las emisiones nacionales. Empleando el método del INEGyCEI 2013 (hasta donde las fuentes de información lo permitieron) se encontró que las emisiones estimadas del año 2010 serían aproximadamente 7% menores que las estimadas para el BUR e inferiores en poco menos del 15% a las reportadas en la Quinta Comunicación Nacional para ese mismo año.

La información del INEGyCEI 2013 sirvió como base para la elaboración de la Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (iNDC, por sus siglas en inglés) que México presentó ante la CMNUCC en el primer trimestre del 2015 como parte de los preparativos para la vigésimo primera sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) de la CMNUCC.

Referencias:

INECC, Semarnat. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. INECC Semarnat. México. 2013.

INECC, Semarnat. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2015.

Tabla 5.3 | Emisiones nacionales de carbono negro (CN) por sector, 2013

Sectores	Emisión (Gg)
Petróleo y gas	2.17
Generación eléctrica	8.46
Residencial y comercial	19.01
Industria ¹	35.42
Fuentes móviles	47.34
Residuos ²	0.23
Agropecuario	8.86
USCUSS ³	3.61
Total	125.1

Notas:

La suma de los parciales pueden no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

¹ Principalmente de la quema de bagazo en los ingenios azucareros.

² Incluye quema a cielo abierto de RSU y la incineración de residuos peligrosos.

³ Por los incendios forestales.

Fuentes:

INECC, Semarnat. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2015.

sobre este contaminante consultar el recuadro **La importancia del carbono negro en el calentamiento global**. El CN se produce principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles como el diésel y el combustóleo, así como por la quema de leña y otra biomasa. Debido a su gran capacidad para captar la radiación solar, se considera que este compuesto de vida corta es el que más ha contribuido al calentamiento global después del CO₂.

Según las estimaciones del INECC, en el año 2013 se generaron en el país 125.1 Gg de CN, siendo el sector de las fuentes móviles el que más contribuyó, con cerca el 37.8% (47.3 Gg) de las emisiones totales; le siguieron en importancia el sector industrial con 28.3% (35.42 Gg, principalmente por la quema de bagazo en ingenios azucareros) y el sector residencial y comercio con 15.2% (19.01 Gg; Tabla 5.3).

Recuadro | La importancia del carbono negro en el calentamiento global

El carbono negro (CN) tiene un papel importante y único en el sistema climático de la Tierra debido a que absorbe la radiación solar, influye en los procesos de formación y en la dinámica de las nubes y altera significativamente el proceso de derretimiento de la nieve y las cubiertas de hielo. Está formado generalmente por agregados de partículas microscópicas de carbón rodeadas por compuestos orgánicos y pequeñas cantidades de sulfatos y nitratos. Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles como el diésel y el combustóleo, así como por la quema de leña y otra biomasa.

El CN forma parte de los llamados contaminantes climáticos de vida corta (CCVC)¹, los cuales tienen un importante potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) y un tiempo de vida en la atmósfera más corto que el bióxido de carbono. Recientemente se ha incrementado el conocimiento de los efectos del carbono negro en la atmósfera y sus contribuciones al forzamiento radiativo planetario (ver IPCC, 2013) dado por sus diferentes componentes, que son: la absorción de radiación, su reflexión (el denominado “albedo”) y sus complejas interacciones con otros aerosoles y la formación de nubes (Bond *et al.*, 2013; Tabla a). La Tabla a muestra la gran incertidumbre en la estimación de sus efectos a corto (20 años) y a largo (100 años) plazos, reflejando los grandes retos para entender y cuantificar sus efectos.

Aun cuando existe en la actualidad una importante incertidumbre en la comunidad científica acerca del potencial de calentamiento real de este contaminante (Figura a), se reconoce que ha sido, después del bióxido de carbono, uno de los contaminantes que puede haber contribuido más al cambio climático, estimándose que su impacto podría rondar incluso el 15% del efecto de calentamiento².

Tabla a | Estimaciones del potencial de calentamiento global (PCG) del carbono negro (CN)¹ y el carbono orgánico (CO)² a 20 y 100 años

	PCG	
	20 años	100 años
CN total, global ^c	3 200 (270 a 6 200)	900 (100 a 1 700)
CN (cuatro regiones) ^d	1 200 + 720	345 + 207
CN global ^a	1 600	460
CN interacción aerosol-radiación-albedo global ^b	2 900 + 1 500	830 + 440
CO global ^a	-240	-69
CO global ^b	-160 (-60 a -320)	-46 (-18 a -19)
CO (cuatro regiones) ^d	-160 + 68	-46 + 20

Notas:

¹ CN: Carbono negro

CO: Carbono orgánico

² a Fuglestvedt *et al.* (2010).

b Bond *et al.* (2011). Uncertainties for OC are asymmetric and are presented as ranges.

c Bond *et al.* (2013). Metric values are given for total effect.

d Collins *et al.* (2013). The four regions are East Asia, EU + North Africa, North America and South Asia (as also given in Fry *et al.*, 2012). Only aerosol-radiation is included.

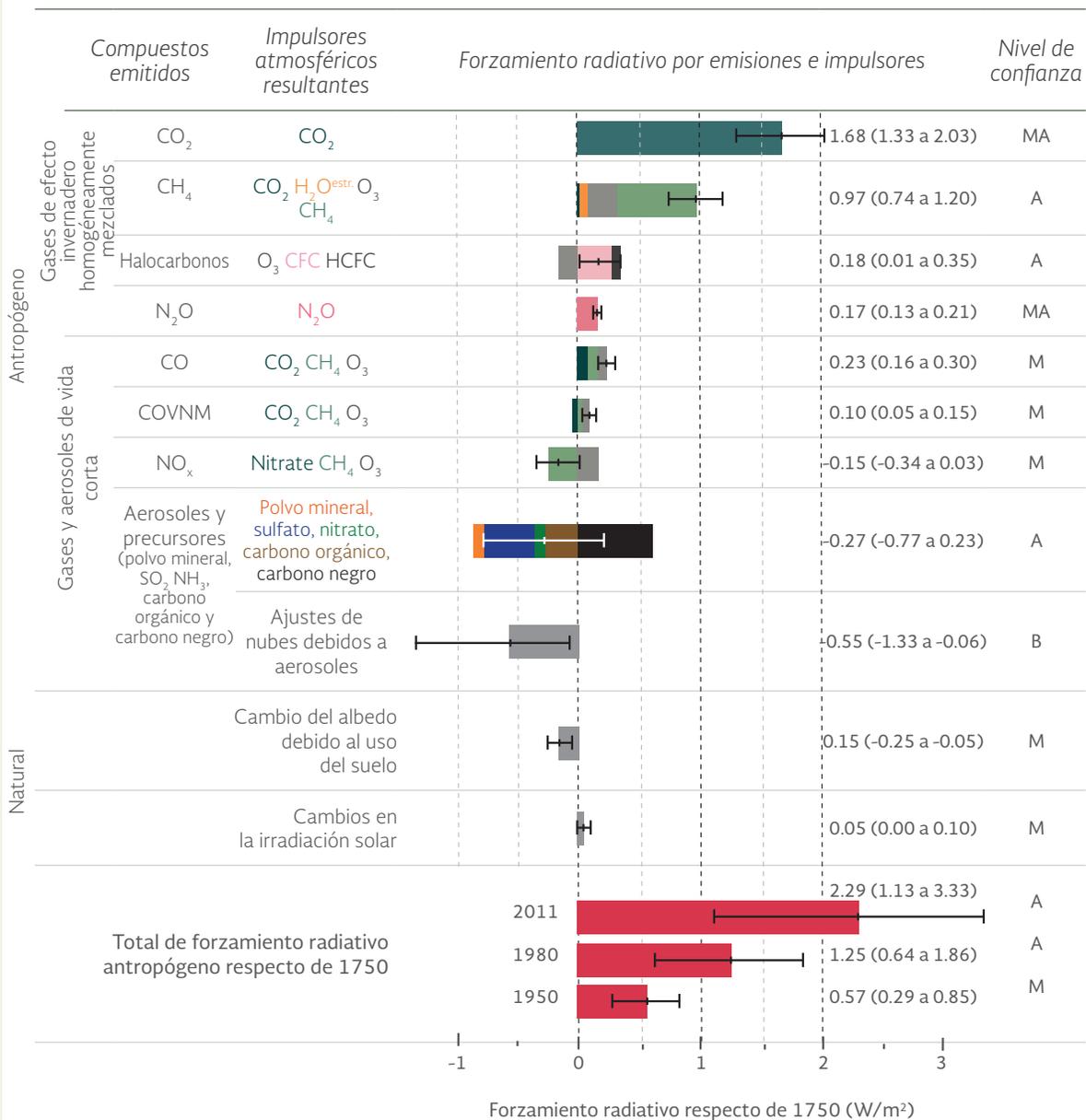
Fuente:

IPCC. *Fifth Assessment Report (AR5)*. IPCC. 2013, 2014.

¹ Otros contaminantes climáticos de vida corta, junto con el carbono negro, son el metano, los HFC y HCFC.

² Ver Jacobson, M.Z. Testimony for the hearing on black carbon and global warming. House Committee on Oversight and Government Reform United States House of Representatives, The Honorable Henry A. Waxman, Chair, 18 October. (2007).

Figura a | Forzamiento radiativo de algunos gases de efecto invernadero y contaminantes climáticos de vida corta



Nota:

Estimaciones de forzamiento radiativo en 2011 respecto de 1750, e incertidumbres agregadas de los principales impulsores del cambio climático. Los valores son el forzamiento radiativo medio global 14, dividido de acuerdo con los compuestos emitidos o procesos que resultan en una combinación de impulsores. Los valores numéricos del forzamiento radiativo se indican a la derecha de la figura, junto con el nivel de confianza en el forzamiento neto (MA: muy alto, A: alto, M: medio, B: bajo, MB: muy bajo). El forzamiento por albedo, debido al carbono negro sobre la nieve y el hielo, se incluye en la barra de aerosoles de carbono negro. No se muestran los forzamientos pequeños por estelas de condensación (0,05 W/m², incluidos los cirrus originados por estelas de condensación) y los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) (total de 0,03 W/m²). Los forzamientos radiativos correspondientes a las distintas concentraciones de gases se pueden obtener sumando las barras del mismo color. El forzamiento volcánico no se incluye, ya que su carácter episódico hace difícil la comparación con otros mecanismos de forzamiento. Se proporciona el forzamiento radiativo antropógeno total para tres años diferentes, en relación con 1750.

Fuente:

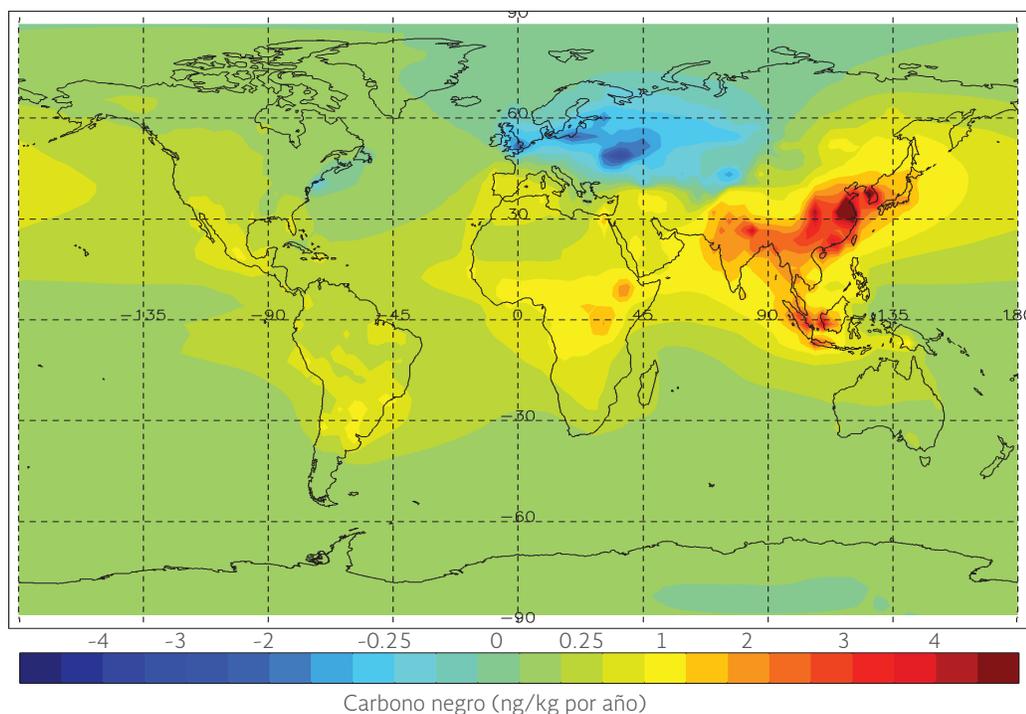
IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En: Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom y New York.

La concentración de carbono negro en la atmósfera varía regionalmente. Entre los años de 1970 y 2009, en los llamados países en desarrollo su concentración fue mayor que en otras regiones del planeta, observándose valores particularmente altos en ciertas zonas del centro y norte de la India y el noreste de China (Mapa a). Aunque no con la misma intensidad, los efectos de calentamiento de estos contaminantes también se aprecian en algunas zonas de Suramérica y gran parte del territorio mexicano.

El efecto del carbono negro en el ambiente no sólo produce el calentamiento de la atmósfera; también deteriora la calidad del aire y se le ha asociado con efectos negativos sobre la salud humana, básicamente por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, por sus vínculos a ciertos tipos de cáncer, a efectos mutagénicos y a muerte prematura, entre los más importantes.

Las acciones orientadas hacia el abatimiento de las emisiones de los CCVC podrían tener múltiples beneficios adicionales además de contribuir a la mitigación del cambio climático en el corto plazo; entre ellos destacan también el mejoramiento inmediato de la calidad del aire y por tanto de la salud de la población, así como la reducción de la pérdida de masas forestales por la deforestación.

Mapa a | Tendencias en la concentración troposférica media anual de carbono negro, 1970 - 2009



Fuente:
Chung, C. E., V. Ramanathan, Dohyeong Kim, y I. A. Podgorny. Global anthropogenic aerosol direct forcing derived from satellite and ground-based observations. *Journal of Geophysical Research* 110. 2015.

Referencia:

Fuente:

Modificado de:

Semarnat. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Semarnat. México. 2015.

Existen otros gases de efecto invernadero que, a pesar de que son emitidos en mucho menor volumen que el CO₂, 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 también 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 radiativo²⁷ de 0.18 Wm⁻², que es equivalente al 13% del forzamiento radiativo de todos los GEI mezclados mundialmente (IPCC, 2007a; 2013).

Las emisiones totales de GEI también pueden analizarse considerando el crecimiento económico del país medido a través del PIB. En la medida en que las emisiones de GEI y el PIB desacoplan su ritmo de crecimiento se considera que la economía mejora su eficiencia al tener menos emisiones asociadas. En México, la intensidad de emisiones en 2013 fue de 0.049 kilogramos de CO₂e por cada peso producido. En el mismo año, cada mexicano emitió alrededor de 6.04 toneladas de CO₂e considerando el total de emisiones nacionales de GEI. Para mayor detalle sobre las tendencias históricas de emisión per cápita y por PIB a nivel nacional, se sugiere ver la sección de **Efectos ambientales de la producción y el consumo** del capítulo de **Población y medio ambiente**.

Los gases de efecto invernadero en la atmósfera

La constante y creciente emisión de GEI ha causado su acumulación y el aumento de su concentración en la atmósfera; la vegetación y los cuerpos de agua, sus sitios naturales de absorción (llamados “sumideros”), no han sido suficientes para capturar la totalidad de las emisiones antropogénicas. Los registros históricos, que incluyen mediciones directas²⁸ y registros a partir de muestras conocidas como “testigos de hielo”²⁹, indican que la concentración atmosférica de CO₂ se mantuvo relativamente constante durante la época preindustrial, aumentó significativamente a partir de la segunda mitad del siglo XIX y se aceleró marcadamente durante la segunda mitad del siglo XX (Figura 5.32; **IB 1.2-4**). Mientras que la concentración preindustrial de CO₂ fue de alrededor de 280 partes por millón (ppm), en 2014 alcanzó 398 ppm (lo que significa un incremento de cerca del 43%) y en 2015 rebasó el umbral de las 400 ppm.



Otros gases, como el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) también han aumentado significativamente su concentración en la atmósfera en los últimos años. Sus concentraciones preindustriales fueron, respectivamente, de 270 y 715 partes por mil millones (ppmm). Entre 1979 y 2015, la concentración de óxido nitroso creció 9.5% (pasó de 300.2 a 328.6 ppmm), mientras que en el caso del metano lo hizo en 11.5% entre 1984 y 2015 (1 644.6 a 1 834 ppmm; Figura 5.33). Sus concentraciones de 2015 fueron, respecto a la época preindustrial, mayores en 21.7% para el caso del óxido nitroso y de 156.5% para el metano.

²⁷ Índice del peso del factor (en este caso el CO₂) como mecanismo potencial de cambio climático. Se refiere al cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar. Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie terrestre, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.

²⁸ Debido a que el CO₂ 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 Hawái, por lo que los datos recogidos en este lugar se consideran representativos de la dinámica temporal de la concentración global (Keeling y Whorf, 2005).

²⁹ Se refiere a muestras de hielo obtenidas por paleoclimatólogos con las que es posible describir el clima del pasado, ya que 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.

Figura 5.32 | Concentración global atmosférica de bióxido de carbono, 1010 - 2015



Notas:

¹ La concentración histórica de bióxido de carbono proviene de registros de muestras de hielo (1010-1955) y de mediciones directas de la atmósfera (1959-2015).

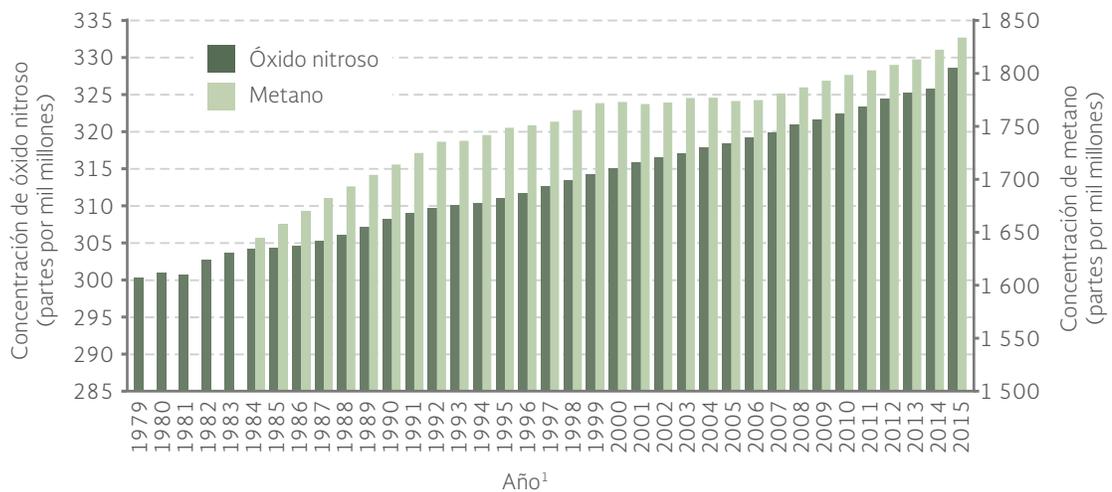
² La concentración preindustrial fue de alrededor de 280 ppm de acuerdo con el IPCC.

Fuentes:

Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.L. Langenfelds y R.J. Francey. Historical CO₂ records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. 1998. En: *Carbon Dioxide Information Analysis Center. Trends: A Compendium of Data on Global Change*. 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 CO₂ and ¹³C₂ 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 CO₂ Program. Atmospheric CO₂*. Disponible en: http://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2.html. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Figura 5.33 | Concentración global atmosférica de óxido nitroso y metano, 1979 - 2015



Nota:

¹ Los datos para metano son preliminares para 2015.

Fuentes:

CDIAC. *Atmospheric Trace Gas Measurements*. CDIAC. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

World Resources Institute. *Climate and Atmosphere Searchable Database. EarthTrends. The Environmental Information Portal*. 2008. Disponible en: <http://earthtrends.wri.org/index.cfm>. Fecha de consulta: noviembre de 2011.

El aumento de la concentración de GEI causa un incremento en la retención de calor en la atmósfera. Se ha estimado que el CO₂ es responsable de cerca del 60% del efecto invernadero acumulado desde el siglo XVIII, el CH₄ del 20%, el N₂O del 6% y los halocarbonos del 14% (PNUMA, 2002; IPCC, 2007a). El forzamiento radiativo del CO₂ 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 quinta evaluación del IPCC, el forzamiento radiativo combinado, debido al incremento de CO₂, CH₄, N₂O y halocarbonos es de 2.83 Wm⁻² y su tasa de incremento a lo largo de la era industrial es muy probable que no tenga precedente en los últimos 10 mil años.

IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Escenarios globales y en México

Para diseñar políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático es fundamental contar con escenarios del clima en el futuro. Esto permite prever, y con ello desarrollar, estrategias y acciones que permitan reducir la vulnerabilidad ante las probables condiciones venideras. Las proyecciones del clima se desarrollan empleando modelos climáticos, de muy diversa complejidad, que simulan cambios basados en diversos escenarios de concentración, emisiones de GEI y otros contaminantes atmosféricos, así como de los cambios en el uso del suelo.

Los escenarios globales que se presentan en los siguientes párrafos corresponden a los que generó el IPCC para su Quinto Informe (ver IPCC, 2015). De entre ellos, se eligieron dos que difieren básicamente en la magnitud de las emisiones de GEI que consideran en sus análisis (y por ello también difieren en su impacto en el sistema climático): el RCP2.6³⁰, llamado de “mitigación estricta”, y bajo el cual se considera probable mantener el calentamiento global a menos de 2 °C por encima de las temperaturas preindustriales³¹; y el RCP8.5³², un escenario cuya trayectoria correspondería a la ausencia de esfuerzos adicionales para limitar las emisiones de GEI³³.

En el caso de la temperatura superficial, según las proyecciones es *probable* que para finales de este siglo (2081-2100) aumente en 2 °C respecto a la media del periodo 1850-1900 para el escenario RCP8.5, pero sería *improbable* bajo el escenario de mitigación estricta (RCP2.6; Figura 5.34a; IPCC, 2015). Según el IPCC (2015), el calentamiento continuará más allá del siglo XXI, mostrando variabilidad interanual, decenal y regional; el Ártico se calentará más rápido que el resto del planeta y los continentes se calentarán más rápido que los océanos. Es muy probable también que las ondas de calor sean más frecuentes y largas.

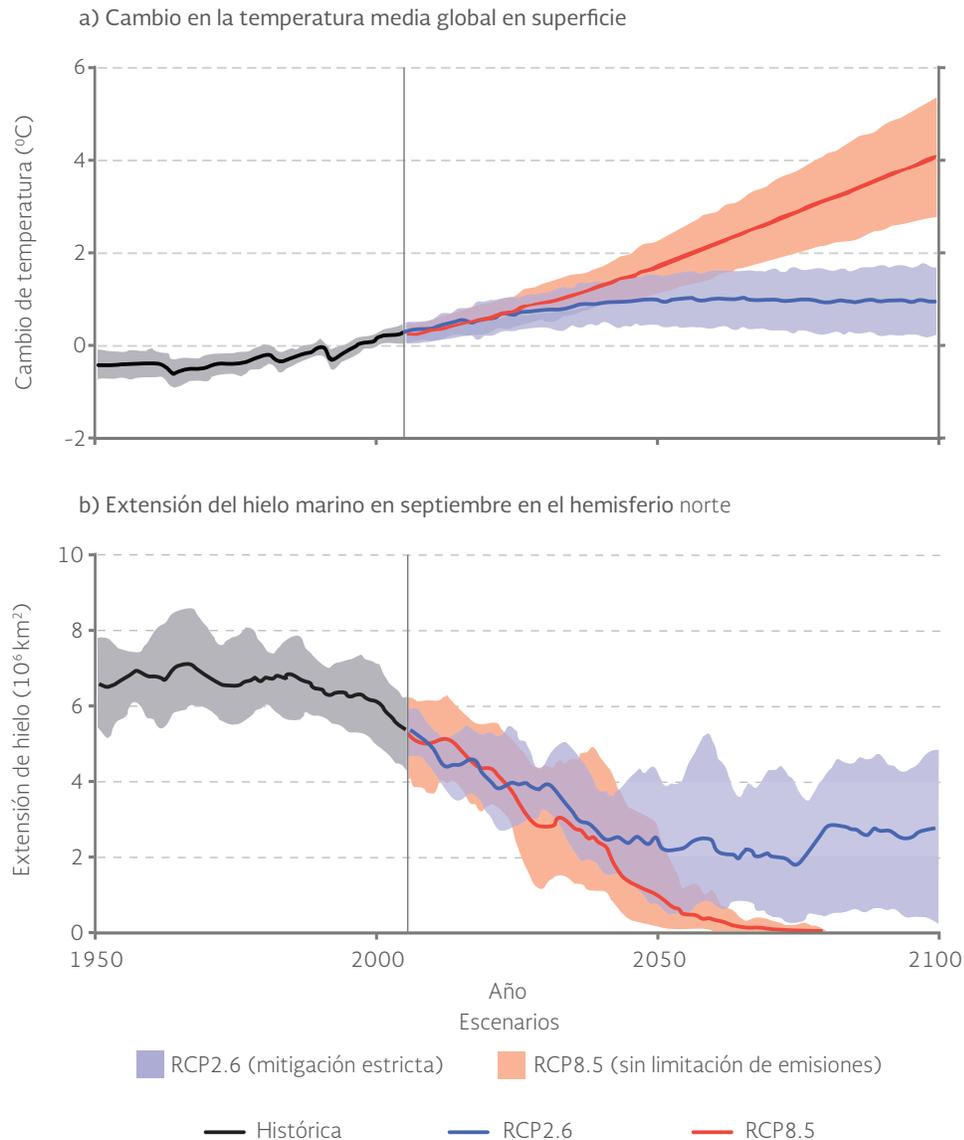
³⁰ Los escenarios utilizados en el Quinto Informe del IPCC reciben el nombre de “trayectorias de concentración representativas” (RCP, por sus siglas en inglés). El RCP2.6 corresponde a un forzamiento radiativo para el año 2100 de 2.6 Wm⁻² con respecto al valor de forzamiento de 1750 (considerado arbitrariamente como 0). Los escenarios con forzamientos cercanos a RCP2.6 se caracterizan por emisiones negativas netas para 2100, es decir, escenarios en los que se secuestran más GEI que los que se liberan en la atmósfera. Este escenario involucraría un menor calentamiento debido a una menor emisión y concentración de GEI en la atmósfera en comparación con el escenario RCP8.5.

³¹ Lo cual está acorde con los compromisos del Acuerdo de París obtenidos del año pasado, ver el Recuadro La COP21 y el Acuerdo de París.

³² Corresponde a un forzamiento radiativo para el año 2100 de 8.5 Wm⁻² con respecto al valor de forzamiento de 1750.

³³ Ninguno de los dos escenarios considera cambios en el forzamiento debidos a factores naturales, como es el caso por ejemplo, del causado por erupciones volcánicas, entre otros fenómenos.

Figura 5.34 | Cambios proyectados en la temperatura media global y el hielo marino en el hemisferio norte, 1950 - 2100



Nota:

¹ Las series temporales de las proyecciones y la medición de la incertidumbre (sombreado) se muestran en relación con los escenarios RCP2.6 (morado) y RCP8.5 (naranja). El color negro (sombreado gris) representa la evolución histórica en los modelos, utilizando forzamientos históricos reconstruidos.

Fuente:

IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* IPCC. United Kingdom y USA. 2013.

Los cambios también se reflejarán en los patrones de precipitación global, los cuales además no serán uniformes en el planeta. Se acentuará el contraste en los niveles de precipitación entre las regiones y estaciones húmedas y secas. Es probable que para finales de siglo aumenten las lluvias en las latitudes altas, regiones húmedas de latitud media y en el océano Pacífico ecuatorial, y que disminuyan en muchas regiones secas de latitudes medias y subtropicales (escenario RCP8.5).

Además, es *muy probable*³⁴ que las lluvias extremas sean más intensas y frecuentes en un gran número de zonas continentales de latitud media y en las regiones tropicales húmedas y es probable que se intensifique la variabilidad de las precipitaciones relacionadas con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) a escala regional (IPCC, 2015).

Respecto al hielo marino, para ambos escenarios considerados, las proyecciones muestran que en el Ártico se reducirá durante todo el año (Figura 5.34b). En el caso de los glaciares, para finales de este siglo, su volumen global, excluidos los de la periferia de Antártica, se reduciría entre 15 y 85% para el escenario RCP2.6 y entre el 35 y el 85% en el caso del escenario RCP8.5 (IPCC, 2015).

El calentamiento de los océanos, el deshielo de los glaciares y de los mantos de hielo continuarán provocando el incremento del nivel del mar durante el siglo XXI bajo los dos escenarios considerados. Es *muy probable* que para el periodo 2081-2100 el nivel del mar aumente con respecto al periodo 1986-2005 en más del 95% de la superficie oceánica, y que el 70% de las costas del mundo experimenten un cambio de nivel del mar (ya sea ascendente o descendente) de hasta un 20% del valor medio mundial. La elevación media mundial del nivel del mar proyectada para el periodo 2081-2100 varía dependiendo del escenario de concentración de GEI que se emplee, y va desde los 0.26 a los 0.98 metros; la tasa de elevación del nivel del mar durante el mismo periodo se espera que sea, bajo el escenario RCP8.5, mayor que la observada entre 1971 y 2010, alcanzando entre 8 y 16 milímetros anuales (Figura 5.35).

El cambio climático afectará también el ciclo del carbono, con lo que se intensificará el incremento de CO₂ en la atmósfera y en los océanos; ambos escenarios apuntan a que, como resultado, los mares y océanos se acidificarán³⁵ globalmente para finales del siglo XXI, sin embargo, bajo el escenario RCP2.5 podría presentarse una recuperación lenta a partir del 2050.

En el caso de México, recientemente el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), actualizaron los escenarios de cambio climático para el futuro cercano (2015-2039), futuro intermedio (2045-2069) y el futuro lejano (2075-2099), todo ello con el fin de aportar información útil para realizar estudios sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático³⁶. La actualización consideró los escenarios de cambio climático RCP4.5 (de bajas emisiones) y RCP8.5 (de altas emisiones) propuestos por el IPCC³⁷.

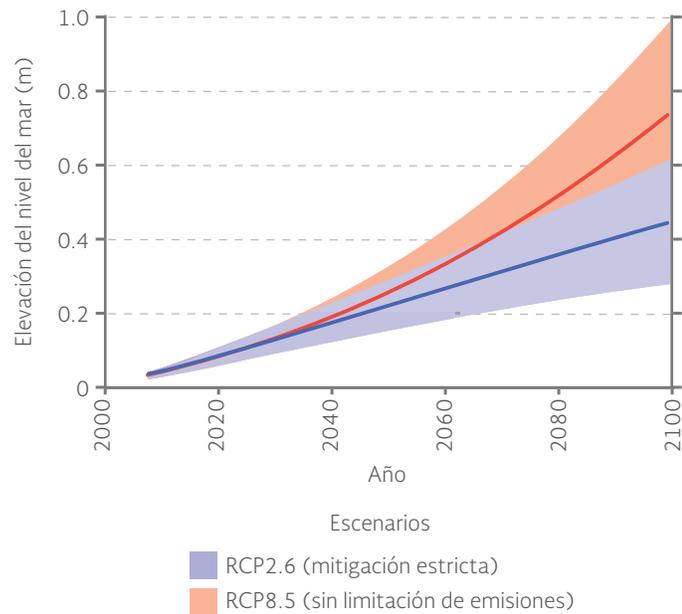
³⁴ Representa una probabilidad entre el 90 y 100%.

³⁵ Para mayor detalle sobre los cambios en el clima y ciclos biogeoquímicos, se recomienda revisar el último informe de evaluación del IPCC.

³⁶ Los escenarios pueden consultarse en la dirección electrónica: www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html.

³⁷ Actualmente el Grupo de Modelación del Clima integrado por las instituciones arriba mencionadas y bajo la coordinación del INECC trabajan en la actualización de los escenarios de cambio climático para México como parte de los trabajos de la Sexta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, misma que se publicará en el mes de junio de 2017.

Figura 5.35 | Elevación media mundial del nivel del mar¹ durante el siglo XXI, 2000 - 2100



Nota:

¹ La elevación es calculada con respecto al promedio del período 1986-2005.

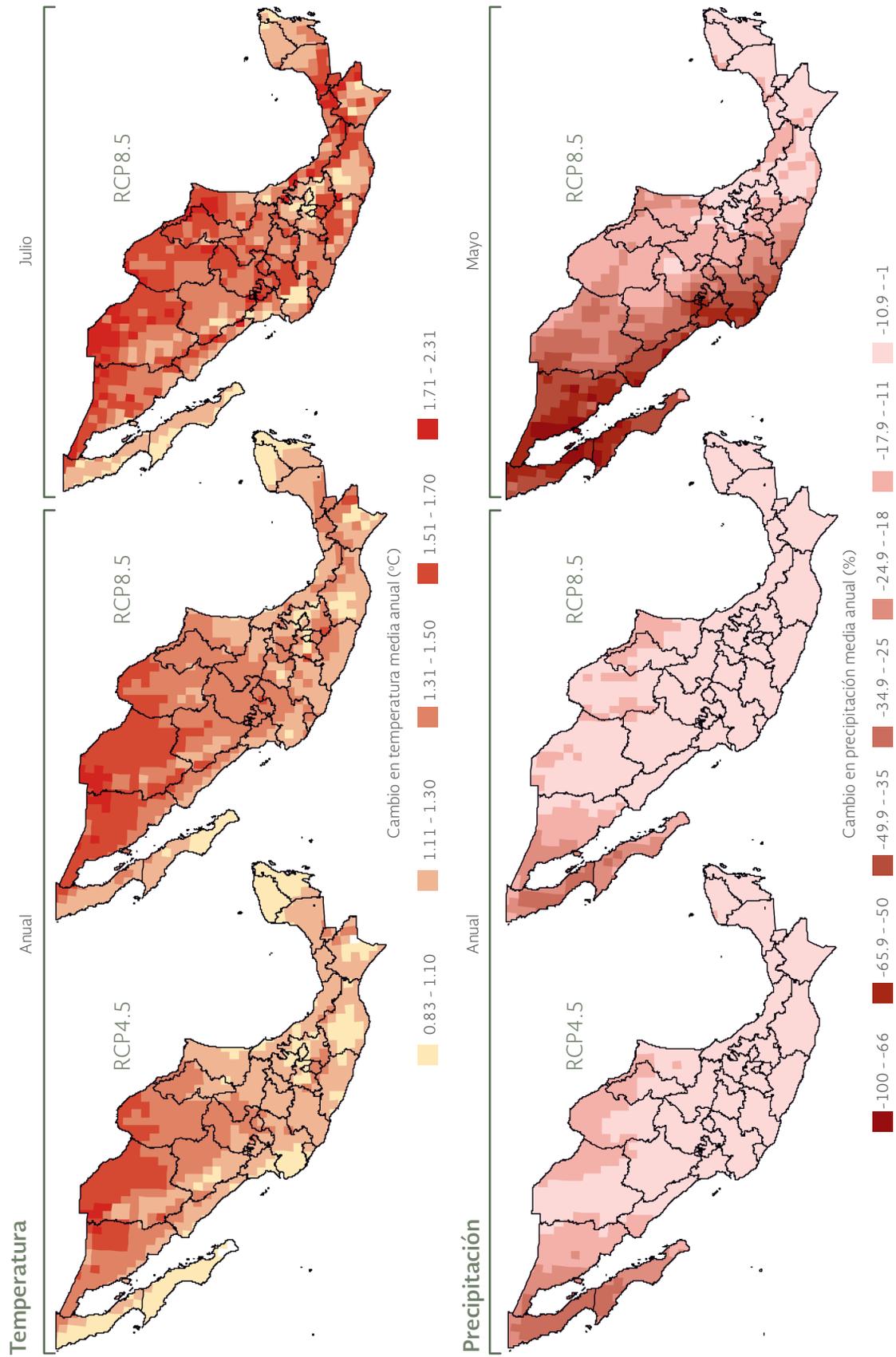
Fuente:

IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* IPCC. United Kingdom y USA. 2013.

En el caso de la temperatura promedio anual, ambos escenarios proyectan incrementos para el periodo 2015-2039 con referencia al periodo 1961-2000 para todo el país (Figura 5.36). Mientras que el escenario de bajas emisiones (RCP4.5) pronostica que la mayor parte del país registraría incrementos entre 1.1 y 1.3 °C, en el escenario de altas emisiones (RCP8.5) dominan en el territorio aumentos de entre 1.3 y 1.5 °C. En ambos casos, Chihuahua, Sonora y Coahuila serían los estados con los mayores aumentos de temperatura. Cuando se observa por separado el caso del mes típicamente más caliente del año (julio) bajo el escenario RCP8.5, alrededor de dos terceras partes de la superficie nacional registraría temperaturas entre 1.3 y 1.7 °C mayores que el promedio (Figura 5.36). En este último caso, algunas zonas del país podrían incrementar su temperatura en un intervalo entre 1.7 y 2.3 °C.

Con respecto a la precipitación (Figura 5.36), los dos escenarios pronostican una reducción en su valor promedio anual (respecto al periodo 1961-2000) sobre todo el territorio nacional para el periodo 2015-2039. La mayor parte del territorio reduciría su precipitación, bajo los dos escenarios, entre el uno y 11% de su valor promedio anual. Baja California, Baja California Sur y Sonora serían los estados más afectados bajo los dos escenarios con la reducción de entre el 25 y 35% de su precipitación anual. En el mes de mayo (generalmente el menos lluvioso del año), gran parte de zona occidente y noroeste del país podría reducir significativamente su precipitación. En algunas zonas de Sonora y Baja California, la magnitud de la reducción podría alcanzar entre el 66 y 100% de su promedio mensual histórico.

Figura 5.36 | Proyecciones de la temperatura y precipitación anuales promedio y para meses seleccionados en México bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, 2015 - 2039



Fuente: Elaboración propia con datos de: INECC, Semarnat. Cambio climático en México. Futuro cercano (2015-2039). Disponible en: www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/futuro-cercano-2015-2039. Fecha de consulta: junio de 2016.

A pesar de que actualmente ya se enfrentan los impactos del cambio climático, las proyecciones indican que con los cambios en el clima los impactos observados podrían intensificarse. Aunque la incertidumbre asociada a las proyecciones varía de acuerdo con el sector de que se trate, muchas de ellas tienen niveles de confianza significativos (ver IPCC, 2014).

Recursos hídricos

Las proyecciones sobre el cambio climático revelan cambios en el ciclo hidrológico que seguramente tendrán impactos en la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos. Uno de los impactos que el IPCC ha identificado como consecuencia de lo anterior, junto a la inseguridad alimentaria y la pérdida de medios de subsistencia, es la inseguridad hídrica, principalmente en zonas rurales y en comunidades de escasos recursos (IPCC, 2015). Los estudios señalan que cuanto mayor sea el nivel de calentamiento que experimente el planeta durante el siglo XXI mayor será la proporción de la población con escasez de agua.

Estos impactos no serán uniformes globalmente, principalmente debido a que los cambios que se proyectan en el ciclo hidrológico diferirán muy probablemente entre regiones (ver sección anterior). Las proyecciones señalan que se reducirán los recursos renovables de aguas superficiales y subterráneas en la mayoría de las regiones secas subtropicales, con lo que podría intensificarse la competencia por el agua entre los sectores consumidores. Un escenario opuesto, con el aumento de los recursos hídricos, se pronostica para las latitudes altas del planeta (IPCC, 2015).

Con respecto a la calidad, se espera que la calidad del agua bruta y agua potable se reduzca como resultado de la interacción entre el aumento de la temperatura, el incremento de la concentración de sedimentos, nutrientes y contaminantes debido a las lluvias; la mayor concentración de contaminantes durante las sequías, y la interrupción del funcionamiento de las instalaciones de tratamiento durante las crecidas (IPCC, 2015).

Biodiversidad

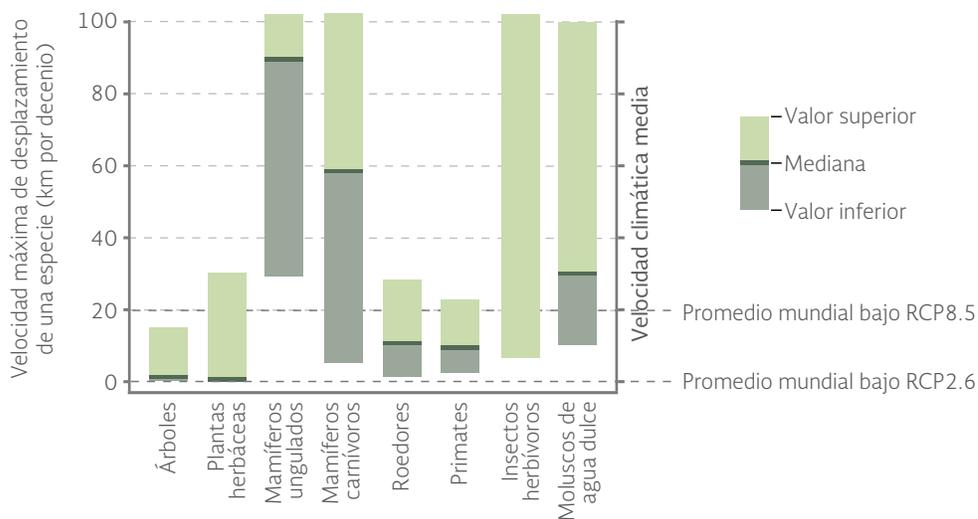
Existe una cantidad importante de estudios que demuestran los efectos del cambio climático global sobre la biodiversidad y los ecosistemas (ver los informes del IPCC). La última evaluación del IPCC indica que un gran número de especies terrestres y dulceacuícolas enfrentan un riesgo creciente de extinción con las condiciones climáticas proyectadas para este siglo. En todos los escenarios considerados en el último reporte del IPCC, el riesgo de extinción de las especies terrestres, dulceacuícolas y marinas es superior respecto a los registrados en los periodos preindustrial y actual debido a la magnitud y la tasa de cambio climático (IPCC, 2015).

La Figura 5.37 muestra la velocidad a la que pueden cambiar su distribución algunos grupos biológicos en comparación con la velocidad a la que se proyecta que avancen las temperaturas a través de las regiones. Ante el cambio que podría resultar de los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, es probable que un gran número de especies sean incapaces de encontrar climas adecuados para su sobrevivencia durante este siglo, por lo que es posible que sus poblaciones se extingan. Los árboles y

las plantas herbáceas podrían ser de los grupos más afectados por el incremento de la temperatura bajo el escenario RCP8.5. No obstante, los cambios que proyecta el escenario RCP2.6 podrían no resultar tan adversos para muchas de las especies de estos grupos (Figura 5.37). Algunos de los grupos que podrían resultar menos afectados por el cambio climático, aún bajo el escenario más adverso (RCP8.5), es del de los ungulados³⁸, cuya velocidad mínima estimada de desplazamiento está por arriba de la velocidad climática media obtenida para dicho escenario.

Respecto a las especies marinas, se prevé que sus desplazamientos debidos al incremento de temperatura provocarán invasiones en latitudes altas y con ello elevadas tasas de extinción en los trópicos y los mares semicerrados. Este tipo de migraciones ya han sido observadas en latitudes norteadas altas: en un estudio en el mar del Norte (que se ha calentado alrededor de 0.65 °C entre 1962 y 2001), 15 de 35 especies de peces ampliaron sus rangos de distribución hacia zonas más frías al norte de sus áreas originales (Figura 5.38; Perry *et al.*, 2005).

Figura 5.37 | *Velocidades de desplazamiento de algunos grupos de especies ante cambios de temperatura*



Fuente: IPCC. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. 2014.

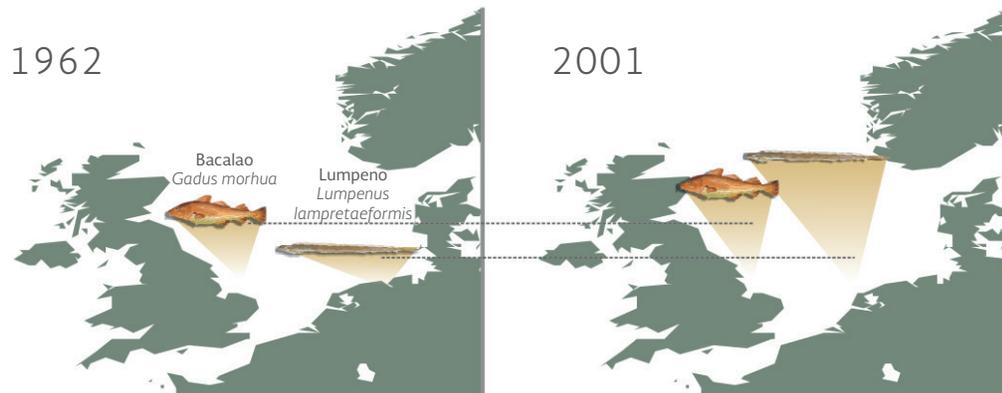
Impactos sobre las poblaciones humanas

Las poblaciones humanas estarán expuestas a los impactos del cambio climático de manera directa en aspectos como la salud, seguridad, bienestar, seguridad alimentaria y pobreza, además de los daños derivados de la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos. En los siguientes párrafos se presentan algunas de las afectaciones más relevantes³⁹.

³⁸ Mamíferos que se apoyan y caminan con el extremo de los dedos, típicamente revestidos con una pezuña, como en el caso de ciervos, cabras, antílopes, etc.

³⁹ Para profundizar en el tema se recomienda revisar el último informe de evaluación del IPCC (2015).

Figura 5.38 | Desplazamiento de dos especies marinas por el calentamiento del mar del Norte, 1962 y 2001



Fuente:
Perry, A.L., P.J. Low, J.R. Ellis y J.D. Reynolds. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308: 1912-1915. 2005.

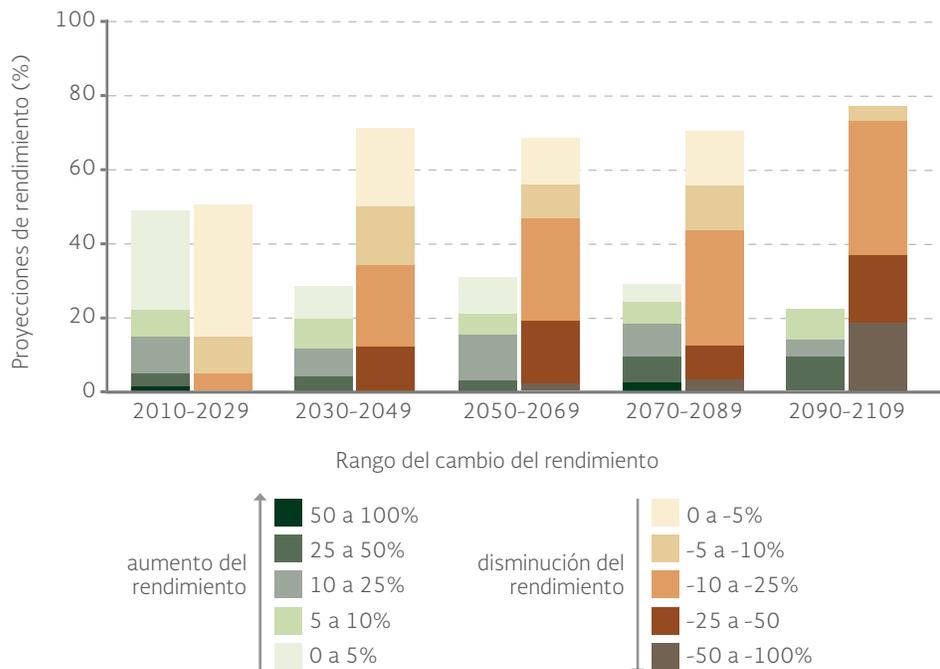
En el caso de la producción de alimentos en el futuro, el rendimiento de los cultivos será afectado por el cambio climático. De acuerdo con las proyecciones desarrolladas para cultivos como el trigo, arroz y maíz, los impactos en la producción serán negativos en las regiones tropicales y templadas cuando los incrementos de la temperatura alcancen los 2 °C o más respecto a la temperatura promedio de finales del siglo XX. El IPCC plantea que ocurrirá una variación en los impactos dependiendo de las regiones y los escenarios de adaptación. En el periodo 2030-2049, 10% de las proyecciones revelan daños superiores al 25% sobre los rendimientos y 10% de las proyecciones muestran ganancias en rendimientos superiores al 10% en comparación con las obtenidas a finales del siglo XX (Figura 5.39). Posterior al año 2050, el riesgo aumenta y depende del nivel de incremento de temperatura (IPCC, 2014).

Los impactos sobre los cultivos, así como aquellos sobre otros sectores productores de alimentos (por ejemplo, la pesca o la ganadería), generarán efectos en la seguridad alimentaria. Los efectos se mostrarán tanto en el acceso a los alimentos como en la estabilidad de los precios. A nivel mundial, la creciente demanda de alimentos combinada con un incremento de la temperatura de 4 °C por arriba del promedio de finales del siglo pasado, produciría grandes riesgos para la seguridad alimentaria, aunque serían más severos en las zonas de latitudes bajas.

La salud de las poblaciones humanas también podría ser afectada. Durante el presente siglo, aumentará la probabilidad de enfermedades, lesiones y muerte por olas de calor e incendios; la disminución en la producción de alimentos en las regiones pobres provocará una mayor probabilidad de desnutrición; también serán mayores los riesgos a contraer enfermedades transmitidas por agua, alimentos y vectores.

Los riesgos de desplazamiento de las poblaciones se incrementan cuando carecen de recursos para enfrentar situaciones adversas, por lo que muchas poblaciones quedarían expuestas a mayores

Figura 5.39 | Cambios en el rendimiento de los principales cultivos, 2010 - 2109



Nota:

La figura incluye proyecciones para diferentes escenarios de emisiones, para regiones tropicales y templadas y para casos de adaptación e inadaptación combinados. Hay relativamente pocos estudios que consideren los impactos en los sistemas de cultivo para escenarios que contemplen un aumento de la temperatura media global de 4 °C o más. En relación con cinco períodos a corto y largo plazo, los datos (n=1 090) se indican en el periodo de 20 años en el eje horizontal que incluye el punto medio de cada período futuro de las proyecciones. Los cambios en el rendimiento de los cultivos son relativos a los niveles del final del siglo XX. Los datos para cada período suman el 100%.

Fuente:

IPCC. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. 2014.

riesgos ante fenómenos meteorológicos extremos. Se ha proyectado que aumente el número de personas desplazadas y que los países en desarrollo serán los más afectados.

La estimación de los costos económicos es compleja y tiene muchas limitaciones. Sin embargo, reconociendo estas limitaciones, se prevé que un incremento promedio global de temperatura de alrededor de 2.5 °C por arriba de los niveles preindustriales costaría entre el 0.2 y el 2% de los ingresos⁴⁰ (IPCC, 2015). Los costos de adaptación para las zonas costeras durante este siglo variarán significativamente a nivel regional, de país y localmente. La adaptación para países en desarrollo con baja altitud será muy costosa, en virtud que los daños y acciones preventivas podrían implicar la inversión de varios puntos porcentuales de su producto interno bruto (PIB).

Impactos del cambio climático proyectados para México

A pesar de que nuestro país no es un gran emisor de GEI a nivel mundial, los efectos del cambio climático ya se resienten y se proyecta que podrían intensificarse más en el futuro. De acuerdo a

⁴⁰ Considerando las limitaciones de los modelos con los cuales se calcularon dichas estimaciones, el IPCC anota "...que es más probable que improbable que las pérdidas sean mayores, y no menores, que las correspondientes al rango mencionado" (IPCC, 2015).

los resultados de distintas evaluaciones realizadas sobre la vulnerabilidad de diversos sectores bajo escenarios de cambio climático, existe evidencia de que sus efectos, en combinación con otros factores de presión, podrían tener consecuencias ecológicas, económicas y sociales muy negativas, algunas de las cuales ya son visibles en la actualidad (Gobierno de la República, 2014).

A continuación se presentan algunos de los principales impactos que los cambios en el clima podrían tener en el país, así como las afectaciones en diversos sectores. Si se desea profundizar en esta información, se sugiere revisar la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (INECC, Semarnat, 2012).

Recursos hídricos

A pesar de que en promedio se calcula que las lluvias puedan disminuir hacia el 2100, en algunas zonas de la región centro-sur del país podría aumentar la frecuencia de eventos intensos. Este tipo de precipitaciones incrementa el riesgo de desastres como inundaciones y deslizamientos. Las inundaciones y la inestabilidad de laderas se presentan en forma recurrente y severa en estados de la costa del Golfo de México, como Veracruz y Tamaulipas, sobre todo cuando los ciclones tropicales tocan tierra o los nortes se combinan con sistemas tropicales sobre la costa del Golfo de México (Figura 5.40).

Figura 5.40 | Impactos potenciales por inundación (azul), deslizamiento por lluvias intensas (rosa) y marea de tormenta (rojo)



Fuente: INECC, Semarnat. México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC, Semarnat. México. 2012.

La infraestructura también está expuesta al efecto del cambio climático. En los 319 municipios (13% de los existentes en el país) que el INECC (2013) identificó como más vulnerables al cambio climático, la infraestructura de comunicaciones, energética, escolar y de salud podría estar amenazada por sus efectos (Figura 5.41). En esos municipios, existían en 2010 alrededor de 35 616 kilómetros de vías pavimentadas, lo que equivale a cerca del 25.6% de la infraestructura nacional. En algunos casos la longitud carretera de los municipios más vulnerables es una proporción significativa de los totales estatales, como por ejemplo en los casos de Baja California (87%), Campeche (86%), Baja California Sur y Tabasco (cada uno con 81%) y Sinaloa (68%).

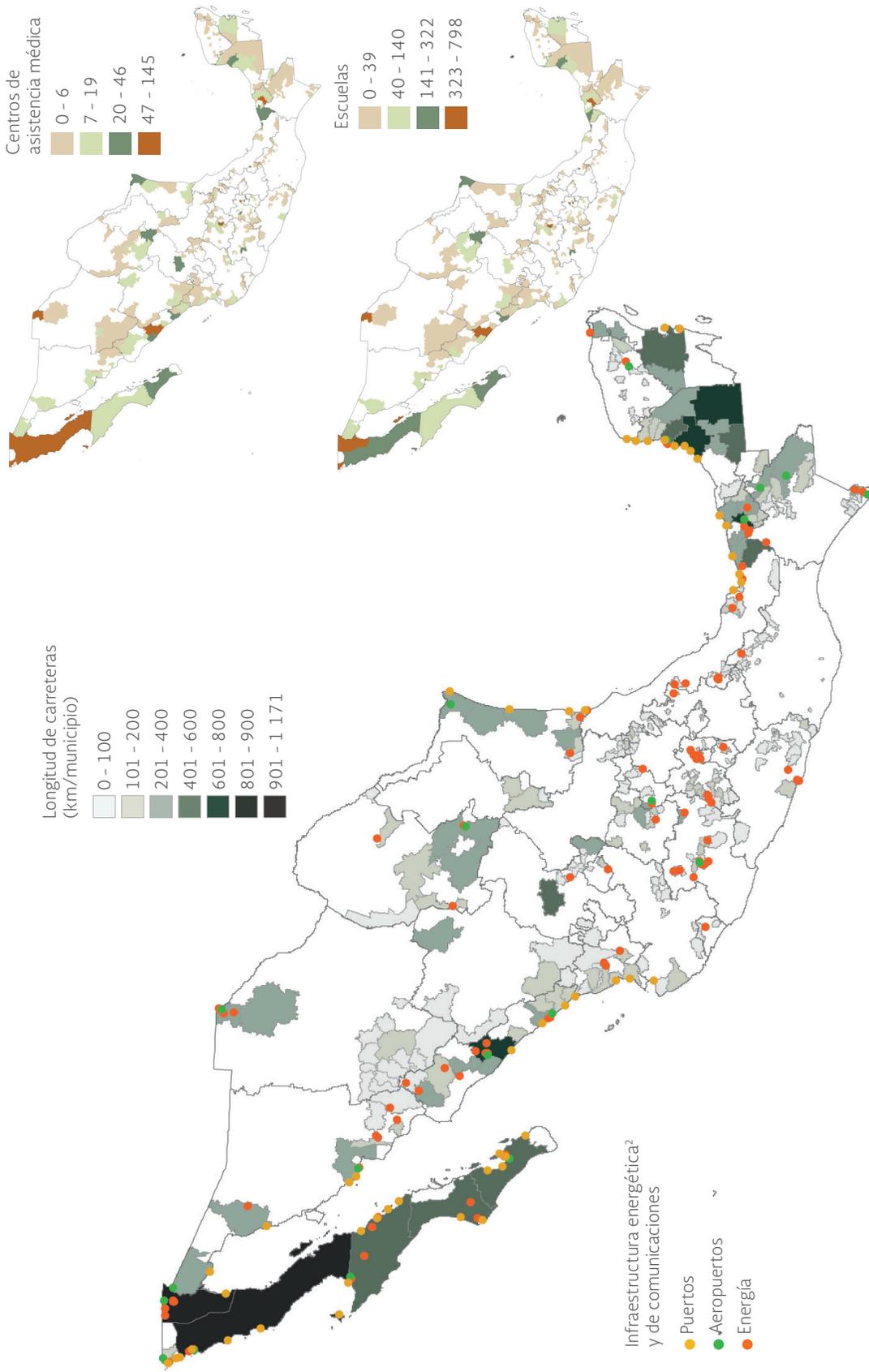
En el caso de los aeropuertos, un total de 20 se encuentran dentro de los municipios más vulnerables, esto es, el 25% del total nacional, y de los cuales cinco son para tráfico nacional y los restantes 15 tanto para tráfico nacional como internacional (Figura 5.41). En el caso de los puertos, cinco instalaciones importantes de la Administración Portuaria Integral (Federal-SCT) también están en las costas de los municipios más vulnerables: Ensenada, en Baja California; Mazatlán, en Sinaloa; Puerto Vallarta, en Jalisco; Altamira y Tampico, en Tamaulipas; y Coatzacoalcos, en Veracruz. En el caso de escuelas y centros de asistencia médica, en estos municipios se registraban hasta 2010 un total de 13 596 y 2 402 unidades, respectivamente. Finalmente, con respecto a la infraestructura energética, en los municipios más vulnerables existen 42 centrales de generación de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y seis refinerías y diez centrales de procesamiento de gas, ambas de Petróleos Mexicanos (PEMEX), entre otras instalaciones (Figura 5.41).

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 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 podría alcanzar 29 623 km², siendo Campeche, Sinaloa y Quintana Roo los estados más afectados en términos absolutos (Mapa 5.15). En términos relativos, Tabasco sería el más afectado (14% de su superficie sería cubierta por el mar), seguido por Quintana Roo (11.9%), Campeche (9.5%) y Sinaloa (8.9%). 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, en condiciones de cambio climático la vulnerabilidad crecerá, siendo las regiones hidrológico-administrativas más afectadas la Noroeste y Río Bravo, seguidas de Cuencas Centrales del Norte, Baja California y Valle de México (INE, Semarnat e IMTA 2008).

Los posibles impactos del cambio climático sobre los sistemas y sectores productivos en México son diversos y se basan en escenarios futuros construidos en un contexto de incertidumbre. La Tabla 5.4 presenta un análisis con ejemplos de los impactos de este fenómeno global en algunos sectores en México.

Figura 5.41 | Infraestructura en los municipios vulnerables al cambio climático, 2015



Notas:

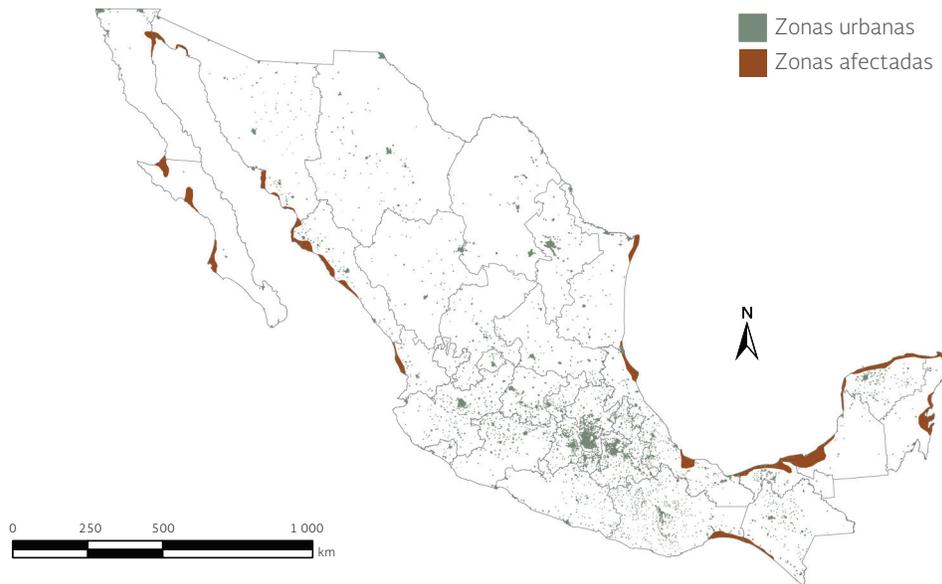
¹ Datos a agosto de 2015.

² Energía incluye: terminales marítimas de PEMEX, refinerías, complejos procesadores de gas de PEMEX, terminales de distribución de gas licuado de PEMEX, terminales de almacenamiento y reparto y centrales de generación CFE.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Dirección General de Políticas de Cambio Climático, Semarnat. México. Julio de 2016.
 INEGI, SCT e IMT. Red Nacional de Carreteras (RED), escala 1: 50,000. INEGI, SCT e IMT. 2010.
 INEGI. Marco Geostatístico Nacional. 1: 50 000: TOPO_Urbano50 2010, TOPO_Energía50 2010, TOPO_Vías_comunicación50 2010, TOPO_aeropuerto50, TOPO_edificaciones50 2010, TOPO_ins_puertuar50 2010, TOPO_ins_diversa50. INEGI. México. 2010.

Mapa 5.15 | Escenario de incremento del nivel del mar de dos metros para México



Fuente:

Elaboración propia con datos de:

The University of Arizona, Geosciences, Earth Climate and Ecosystems: Sea level: Mapping Areas Potentially Impacted by Sea Level Rise: Disponible en: www.geo.arizona.edu/dgesl/research/other/climate_change_and_sea_level/mapping_slr/mapping_slr.htm. Fecha de consulta: junio de 2016.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los posibles impactos del cambio climático serán variables en función de las distintas condiciones sociales, ambientales y económicas presentes en el territorio. En la medida en que las políticas y estrategias sean adecuadas y exitosas, la mitigación de las emisiones globales podría redundar en cambios menos severos en el clima y en una mayor y mejor capacidad para enfrentar los efectos del cambio climático. Por ello, este problema se ha convertido en uno de los desafíos más importantes y urgentes para atender por la comunidad internacional.

En 1992, en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, 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 Convención surgió en 1997 el Protocolo de Kioto, que estableció como obligación para los países desarrollados y las economías en transición (países Anexo I) la reducción del 5% de sus emisiones para el periodo 2008-2012 tomando como base sus emisiones de 1990. Para los países en desarrollo (países No Anexo I), el Protocolo no estableció metas cuantificables de reducción

Tabla 5.4 | Posibles impactos del cambio climático en sistemas y sectores estratégicos en México

Sistema o sectores	Impactos proyectados	Grado de impacto	Nivel de Confianza
Agricultura	Disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, lo que se suma al problema actual del 25% de las unidades de producción con pérdida en la fertilidad de suelos. Existe cierta evidencia de que la mayoría de los cultivos resultarán menos adecuados para la producción en México hacia 2030, empeorando esta situación para finales del presente siglo.	Bajo	1
	La mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes, con el consecuente aumento de demanda de agua particularmente en el norte del país y en zonas urbanas.	Medio	2
Hídrico	En algunas regiones la precipitación podría ser más intensa y frecuente incrementando el riesgo de inundaciones para alrededor de 2 millones de personas que actualmente se encuentran en situación de moderada a alta vulnerabilidad, ante las inundaciones, y quienes residen en localidades menores a 5 mil habitantes, ubicadas principalmente en la parte baja de las cuencas, sumado al riesgo de deslizamiento de laderas por lluvia.	Medio	3
Costero	El aumento del nivel del mar constituye un peligro para los sectores residencial y de infraestructura asentados en zonas costeras. Por otro lado, los sectores hídrico y agrícola podrían verse afectados por efecto de la intrusión salina.	Bajo	2
Tormentas y clima severo	"Hay consenso sobre la intensidad de los ciclones en el noroeste del Pacífico y en el Atlántico norte. Sin embargo, las incertidumbres en cuanto a los cambios y la intensidad complican estimar sus impactos en el país. Se prevé que a mayor número e intensidad de tormentas, los impactos podrían tener mayores consecuencias sociales y económicas".	Alto	2
Ecosistemas y biodiversidad	En ecosistemas terrestres un ejemplo del impacto del cambio climático es la posible reducción del área cubierta por bosques de coníferas, especies de zonas áridas, semiáridas y especies forestales de zonas templadas. En el caso de los océanos, un aumento en la temperatura puede ocasionar un colapso demográfico en las poblaciones marinas, ocasionando baja productividad para las pesquerías. Para el caso de mamíferos terrestres y voladores se proyecta al 2050, una reducción de cerca de la mitad de las especies estudiadas perdiendo más del 80% de su rango de distribución histórica.	Medio	2
Infraestructura estratégica	Es importante fortalecer la investigación sobre el impacto del cambio climático en infraestructura turística, portuaria, de energía, comunicaciones y transportes, la cual puede verse afectada por el aumento en el número e intensidad de ciclones tropicales y mareas de tormenta más intensas.		

Notas:

¹ Los impactos proyectados se estimaron considerando un escenario de incremento de temperatura entre 2.5 y 4.5 °C y una disminución en la precipitación entre -5 y 10%.

² El grado de impacto es una medida subjetiva basada en el juicio de expertos. Considera la magnitud del impacto proyectado, la vulnerabilidad y la capacidad para hacerle frente.

³ El nivel de confianza tiene una escala del 1 al 5, siendo 1 el nivel más bajo y 5 el de mayor confiabilidad. También es una medida subjetiva basada en el juicio de expertos. Se considera que los trabajos arbitrados más actuales tienen un nivel de confianza mayor. Los factores que se consideran son el acuerdo entre los modelos climáticos, la calidad de datos e información utilizada para la investigación y el consenso entre los estudios sólidos disponibles para esta región.

Fuente:

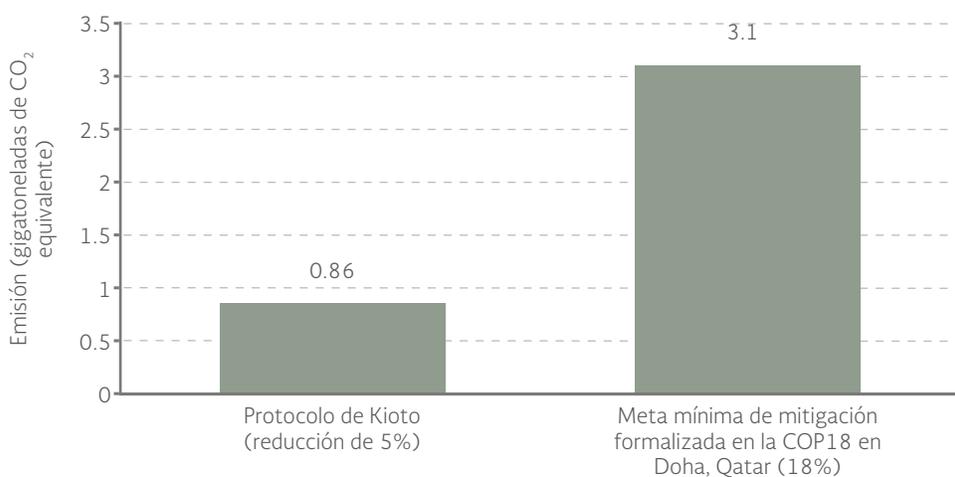
Semarnat. Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC). Semarnat. México. 2014.

de emisiones, pero sí compromisos como la elaboración de inventarios nacionales de emisiones, comunicaciones nacionales, así como estudios de mitigación y adaptación al cambio climático. México firmó este Protocolo en 1997 y lo ratificó en 2000 como país No Anexo I (CICC, 2007).

A junio de 2015, 192 países habían ratificado, aprobado o aceptado el Protocolo, los cuales, en conjunto, emiten el 63.7% del total de GEI de los países desarrollados o con economías en transición (UNFCCC, 2015). Dado que el Protocolo contemplaba compromisos de reducción para el periodo 2008-2012, se realizaron negociaciones para darle continuidad, habiéndose aceptado en la COP17 de Durban, en Sudáfrica, en 2011, un nuevo proceso de negociación para que a partir de 2012 los países Partes comenzaran a elaborar un nuevo protocolo o acuerdo con fuerza legal que incluyera a todas las Partes. En 2012 en la COP18 celebrada en Doha, Qatar, se aprobó una Enmienda al Protocolo de Kioto, que formaliza la entrada en vigor del segundo periodo de compromisos desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020. Los países o Partes incluidas en el Anexo I del Protocolo y que adquirieron compromisos para el segundo período acordaron reducir sus emisiones globales al menos un 18% por debajo de los niveles de 1990 durante dicho periodo. En esta enmienda no participan en la reducción de emisiones Canadá, Japón, Nueva Zelanda y la Federación de Rusia, que sí participaron en el primer periodo de compromisos del Protocolo, lo que limita aún más el alcance de los resultados de mitigación en este periodo (INECC, 2014; Figura 5.42).

En noviembre de 2015 se realizó en París, Francia, la vigésimo primera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21/CMP11). El objetivo principal de la conferencia fue lograr un acuerdo universal y vinculante sobre el clima que permita mantener el calentamiento global por debajo de los 2 °C e impulse la transición de los países hacia sociedades y economías más resilientes y bajas en carbono. Mayores detalles sobre los resultados de la Conferencia se mencionan en el recuadro **La COP21 y el Acuerdo de París**.

Figura 5.42 | Emisiones mitigadas con el Protocolo de Kioto y metas de mitigación post-Kioto



Fuentes:

INECC. Información sobre ecología y cambio climático. Respuesta Internacional. INEEC. México. 2014. Disponible en: <http://iecc.inecc.gob.mx/respuesta-internacional.php>. Fecha de consulta: octubre de 2014.

Semarnat. COP16. 6 México 2010. Las conferencias de Cancún un espacio sobre cambio climático para todos. Semarnat. México. 2011.

Recuadro | La COP21 y el Acuerdo de París

La vigésimo primera sesión de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) tuvo su sede en la ciudad de París, Francia, del 30 de noviembre al 11 de diciembre de 2015. El Acuerdo de París, su principal resultado, es un acuerdo vinculante en el que participan todos los países miembros de la UNFCCC y que, bajo el principio de equidad y responsabilidades comunes pero diferenciadas, y de acuerdo con las capacidades respectivas y a la luz de las diferentes circunstancias nacionales, busca fundamentalmente: 1) contener el incremento de la temperatura muy por debajo de los 2 °C respecto a los niveles preindustriales, prosiguiendo con los esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 °C; y 2) alcanzar un pico global de emisiones de gases de efecto invernadero lo más pronto posible, y partir de ese momento reducirse rápidamente durante la segunda mitad del presente siglo¹ (UNFCCC, 2015).

Otros acuerdos logrados son que los países deberán actualizar y comunicar sus Intenciones de Contribuciones Nacionales Determinadas (conocidas como iNDC, por sus siglas en inglés) cada cinco años, siendo cada vez más ambiciosas que las anteriores en sus metas de mitigación. Para la COP21, 188 países (que sumaban el 96% de los países parte de la Convención y más del 95% de las emisiones globales) presentaron sus contribuciones tentativas, mismas que fueron ratificadas en la sede de las Naciones Unidas en abril de 2016².

En el tema del financiamiento, se reconoció la responsabilidad histórica de los países desarrollados y se acordó que éstos deberán proveer los recursos financieros para apoyar a los países en desarrollo tanto en las acciones relativas a la mitigación como para la adaptación. El apoyo financiero, a partir del año 2020, será anualmente de 100 mil millones de dólares, asignándose de manera balanceada entre la mitigación y adaptación; en el caso de esta última deberá escalarse en el tiempo.

Por otro lado, el mecanismo REDD+, el cual reconoce la importancia de los bosques en la lucha contra el cambio climático, y el Mecanismo de Desarrollo y Transferencia de Tecnología quedan legitimados por el Acuerdo de París. También se crea un Mecanismo de Desarrollo Sostenible, el cual promoverá, además de la mitigación de las emisiones, el desarrollo sostenible de los países. Por primera vez se incluyó en un acuerdo una meta global cualitativa en adaptación, que consiste en aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los países al cambio climático. Además, se reconoce como fin la protección de las personas, los

¹ El balance será entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros.

² México fue el primer país en desarrollo en presentar su iNDC en marzo de 2015. Para mayores detalles de su contenido, ver la sección de Esfuerzos nacionales contra el cambio climático.

medios de vida y de los ecosistemas, teniendo en cuenta las necesidades urgentes e inmediatas de los países más vulnerables. Quedó establecido que los países presentarán, de manera periódica, reportes en cuanto a sus problemáticas y los avances obtenidos en cuanto a sus procesos de adaptación.

Para dar seguimiento a los avances del Acuerdo, se estableció un mecanismo de balance del avance colectivo (el llamado “Global Stocktake”), mediante el cual los países reportarán, de manera periódica cada cinco años, su progreso en la implementación de acciones en mitigación, adaptación y financiamiento, además del avance en la implementación de sus planes climáticos. La primera evaluación ocurrirá en 2023 y después cada cinco años.

Para la aplicación del Acuerdo de París, será necesario que 195 países partes lo ratifiquen entre el 22 de abril de 2016 y el 21 de abril de 2017. Seguido de esto, el Acuerdo entrará en vigor 30 días después de que al menos 55 países u organizaciones, que sumen el 55% de las emisiones globales, lo hayan ratificado (UNFCCC, 2015).

Referencia:

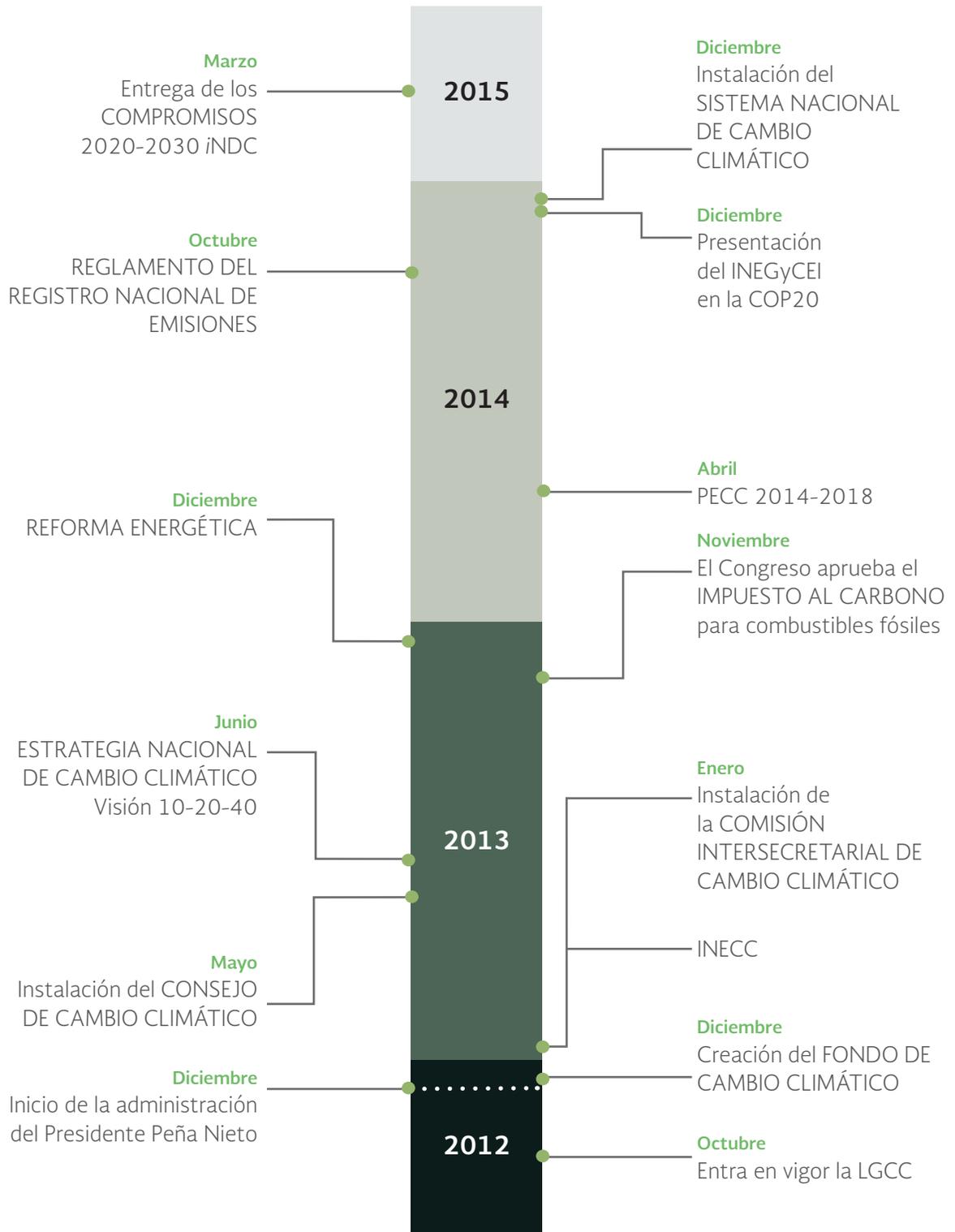
UNFCCC. *Acuerdo de París*. UNFCCC. 2015. Disponible en: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php. Fecha de consulta: abril de 2016.

Esfuerzos nacionales contra el cambio climático

México considera el cambio climático como un asunto de seguridad nacional y por ello se ha preocupado desde hace varios años por impulsar medidas de mitigación y adaptación a este fenómeno global, lo que le ha permitido destacar a nivel internacional. Algunos de los hitos en años recientes al respecto se muestran en la Figura 5.43. Como parte de estas acciones y en materia de instrumentos de política pública sobre el tema, destaca la publicación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que coloca a nuestro país como uno de los primeros, junto con el Reino Unido, en contar con una legislación a nivel nacional sobre el tema. La LGCC tiene como objetivo establecer un marco jurídico que regule las políticas públicas de adaptación y mitigación al cambio climático, así como impulsar la transición hacia una economía competitiva de bajas emisiones de carbono (DOF, 2012).

Para la instrumentación de esta ley, se publicó en 2013 la Estrategia Nacional de Cambio Climático, Visión 10-20-40 (ENACC), que describe los ejes estratégicos y las líneas de acción (sin definir acciones concretas o responsables particulares) para orientar las políticas de los tres órdenes de gobierno y fomentar la corresponsabilidad con los diversos sectores de la sociedad (Semarnat, 2013). En la ENACC se plantea como reto para el país reducir 30% las emisiones en 2020 y 50% en 2050 con respecto a las emisiones del año 2000.

Figura 5.43 | Hitos recientes de la estrategia nacional para el combate al cambio climático, 2012 - 2015



Fuente:
Modificado de:
Semarnat. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Semarnat. México. 2015.

Como parte de la instrumentación de la LGCC, en el año 2013 se publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático, Visión 10-20-40 (ENCC), la cual es el instrumento rector y orientador de la política nacional en la materia, además de que define una ruta a largo plazo y establece las prioridades nacionales de atención para combatir el cambio climático en materia de adaptación y mitigación. La ENCC está integrada por tres ejes estratégicos en materia de adaptación y cinco en materia de mitigación. La ENCC planteó como reto para el país reducir 30% las emisiones en 2020 y 50% en 2050 con respecto a las emisiones del año 2000.

Las estrategias, líneas de acción y reducciones de emisiones específicas por sector, así como las acciones de adaptación que deberá realizar la administración pública federal están incluidas dentro del Programa Especial de Cambio Climático (PECC), cuya elaboración emana directamente del mandato de la LGCC. El PECC 2014-2018 está compuesto por cinco objetivos que incluyen 77 líneas de acción en materia de adaptación, 81 de mitigación y 41 líneas para la construcción de política en la materia. Dichas líneas están alineadas al Programa Nacional de Desarrollo, a los programas transversales del Gobierno Federal y a los programas sectoriales de las Secretarías de Estado que conforman la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). El PECC se planteó como meta al 2018 la reducción de 83.2 megatoneladas de CO₂ equivalente⁴¹.

En materia internacional, en marzo de 2015 México presentó su Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional para el periodo 2020-2030 (*i*NDC; *Intended Nationally Determined Contribution*), siendo el primer país en vías de desarrollo en presentarla ante la CMNUCC y el cuarto a nivel global, después de la Unión Europea, Suiza y Noruega. Los compromisos que asume México, tanto de mitigación como de adaptación, contemplan dos tipos de medidas: no condicionadas y condicionadas. Las primeras se refieren a las que el país solventará con recursos propios, mientras que las condicionadas son aquellas que podría llevar a cabo si el país obtiene recursos adicionales y la transferencia de tecnología disponibles mediante cooperación internacional. La meta de mitigación a 2030 pretende la reducción del 22% de las emisiones de GEI y 51% de carbono negro. Se prevé que al 2024 se genere el 35% de energía limpia⁴² y al 2030 el 43%.

En lo referente a adaptación, algunas de las metas más importantes planteadas son: reducir en 50% el número de municipios vulnerables (160 municipios); alcanzar en el 2030 una tasa cero de deforestación e instalar sistemas de alerta temprana y gestión de riesgo en los tres niveles de gobierno (Gobierno de la República, 2015). Mayores detalles respecto al contenido del *i*NDC nacional y del efecto climático de los *i*NDC presentados hasta la fecha por las partes ante la CMNUCC se muestran en el recuadro [El *i*NDC de México y la mitigación global de emisiones en el periodo 2020-2030 global según los *i*NDC recibidos por la CMNUCC.](#)

En la Tabla 5.5 se describen en general algunas de las estrategias implementadas por México más relevantes en materia de cambio climático.

⁴¹ Utilizando un potencial de calentamiento global a 100 años –PCG100 – de los gases y compuestos de efecto invernadero (Semarnat, 2014).

⁴² Incluye energía renovable, cogeneración con gas natural y termoeléctricas con captura de CO₂.

Recuadro

El iNDC de México y la mitigación global de emisiones en el periodo 2020-2030 según los iNDC recibidos por la CMNUCC

En la décimo novena Conferencia de las Partes (COP19) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) celebrada en Varsovia, Polonia, a finales de 2013, se invitó a las partes a elaborar sus compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático (*Intended Nationally Determined Contributions*, iNDC, por sus siglas en inglés) para el periodo 2020-2030, todo ello con el fin de adoptar un protocolo o instrumento legal vinculante bajo la Convención que permitiese estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a niveles que impidieran interferencias humanas en el sistema climático. La decisión fue reiterada en la COP20 de Lima, Perú, en 2014, bajo el acuerdo de que los iNDC deberían representar un avance más allá de los esfuerzos de mitigación de ese momento. Los iNDC deberían presentarse ante la CMNUCC durante el primer trimestre de 2015 para servir de insumo básico en la COP21 a llevarse a cabo en París, Francia, entre noviembre y diciembre de ese mismo año.

Como parte central de sus iNDC, los países incluyeron, de acuerdo a sus prioridades, circunstancias y capacidades nacionales, las acciones que emprenderían para combatir el cambio climático, y muy en especial, estimaciones de sus ambiciones para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 2020-2030. Se sugirió también la inclusión de las acciones de adaptación para reducir los efectos del cambio climático.

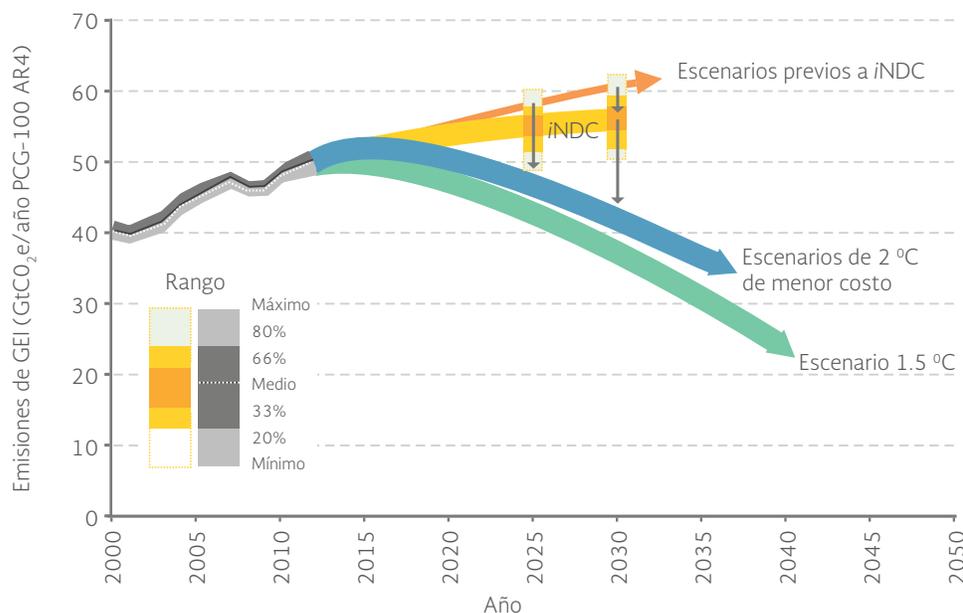
Para abril de 2016, la Convención había recibido un total de 161 iNDC, incluyendo 189 partes y una organización económica regional; todos ellos comprenden el 96% de las partes y el 99% del volumen de emisiones de las partes de la Convención (UNFCCC, 2016). La suma de la contribución de la reducción de las emisiones comprometidas por las partes permite conocer si la meta global de la mantener la temperatura superficial del planeta por debajo de los 2 °C en relación a la época pre-industrial puede alcanzarse.

Según la Convención (2016), con la reducción de las emisiones que podría alcanzarse de implementarse los iNDC recibidos (considerando los compromisos condicionados y no condicionados), las emisiones globales ascenderían a 55.0 (51.4 a 57.3)¹ gigatoneladas de CO₂ equivalente en 2025 y de 56.2 (52.0 a 59.3) en 2030². Estas cifras, si se comparan con los escenarios tendenciales sin implementar los iNDC, representan una reducción de 2.8 (0.0 a 6.0) gigatoneladas de CO₂ equivalente en 2025 y de 3.3 (0.3 a 8.2) en 2030 (Figura a).

¹ Los valores fuera del paréntesis se refieren a promedios y los que se ubican dentro de ellos a rangos del 20 al 80%.

² Esta cifra incluye las emisiones provenientes del cambio de uso del suelo y usa valores de potencial de calentamiento global del AR4 a 100 años. Las cifras incluyen los compromisos condicionados y los no condicionados. Si se consideran tan solo los compromisos no condicionados, las emisiones globales podrían alcanzar 55.6 (53.1 a 57.3) Gt CO₂ en 2025 y 57.9 (54.4 a 59.3) Gt CO₂ en 2030.

Figura a | Emisiones globales en 2025 y 2030 sin y como resultado de la implementación de los Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático



Nota:
AR4= Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
iNDC= Historical emission database and intended nationally determined contribution quantification.

Fuente:
IPCC. Fifth Assessment Report scenario database, 1.5 °C scenarios from scientific literature, IPCC historical emission database and intended nationally determined contribution quantification. IPCC.

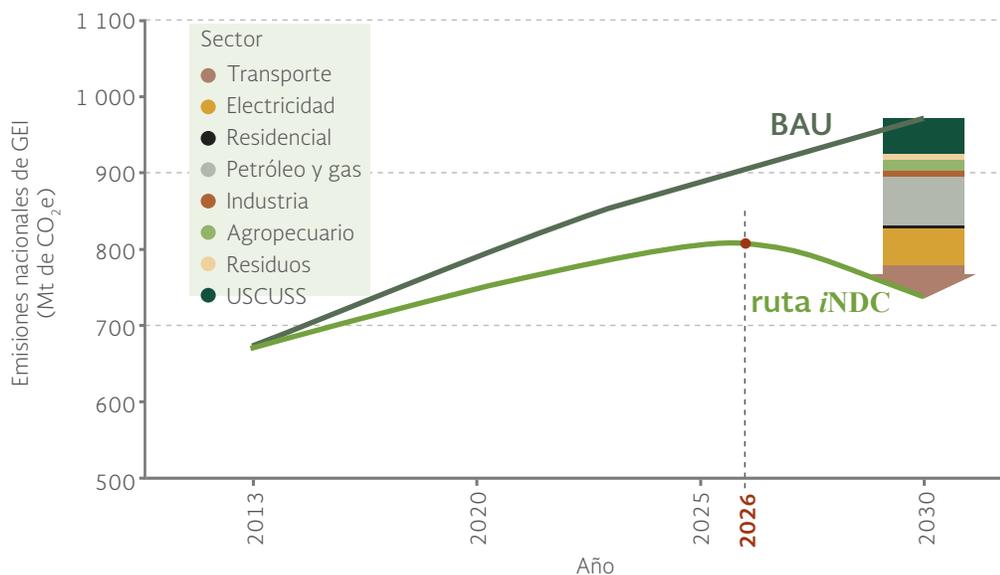
Cuando se compara el valor de las emisiones globales resultado de la implementación de los iNDC recibidos con los valores de las emisiones globales para el escenario de calentamiento por debajo de los 2 °C, se observa que el primero resulta 19% mayor en 2025 y también 36% superior en 2030; esta diferencia equivale a alrededor de 8.7 gigatoneladas de CO₂ equivalente en 2025 y 15.2 gigatoneladas en 2030 (Figura a).

Las estimaciones anteriores muestran que los esfuerzos comprometidos por los países en sus iNDC resultan insuficientes para conseguir alcanzar la meta del calentamiento por debajo de los 2 °C, y más aún para el escenario del 1.5 °C. Aun cuando la posibilidad de conseguir emisiones anuales que permitan alcanzar esos escenarios más allá del 2030 existe, es claro que los esfuerzos de mitigación que habrían de realizar los países entonces son mayores y a un mayor costo que las rutas de reducción de emisiones que podrían comenzar pronto o en 2020. Por lo anterior, mayores esfuerzos en la reducción de las emisiones que los contenidos en los iNDC serán necesarios por parte de los países en el periodo posterior a 2025 y 2030 para poder mantener el calentamiento del planeta por debajo de 2 °C respecto a los niveles pre-industriales (UNFCCC, 2016).

En marzo de 2015, México presentó su Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional para el periodo 2020-2030, siendo el primer país en vías de desarrollo en hacerlo ante la CMNUCC y el cuarto a nivel global, después de la Unión Europea, Suiza y Noruega. Su contribución contiene dos componentes, uno de mitigación y otro de adaptación. El componente de mitigación contempla dos tipos de medidas: las no condicionadas, es decir, aquellas que el país podría solventar con sus propios recursos, y las medidas condicionadas que podrían realizarse si México pudiera obtener recursos adicionales y transferencia de tecnología disponibles mediante cooperación internacional, al igual que contar con un precio internacional del carbono y mecanismos de ajustes de frontera.

Respecto a la reducción de sus emisiones, México asumió el compromiso no condicionado de mitigar el 22%³ de sus emisiones de gases de efecto invernadero al año 2030, lo cual significa una reducción de alrededor de 210 megatoneladas de GEI (Figura b). Paralelamente, el país planteó la reducción de sus emisiones de carbono negro, uno de los CCVC más importantes (ver el Recuadro **La importancia del carbono negro en el calentamiento global**) para el 2030. En este caso, su meta no condicionada contempla reducir 51% del volumen de sus emisiones para el año 2030 con base en un escenario tendencial carente de medidas para combatir el cambio climático.

Figura b | Emisiones nacionales de GEI según el escenario tendencial (BAU) y las reducciones comprometidas en el iNDC, 2013 - 2030



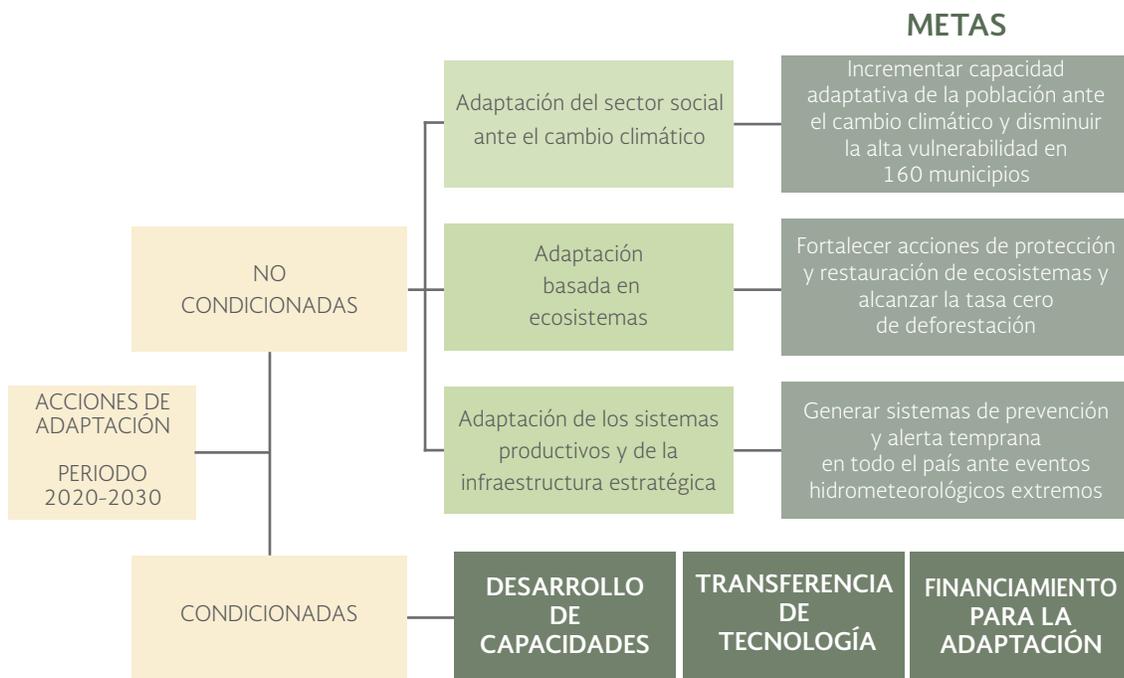
Fuente:
Tomado de:
Semarnat. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Semarnat. México. 2015.

³ Considerando un escenario tendencial carente de medidas para combatir el cambio climático.

En caso de adoptarse un acuerdo⁴ que permita llevar a cabo los compromisos condicionados, las reducciones nacionales de carbono negro podrían incrementarse a 70% y las de GEI alcanzar 36% al 2030, llegando así a una trayectoria consistente con la planteada en la Ley General de Cambio Climático, la cual busca reducir para 2050 en 50% el volumen de las emisiones con respecto a las registradas en el año 2000.

El componente de adaptación, que incluye también compromisos no condicionados y condicionados al 2030, considera como prioridad nacional proteger a la población de los efectos del cambio climático, principalmente de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, así como aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica del país y de los ecosistemas. En la Figura c pueden observarse los principales componentes de la estrategia de adaptación nacional incluida en su iNDC.

Figura c | Estrategia de adaptación no condicionada y condicionada según el iNDC de México



Fuente:
Tomado de:
Semarnat. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Semarnat. México. 2015.

Referencias:

Semarnat. *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. Semarnat. México. 2015.

UNFCCC. *Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update. Synthesis report by the Secretariat*. 2016. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>. Fecha de consulta: julio de 2016.

⁴ Podría conseguirse en caso de adoptarse un acuerdo global que incluya, por ejemplo, un precio al carbono internacional, ajustes a aranceles por contenido de carbono, cooperación técnica, acceso a recursos financieros de bajo costo y a transferencia de tecnología, todo ello a una escala equivalente con el reto del cambio climático global.

Tabla 5.5 | Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de cambio climático

Estrategia/Política	Observaciones
Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional para el periodo 2020-2030 (iNDC; <i>Intended Nationally Determined Contribution</i>)	En marzo de 2015 México presentó su iNDC, donde establece compromisos voluntarios y no condicionados apegados a los objetivos, instrucciones y prioridades establecidas en la Ley General de Cambio Climático, así como con los acuerdos asumidos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La meta de mitigación a 2030 consiste en la reducción del 22% de las emisiones de GEI. En lo referente a adaptación, se planteó como metas: reducir en 50% el número de municipios vulnerables (160 municipios); alcanzar en el 2030 una tasa 0% de deforestación e instalar sistemas de alerta temprana y gestión de riesgo en los tres niveles de gobierno.
Ley General de Cambio Climático	En junio de 2012 se publicó el decreto de esta ley que busca entre otras cosas regular las emisiones de gases de efecto invernadero; regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático; reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas y promover una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.
Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) Visión 10-20-40	Publicada en 2013, "...es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono".
Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC)	Se instaló en diciembre de 2015 para lograr la coordinación efectiva de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social. La LGCC prevé la integración del Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC).
Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)	El PECC incluye medidas que reducirán la emisión de gases de efecto invernadero y mejorarán nuestra capacidad de respuesta ante fenómenos ambientales.
La Economía del Cambio Climático en México	Publicado en el 2009, este estudio estima los costos económicos que el cambio climático antropogénico podría generar para nuestro país.
Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	México ha asumido el compromiso internacional de presentar Comunicaciones Nacionales y es el único país en desarrollo que ha presentado su Quinta Comunicación Nacional (2012). Actualmente se prepara la Sexta Comunicación Nacional, la cual se publicará en junio de 2017.
Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	El último inventario (2013) incluye las emisiones antropogénicas por fuente y sumidero de todos los gases de efecto invernadero.

Tabla 5.5 | Estrategias y políticas adoptadas por México en materia de cambio climático (conclusión)

Estrategia/Política	Observaciones
Programa GEI México	Es un programa nacional voluntario de contabilidad y reporte de GEI y de proyectos de reducción de emisiones.
Comisión Intersecretarial de Cambio Climático	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.
Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero	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.
Impulso a la eficiencia y tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica	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.
Promoción al uso eficiente de energía en el ámbito doméstico, industrial, agrícola y de transporte	<p>Eficiencia Energética en la Administración Pública Federal. Promueve el aprovechamiento sustentable de la energía y establece un proceso de mejora continua para fomentar la eficiencia energética en dependencias y entidades del Gobierno Federal.</p> <p>Desarrollo de vivienda sustentable. La Comisión Nacional de Vivienda otorga hipotecas verdes a viviendas de interés social equipadas con ecotecnologías para reducir sus emisiones bióxido de carbono.</p>
Programas de adaptación al cambio climático	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; Atlas Nacional de Vulnerabilidad y, Programas Estatales de Acción frente al Cambio Climático.
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: Centro Nacional de Observación Climática de Gran Altitud; Participación en el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático, entre otros. Existen también diversas publicaciones, tanto técnicas como de difusión al público en general, disponibles en las páginas electrónicas de la Semarnat e INECC.

Nota:

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 la página del INECC, disponible en: www.inecc.gob.mx.

Fuentes:

Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015.
 Gobierno de la República. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. Gobierno de la República. México. 2013.
 Semarnat. Acciones de México. Semarnat. México. 2010. Disponible en: www.cambioclimatico.gob.mx. Fecha de consulta: marzo de 2012.
 Semarnat, CCE, CESPEDS, WRI y WBCSD. Programa GEI México. Semarnat. México. Disponible en: www.geimexico.org. Fecha de consulta: septiembre de 2013.
 Semarnat. Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático. Semarnat. México. 2012.

Recuadro | El impuesto al carbono en México

En 2014 se implementó una nueva modalidad de impuesto especial sobre la producción y los servicios (IEPS), la cual grava el contenido de carbono en los combustibles fósiles. Su objetivo principal es desincentivar el consumo de combustibles en la población, básicamente por el incremento en su precio, todo ello con la intención de contribuir a mitigar las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero.

El cálculo del impuesto, concebido como una cuota proporcional en función de las emisiones generadas por unidad de producto consumido, se basó en las cotizaciones del precio promedio de la tonelada de bióxido de carbono en los mercados de bonos de carbono europeo y norteamericano, así como en los factores de emisión asociados a cada uno de los combustibles fósiles en oferta¹ (World Bank, 2015). Del total del precio de los combustibles fósiles, entre el uno y dos por ciento lo constituyen los impuestos al carbono. Entre 2014 y 2015, el impuesto al carbono recaudó en el país alrededor de 17.3 mil millones de pesos (9.7 y 7.6 mil millones de pesos, respectivamente, en 2014 y 2015; SHCP, 2016).

Referencia:

DOF. *Acuerdo 26/2015 Acuerdo por el que se actualizan las cuotas que se especifican en materia del impuesto especial sobre producción y servicios*. DOF. México. 2015.

SHCP. *Estadísticas Oportunas de Finanzas Públicas*. SHCP. México. Disponible en: http://www.shcp.gob.mx/POLITICAFINANCIERA/FINANZASPUBLICAS/Estadísticas_Oportunas_Finanzas_Publicas/Paginas/unica2.aspx. Fecha de consulta: julio de 2016.

World Bank. *State and Trends of Carbon Pricing 2015*. WB. Washington. 2015.

¹ Las cuotas del impuesto tienen una vigencia anual, actualizándose al concluir el año por efecto de la inflación con base en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). Durante el 2016 las cuotas son de 11.05 y 13.4 centavos por litro de gasolina y Diésel, respectivamente, por ejemplo. En general, los combustibles fósiles se ven gravados a un nivel de 42.37 pesos por cada tonelada de carbono que contengan. Es importante mencionar que se excluye de la regulación al gas natural (DOF 24-12-2015).

A nivel local, se han elaborado los Programas Estatales de Cambio Climático, las Leyes Estatales de Cambio Climático y los Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En el caso de los Programas Estatales de Cambio Climático, en su elaboración se consideran las características socioeconómicas y ambientales, las metas de los planes de desarrollo estatal; el inventario estatal de emisiones de GEI; los escenarios de emisiones y potenciales de mitigación; así como el diagnóstico de vulnerabilidad actual y futura con un enfoque regional, considerando tanto las condiciones actuales como las condiciones futuras resultado del análisis de los escenarios de

cambio climático. Estos programas son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas públicas y acciones en materia de cambio climático y plantean acciones y medidas para reducir las emisiones de GEI y la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación de los sectores o sistemas que los estados identifiquen como prioritarios.

Al mes de noviembre de 2015, 17 estados contaban con su PECC concluido (Mapa 5.16), 17 contaban con sus Leyes Estatales de Cambio Climático (Mapa 5.17) y 26 tenían sus Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Mapa 5.18).

A la fecha no se cuenta con un estudio actualizado sobre los costos económicos del cambio climático en México. Sin embargo, un estudio publicado en 2009 indicó que 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 del 50% de las emisiones representarían el 0.7 y 2.21% del PIB, a 10 y 30 dólares la tonelada de carbono, respectivamente” (Semarnat y SHCP, 2009). Esto deja claro que los costos de la inacción ante este problema a escala nacional y posiblemente también a escala planetaria serán más elevados que los que se requerirían para la mitigación de las emisiones.

Mapa 5.16 | Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático publicados, 2015



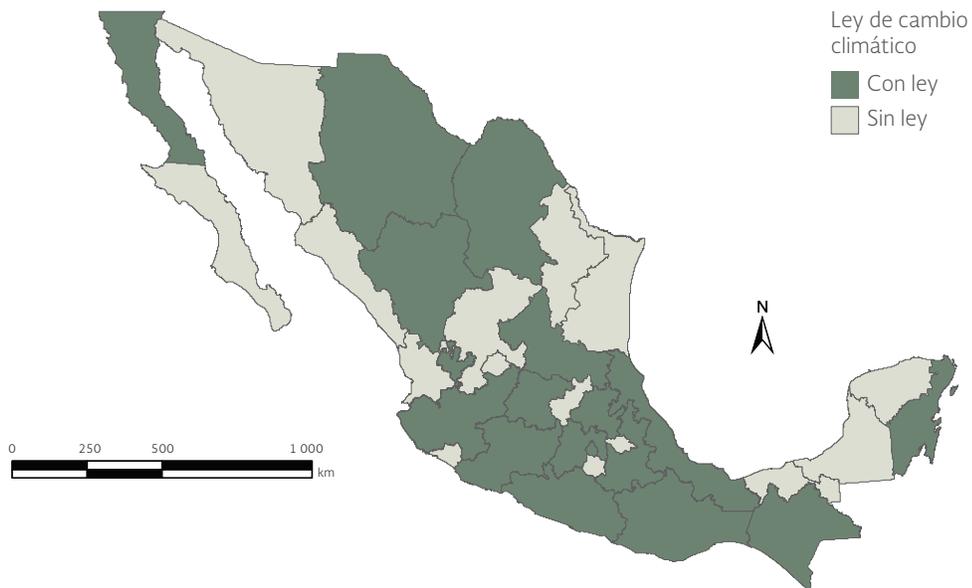
Fuente:
INECC. Acciones y Programas. Cambio Climático en México. *Instrumentos de política pública en materia de cambio climático en las entidades federativas*. INEEC. México. Disponible en: www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/instrumentos-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Mapa 5.17 | *Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de efecto Invernadero elaborados, 2015*



Fuente:
 INECC. Acciones y Programas. Cambio Climático en México. *Instrumentos de política pública en materia de cambio climático en las entidades federativas*. INECC. México. Disponible en: www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/instrumentos-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Mapa 5.18 | *Leyes de Cambio Climático publicadas, 2015*



Fuente:
 INECC. Acciones y Programas. Cambio Climático en México. *Instrumentos de política pública en materia de cambio climático en las entidades federativas*. INECC. México. Disponible en: www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/instrumentos-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas. Fecha de consulta: mayo de 2016.

De los problemas ambientales globales, el adelgazamiento de la capa de ozono, junto con el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, es uno de los más preocupantes. Su importancia radica en que la afectación de los niveles de ozono estratosférico reducen la protección que brinda la capa de ozono de los rayos ultravioleta⁴³ provenientes del Sol. Desde mediados de los años 70⁴⁴ se descubrió que ciertas sustancias producidas por el hombre destruían las moléculas de ozono estratosférico; diez años después⁴⁵ se comprobó la existencia del llamado “agujero de ozono” sobre Antártica (Laube *et al.*, 2014; UNEP, 2012).

Los compuestos responsables de la destrucción del ozono estratosférico son conocidos como sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO)⁴⁶. Las SAO existen naturalmente en la atmósfera y también son emitidas por actividades humanas. Entre las más conocidas están los clorofluorocarbonos (CFC), también destacan los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), halones, bromuro de metilo (BM), tetracloruro de carbono (TCC) y metil cloroformo (MCF). Estas sustancias se han empleado históricamente en los sistemas de aire acondicionado, refrigeración, y en la fabricación de solventes y aerosoles, entre otros usos.

El descubrimiento del agujero de ozono y el conocimiento que se tenía sobre el efecto de las SAO impulsaron a la comunidad internacional a tomar medidas para controlar el problema. En 1987 se adoptó a nivel internacional el Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Degradan la Capa de Ozono, el cual es un ejemplo de un acuerdo multilateral exitoso debido a la amplia respuesta y compromiso internacional (ver en este capítulo la sección [Acuerdos y acciones para la protección de la capa de ozono](#)).

EL AGUJERO DE OZONO

El consumo y emisión de las SAO, así como la destrucción del ozono estratosférico, ocurren a nivel global; sin embargo, el agujero en la capa de ozono se ha registrado sólo en Antártica⁴⁷. Esto se debe a que gran parte de las SAO generadas se transporta hacia los polos por las corrientes atmosféricas. En particular, en el Polo Sur existen condiciones atmosféricas que desencadenan las reacciones químicas en las que las SAO se descomponen químicamente en gases reactivos que destruyen las moléculas del ozono estratosférico (PNUMA, 2002, 2003; WMO y UNEP, 2003; UNEP, 2012; Manney *et al.*, 2011).

El agujero de ozono no implica la ausencia total de este gas en una región de la atmósfera en particular, en realidad se refiere a una disminución importante en su concentración. Se considera

⁴³ 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 es también muy dañina, pero es retenida en gran parte por la capa de ozono; no obstante, de esta última radiación, una pequeña proporción alcanza la superficie y puede causar daños a células y tejidos de los organismos.

⁴⁴ Sherwood Rowland y Mario Molina postularon en 1974 que cuando los clorofluorocarbonos llegan a la estratosfera, la radiación ultravioleta del Sol provoca que estas sustancias se descompongan, liberando átomos de cloro. Una vez liberados, los átomos de cloro inician una cadena de reacciones que destruyen cantidades importantes de ozono en la estratosfera. Por ejemplo, un átomo de cloro o bromo puede destruir hasta cien mil moléculas de ozono (WMO y UNEP, 2003; UNEP, 2012).

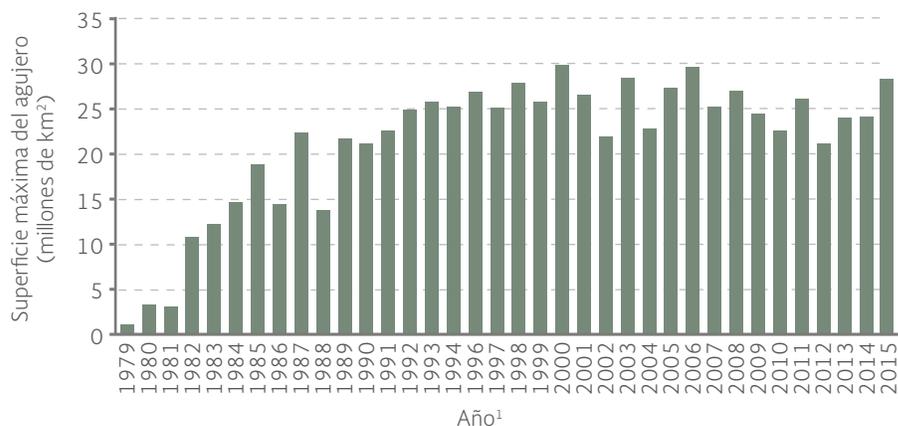
⁴⁵ Con base en registros de concentración de ozono en Antártica, los científicos Joseph Farman, Brian Gardiner y Jonathan Shanklin descubrieron que en esa zona ocurre un adelgazamiento importante de la capa de ozono, fenómeno conocido actualmente como “agujero de ozono” (The Ozone Hole, 2015).

⁴⁶ Además de las 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 nítrico (Weatherhead y Andersen, 2006).

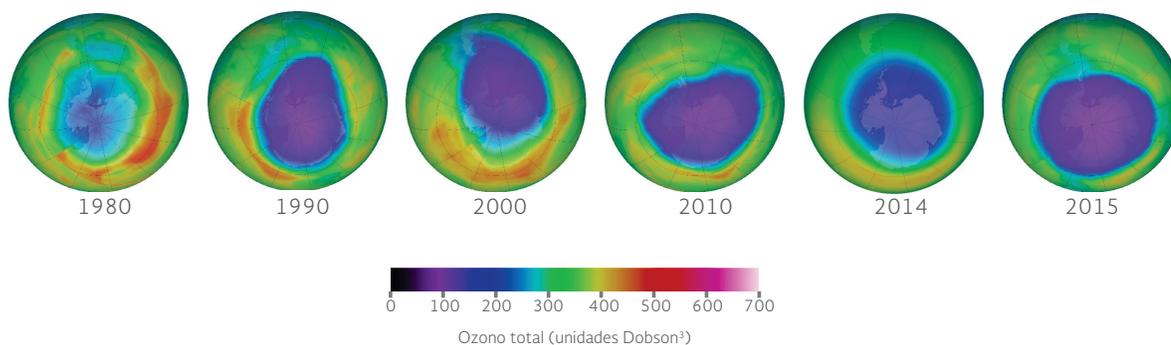
⁴⁷ Se considera que el agujero de ozono en Antártica se forma en el mes de octubre.

Figura 5.44 | Extensión del agujero de ozono

a) Extensión máxima



b) Registro histórico de la extensión del agujero de ozono, 1980 - 2015²



Notas:

¹ No hay datos disponibles para el año 1995.

² Corresponden a las concentraciones de ozono registradas en octubre. Octubre es considerado el mes en el que se abre el agujero de ozono.

³ 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).

Fuente:

NASA. *Ozone Hole Watch. Annual Records*. 2015. NASA. Disponible en: http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual_data.html. Fecha de consulta: mayo de 2016.

que se ha formado un agujero de ozono cuando su concentración es menor a 220 unidades Dobson (UD)⁴⁸, una concentración menor al promedio global que es de alrededor de 300 UD.

Los registros históricos de concentración de ozono indican que la extensión del agujero ha variado desde unos cuantos millones de kilómetros cuadrados a finales de los años 70, hasta los 29.9 millones de kilómetros cuadrados en el año 2000. En 2015, el tamaño máximo fue de 28.2 millones de kilómetros cuadrados, lo que equivale a 1.9 veces la superficie de Antártica (Figura 5.44a y b; NASA, 2015).

⁴⁸ 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; UNEP, 2012).

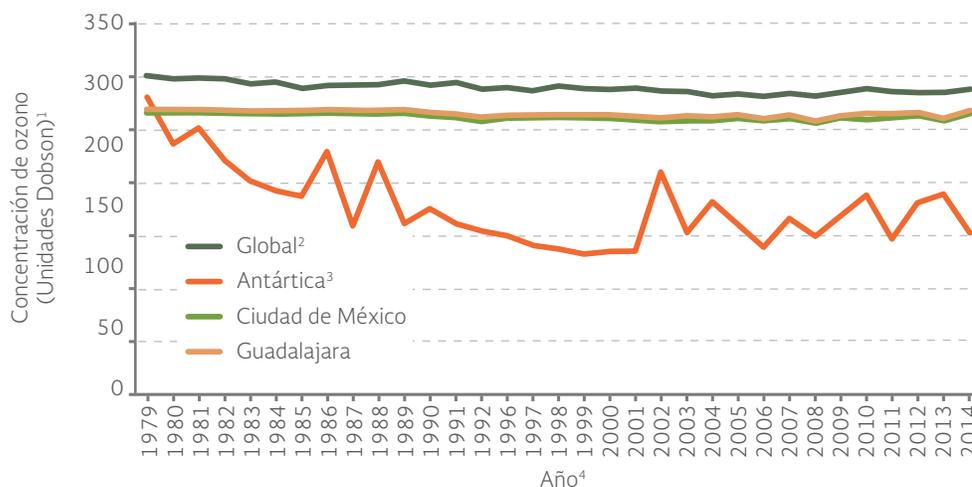
Aunque el agujero de ozono se ha observado exclusivamente en Antártica, en 2011 se registró por primera vez una pérdida importante de ozono en el Ártico. Las condiciones en la estratosfera baja en esa región ese año provocaron que se destruyeran alrededor del 80% de las moléculas de ozono entre los 18 y 20 kilómetros de altitud (Manney *et al.*, 2011). No obstante, debido a que la concentración de ozono se mantuvo por arriba de las 220 UD, no se consideró como un agujero (NASA, 2014). En Europa y otras regiones de altas latitudes, se han registrado disminuciones de la concentración de ozono de entre 5 y 30% (UNEP, 2012).

CONCENTRACIÓN DE OZONO ESTRATOSFÉRICO

Las concentraciones de ozono estratosférico, tanto a nivel global como en algunas ciudades del mundo, son monitoreadas por la Agencia Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés). Para el caso de México se tiene información para Guadalajara y la Ciudad de México, en las cuales no se muestran variaciones importantes en la concentración entre 1979 y el año 2014 (Figura 5.45). Los valores registrados a nivel global y para México contrastan fuertemente con los encontrados desde principios de los años ochenta en Antártica (IB 1.3-3). En esa región se ha mantenido una tendencia decreciente en la concentración de ozono y aunque en algunos años se han registrado incrementos, éstos siempre se han mantenido por debajo de la concentración global. Esta diferencia en las concentraciones es consistente con el planteamiento de que la destrucción de la capa de ozono es un problema generado a nivel global pero sus efectos más evidentes son regionales.



Figura 5.45 | Concentración de ozono estratosférico: global, sobre Antártica y sobre dos ciudades mexicanas, 1979 - 2014



Notas:

¹ 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).

² La concentración global de ozono en el año 2014 incluye mediciones hechas de enero a marzo.

³ 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.

⁴ Datos no disponibles para el periodo 1993-1995.

Fuentes:

NASA. Aura Validation Data Center. NASA. Disponible en: <http://avdc.gsfc.nasa.gov/index.php?site=677741240>. Fecha de consulta: febrero de 2015.

NASA. Ozone Monitoring Instrument (OMI). NASA. 2014. Disponible en: <ftp://toms.gsfc.nasa.gov>. Fecha de consulta: febrero de 2015.

NASA. Total Ozone Mapping Spectrometer. NASA. 2003.

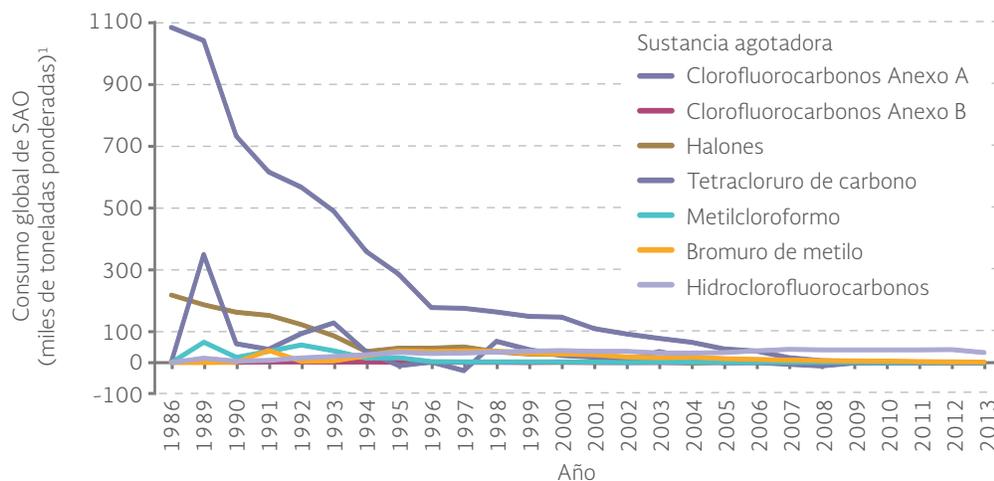
CONSUMO Y CONCENTRACIÓN DE SUSTANCIAS AGOTADORAS DEL OZONO (SAO)

El impacto sobre la capa de ozono depende de la SAO de la que se trate. Cada sustancia posee una capacidad de destrucción de moléculas de ozono diferente; a dicha capacidad se le llama potencial de agotamiento del ozono⁴⁹. Por ello, los valores de consumo de estas sustancias se presentan ponderados por dicho potencial y consideran el consumo aparente de cada SAO, es decir, incluyen tanto su producción como las importaciones y exportaciones (WMO y UNEP, 2003; UNEP, 2012). A nivel global, el consumo de SAO se redujo 99% entre 1986 y 2013 (Figura 5.46; **IB 1.3-1**). No obstante, su concentración en la atmósfera, aunque muestra indicios de disminución si se compara con los valores máximos registrados en la década de los noventa, no lo hace a la misma velocidad que el consumo (Figura 5.47; **IB 1.3-4**). Esto se debe a que las SAO tienen tiempos de vida atmosférica que van desde los cinco hasta los 100 años (WMO y UNEP, 2003).



De acuerdo con la última evaluación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) sobre los logros obtenidos por el Protocolo de Montreal, la concentración atmosférica de las principales SAO está disminuyendo. Dicha evaluación estima que el cumplimiento de las disposiciones del Protocolo permitirá que la capa de ozono recupere sus niveles anteriores a 1980 a mediados del este siglo y, en el caso de su superficie sobre Antártica, es posible que se refleje unos 15 años más tarde (PNUMA, 2014).

Figura 5.46 | Consumo global ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1986 - 2013



Nota:

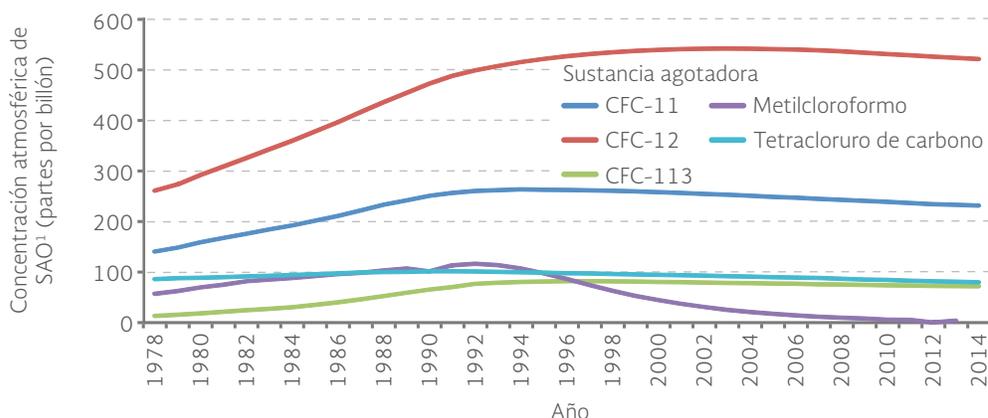
¹ El consumo es el resultado de la producción más la importación menos la exportación. Algunos datos de consumo son negativos debido a que la exportación fue mayor a la producción. El consumo neto es ponderado por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

Fuente:

UNEP. Ozone Secretariat. Data Access Centre. UNEP. Disponible en: http://ozone.unep.org/Data_Reporting/Data_Access/#notes. Fecha de consulta: febrero de 2015.

⁴⁹ El potencial de agotamiento del ozono (PAO) de cada sustancia se asigna usando como referencia al CFC-11 que tiene un valor igual a 1.

Figura 5.47 | Concentración atmosférica de sustancias agotadoras del ozono, 1978 - 2014



Nota:

¹ Los datos de concentración corresponden a registros en el hemisferio sur.

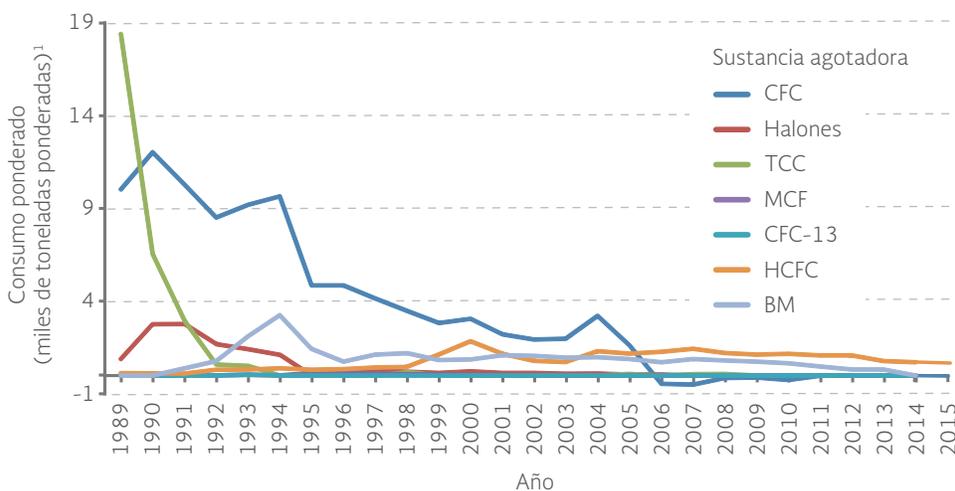
Fuente:

CDIAC. Atmospheric CFC-11, CFC-12, CFC-113, CCl4 and SF6 histories (1910-2014). 2014. Disponible en: http://cdiac.ornl.gov/oceans/new_atmCFC.html. Fecha de consulta: mayo de 2015.

En México, la tendencia de consumo de las SAO es consistente con la tendencia global. El consumo total ponderado nacional de SAO disminuyó poco más de 98% entre 1989 y 2015 (pasó de 29 mil a 610.2 toneladas) (Figura 5.48; **IB 1.3-2; IC 8**). Esta disminución se debe 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.



Figura 5.48 | Consumo nacional ponderado de sustancias agotadoras del ozono, 1989 - 2015



Nota:

¹ 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:

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad de Protección a la Capa de Ozono. Semarnat. México. 2016.

ACUERDOS Y ACCIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

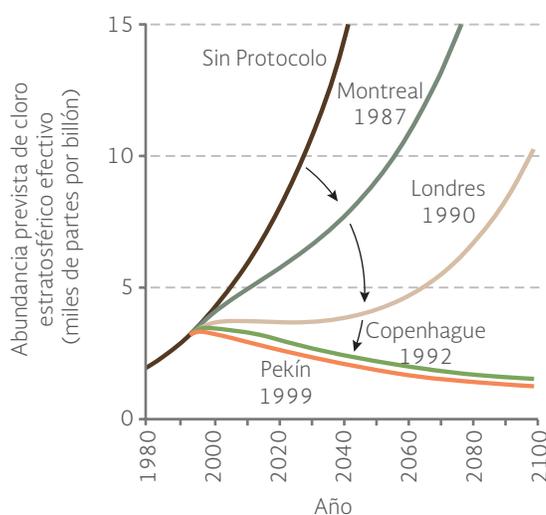
El Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Degradan la Capa de Ozono es uno de los tratados más exitosos asumidos a nivel internacional. El Protocolo (adoptado en 1987) junto con su antecesora la Convención de Viena sobre la Protección de la Capa de Ozono (adoptada en 1985) han buscado definir estrategias para el problema del adelgazamiento de la capa de ozono. El Protocolo establece compromisos para reducir el consumo y la producción de SAO con el fin de disminuir su concentración en la atmósfera (Tabla 5.6; UNEP, 2014).

En el año 2009, tanto la Convención de Viena como el Protocolo de Montreal se convirtieron en los primeros tratados en la historia de las Naciones Unidas en lograr la ratificación universal (UNEP, 2014). México firmó estos tratados y adoptó las enmiendas de Londres (1991), Copenhague (1994), Montreal (2006) y Pekín (2007; UNEP, 2014).

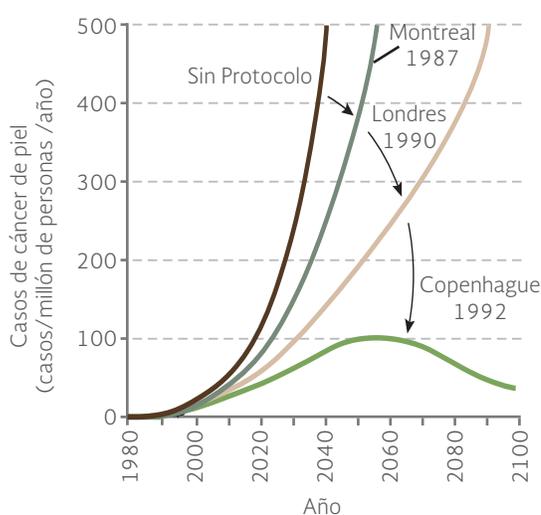
Se ha calculado que sin la implementación del Protocolo, la destrucción del ozono estratosférico podría haber aumentado 50% en el hemisferio norte y 70% en las latitudes medias del sur en 2050. Esta situación habría incrementado la incidencia de radiación UV- B en la superficie terrestre: el doble en las latitudes del norte y cuatro veces más 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 calcula que se evitaron 1.5 millones de casos de cáncer de piel

Figura 5.49 | Efectos del Protocolo de Montreal y sus enmiendas

a) Concentración de cloro¹ estratosférico



b) Casos de cáncer de piel



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*. UNEP. 3a. edición. 2012.

Tabla 5.6 | *Compromisos de reducción de SAO ante el Protocolo de Montreal*

<i>Sustancia</i>	<i>Reducción en países industrializados (%)</i>	<i>Reducción en países en desarrollo (%)</i>
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
		50% en 2001
		70% en 2003
		100% en 2005
Hidroclorofluorocarbonos	0% en 1996	10% en 2015
		35% en 2004
		65% en 2010
		90% en 2015
		99.5% en 2020
		100% en 2030
Hidrobromofluorocarbonos	100% en 1996	100% en 1996

Fuente:

Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad de Protección a la Capa de Ozono. Semarnat. México. 2016.

de tipo melanoma, 19 millones de casos de cáncer de tipo no melanoma y 130 millones de casos de cataratas (UNEP; 2012). En la Figura 5.49a se muestra la magnitud de los efectos calculados del 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 (Figura 5.49b).

Como resultado del cumplimiento de los compromisos adquiridos ante el Protocolo de Montreal, a partir de 1995 la mayoría de las SAO incluidas en el Protocolo, 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, así como apoyos financieros que les permitieran enfrentar los costos de su eliminación.

El gobierno de México se comprometió a cumplir las metas de reducción de las SAO. Las acciones se han orientado principalmente a la eliminación de los clorofluorocarbonos, al uso de sustancias alternativas que minimicen los impactos en la capa de ozono, al control en el consumo y producción de otras SAO, así como financiamiento de tecnologías limpias que empleen sustancias y prácticas alternativas a las SAO.

Nuestro país cumplió anticipadamente las metas de reducción de algunas sustancias: CFC, tetracloruro de carbono (TCC), metil cloroformo (MCF), halones y bromuro de metilo. En el año 2005 se cerró la única planta de producción de CFC en México, 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, 2005 y 2012).

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. Dado que se impulsó el uso de sustancias alternativas para sustituir aquellas con mayores potenciales de agotamiento, el consumo de HCFC⁵⁰ se incrementó a finales de los noventa. Sin embargo, su consumo también está regulado por el Protocolo, por lo que en los últimos años también ha disminuido (Figura 5.50; **IB 1.3-5**). Las metas de reducción progresiva de los HCFC plantean una disminución del 10% en 2015 hasta alcanzar el 100% en 2040. 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 de las estrategias de cooperación internacional, en 1991 se estableció el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal, cuyo objetivo ha sido apoyar a los países en desarrollo a cumplir con las medidas de control adoptadas ante el Protocolo

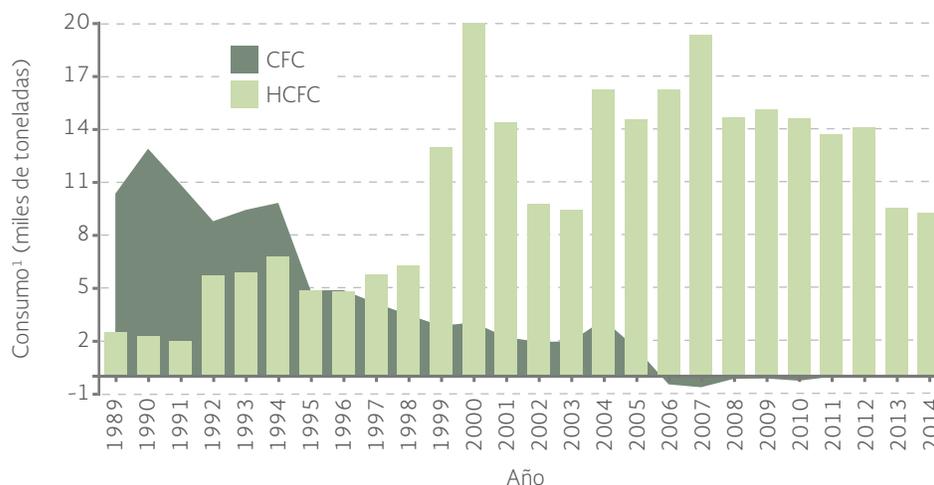
⁵⁰ Los HCFC poseen un menor potencial de agotamiento: los que se emplean en México poseen potenciales de entre 0.04 y 0.07, en contraste con los reportados para los CFC, que van de 0.6 a 1.0.

de Montreal. Sus recursos se dirigen a impulsar la introducción de tecnologías limpias y a la capacitación de los usuarios de las SAO en esos países. A mayo de 2014, el Fondo había destinado a nivel mundial alrededor de 3 100 millones de dólares y se busca que con la implementación de todos los proyectos apoyados se alcance una reducción en el consumo y producción de aproximadamente 463 mil toneladas ponderadas de SAO. A diciembre de 2012 ya se había llegado al 97% de esta cifra (UNEP, 2014). México recibió de este Fondo en el periodo 1991-2014 un total de 124.07 millones de dólares, con los que apoyó 146 proyectos en sectores como refrigeración, aerosoles, espumas, solventes, agricultura y almacenaje de productos, entre otros (Figura 5.51).

A nivel nacional, hace más de veinte años se creó la Unidad de Protección a la Capa de Ozono, dependiente de la Semarnat. Su función es implementar las medidas necesarias para el cumplimiento de los compromisos de México ante el Protocolo de Montreal. También se desarrolló el Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO) para vigilar su importación y exportación y contar con un registro estadístico de su movimiento (Semarnat, 2013).

Los logros a nivel global son importantes, sin embargo, el problema aún no está resuelto. A principios del 2014 se publicó un estudio con la identificación y cuantificación de nuevas sustancias que destruyen el ozono: tres CFC y un HCFC. A pesar de que se estima una emisión relativamente baja de estas nuevas sustancias de alrededor de 74 mil toneladas, muy por abajo del millón estimado para otros CFC en los ochenta, es muestra de lo importante que resulta el monitoreo de su presencia en la atmósfera.

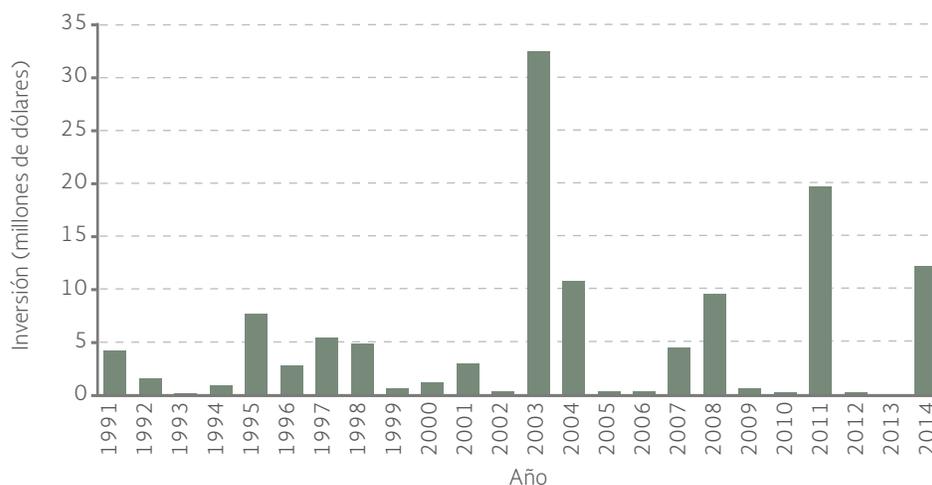
Figura 5.50 | Consumo nacional de HCFC como sustancias alternativas a los CFC, 1989 - 2014



Nota:
¹ 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:
 Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad de Protección a la Capa de Ozono. Semarnat. México. 2015.

Figura 5.51 | Fondos otorgados a México por el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal, 1991 - 2014



Fuente:

Semarnat. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Unidad de Protección a la Capa de Ozono. Semarnat. México. 2015.

REFERENCIAS

Aufdenkampe, A.K., E. Mayorga, P.A. Raymond, J.M. Melack, S.C. Doney, S.R. Alin, R.E. Aalto y K. Yoo. Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere. *Frontiers in Ecology and Environment* 9(1): 53-60, doi:10.1890/100014. 2011.

Barriopedro, D., E. Fischer, J. Luterbacher, R. Trigo y R. García. The Hot Summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 332(220): 220-224. 2011.

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.

Brown, J., T.J. Valone y C.G. Curtin. Reorganization of an arid ecosystem in response to recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 94: 9729-9733. 1997.

Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000*. Segob. México. 2001.

Cenapred. *Tormentas severas*. Serie Fascículos. México. 2014. Disponible en: www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF.

Challenger, A. y R. Dirzo. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Dirzo, R., R. González e I.J. March (Comps.). *Capital Natural de México, Volumen II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio. México. 2008.

CICC. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Semarnat. México. 2007.

Clean Air Institute. *La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Edición 2012*. USA. 2013.

Conagua. *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2014*. Conagua. México. 2014.

Conagua. *Reporte del Clima en México. Reporte Anual 2015*. Conagua. México. 2015.

Conagua. *Resumen de la temporada de ciclones tropicales del año 2015*. Conagua. México. s/a. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/2015.pdf>.

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. México. 2007.

- Delgado, G.H., J. Miranda, C. Huggel, S. Ortega del Valle y M.A. Alatorre Ibarquengoitia. Chronicle of a death foretold: Extinction of the small-size tropical glaciers of Popocatepetl volcano (Mexico). *Global and Planetary Change* 56: 13–22. 2007.
- Delworth T.L. y R.J. Greatbatch. Multidecadal Thermohaline Circulation Variability Driven by Atmospheric Surface Flux Forcing. *American Meteorological Society* 13: 1481–1495. 2000.
- DOF. Modificación a la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. Diario Oficial de la Federación. México. 2006 (3 de octubre).
- DOF. *Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación*. México. 2012 (6 de junio).
- Gobierno de la República. *Compromisos de Mitigación y Adaptación Ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030*. Gobierno de la República. México. 2015.
- Gruber, N. y J.N. Galloway. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. 2008. *Nature* 451(17): 293–296, doi: 10.1038/nature06592.
- Holland, G.J. y P.J. Webster. Heightened tropical cyclone activity in the North Atlantic: Natural variability or climate trend? *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 365: 2695–2716. 2007. Disponible en: doi:10.1098/rsta.2007.2083.
- IEA. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights*. 2014 Edition. IEA. France. 2014.
- IEA. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights*. 2015 Edition. IEA. France. 2015.
- INECC. *Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México*. INECC. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. 2013.
- INECC. *Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM_{2.5} en tres zonas metropolitanas mexicanas*. INECC. México. 2014a.
- INECC. *Información sobre ecología y cambio climático. Respuesta Internacional*. INECC. México. Disponible en: <http://iecc.inecc.gob.mx/respuesta-internacional.php>. Fecha de consulta: agosto de 2014b.
- INECC. *Información sobre ecología y cambio climático. Respuesta Internacional*. INECC. México. 2016. Disponible en: www.sicc.amarellodev.com/respuesta-internacional.php. Fecha de consulta: abril de 2016.
- INECC, Semarnat. *Informe Nacional de Calidad del Aire 2013, México*. INECC, Semarnat. México. 2014.
- INECC, Semarnat. *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2012.
- INECC, Semarnat. Dirección de Modelos Sectoriales de Desarrollo Bajo en Carbono. INECC, Semarnat. México. 2015.
- INECC, Semarnat. *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. INECC, Semarnat. México. 2015.
- 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. INE, Semarnat y UNAM. México. 2008.
- IPCC. *Cambio climático y biodiversidad*. Documento técnico V del IPCC. 2002.
- 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*. IPCC. France. 2007a.
- IPCC. *The AR4 Synthesis Report*. IPCC. France. 2007b.
- IPCC. *Climate change and water*. IPCC Technical Paper VI. IPCC. Switzerland. 2008.
- IPCC. *Summary for Policymakers Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. United Kingdom y USA. 2013.
- IPCC. *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC. 2014.
- Keeling, R.F., S.C. Piper, A.F. Bollenbacher y J.S. Walker. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/atg.035. 2009.
- Keeling, C.D. y T.P. Whorf. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network, 2005. En: *Trends: A compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. USA. Disponible en: <http://cdiac.ornl.gov/>. Fecha de consulta: agosto de 2015.

- Khazendar, A., C.P. Borstada, B. Scheuchlb, E. Rignotb y H. Seroussia. The evolving instability of the remnant Larsen B Ice Shelf and its tributary glaciers. *Earth and Planetary Science Letter* 419: 199-210. 2015.
- 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– 63. 2010.
- Laube, J., M.J. Newland, C. Hogan, C. Brenninkmeijer, P.J. Fraser, P. Martinerie, D.E. Oram, C.E. Reeves, T. Röckmann, J. Schwander, E. Witrant y W.T. Sturges. Newly detected ozone-depleting substances in the atmosphere. *Nature* 7: 266-269. 2014.
- Lezama, J.L. La contaminación del aire. En: Lezama, J.L. y B. Graizbord. *Los grandes problemas de México*. Colmex. México. 2010.
- MacDougall, A., C. Avis y J. Weaver. Significant contribution to climate warming from the permafrost carbon feedback. *Nature Geoscience* 5: 719–721. 2012.
- Macías Medrano, J.M. y A. Avendaño García. Climatología de tornados en México. *Invest. Geog.* 83. 2014. Disponible en: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112014000100006#figura3. Fecha de consulta: julio de 2016.
- Manney, G., M. Santee, M. Rex, et al. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature* 478: 469-475. 2011.
- NASA. *Arctic sea ice continues decline, hits 2nd-lowest level*. 2011. NASA. Disponible en: www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-temps.html. Fecha de consulta: agosto de 2015.
- NASA. *NASA Pinpoints Causes of 2011 Arctic Ozone Hole*. 2014. NASA. Disponible en: www.nasa.gov/topics/earth/features/2011-ozone-hole.html. Fecha de consulta: abril de 2015.
- NASA. *Greenland Ice Sheet Today*. 2015a. NASA. Disponible en: <http://nsidc.org/greenland-today/>. Fecha de consulta: mayo de 2015.
- NASA. *Ozone Hole Watch. Annual Records*. 2015b. NASA. Disponible en: http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/annual_data.html. Fecha de consulta: abril de 2015.
- Nicholls, R.J. y A. Cazenave. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328: 1517-1520. 2010.
- NOAA. *Greenland Ice Sheet*. 2015. NOAA. Disponible en: www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland_ice_sheet.html. Fecha de consulta: mayo de 2015.
- NSIDC. *Arctic Sea Ice News & Analysis*. NSIDC. 2015. Disponible en: <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2015/05/>. Fecha de consulta: julio de 2015.
- PEF. *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. México. 2009.
- Perry, A.L., P.J. Low, J.R. Ellis y J.D. Reynolds. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308: 1912–1915. 2005.
- PNUMA. *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.
- PNUMA. *GEO América Latina y El Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003*. PNUMA. Costa Rica. 2003.
- PNUMA. *Protocolo de Montreal. Logros alcanzados hasta la fecha y desafíos futuros*. Secretaría del Ozono. PNUMA. 2014. Disponible en: <http://ozone.unep.org/es/protocolo-de-montreal-logros-alcanzados-hasta-la-fecha-y-desaf%C3%ADos-futuros>. Fecha de consulta: mayo de 2015.
- Rabatel, A., B. Francou, A. Soruco, et al. Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere* 7: 81-102. 2013.
- Semarnat. *Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono. Unidad de Protección de la Capa de Ozono*. Semarnat. México. 2005. Disponible en: <http://sissao.semarnat.gob.mx/>. Fecha de consulta: abril de 2015.
- Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Unidad Protectora de la Capa de Ozono. Semarnat. México. 2012.
- Semarnat. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. Semarnat. México. 2013a.
- Semarnat. *Protección a la capa de ozono*. Semarnat. México. 2013b. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/pco.aspx. Fecha de consulta: abril de 2015.
- Semarnat. *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)*. Semarnat. México. 2014b.
- Semarnat. *Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire*. México. Semarnat. México. 2014. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/calidad-del-aire/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire. Fecha de consulta: abril de 2015.

Semarnat, INE y Pemex Refinación. *Estudio de evaluación socioeconómica del proyecto integral de calidad de combustibles. Reducción de azufre en gasolinas y diésel*. Semarnat, INE y Pemex Refinación. Estudio. México. 2006.

Semarnat, SHCP. *La economía del cambio climático en México. Síntesis*. Semarnat, SHCP. México. 2009.

Stern, N. *Stern Review. The Economics of Climate Change*. United Kingdom. 2007.

The Ozone Hole. *Ozone Hole History*. 2015. Disponible en: www.theozonehole.com/ozoneholehistory.htm. Fecha de consulta: abril de 2015.

UNCCD. Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación. Entrada en vigor 1996. UNCCD. Disponible en: www.onu.cl/onu/unccd/. Fecha de consulta: agosto de 2015.

UNFCCC. *Kyoto Protocol. Status of Ratification*. UNCCD. 2014. Disponible en: http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php. Fecha de consulta: junio de 2015.

UNEP. *UNFCCC Convention on Climate Change*. Climate Change Secretariat. UNEP. France. 2002.

UNEP. *Policy Implications of Warming Permafrost*. UNEP. Kenya. 2012a.

UNEP. *Vital Ozone Graphics*. 2012b. UNEP. Disponible en: www.grida.no/publications/vg/ozone3/. Fecha de consulta: abril 2016.

UNEP. *Ozone Secretariat. Status of Ratification*. 2014. UNEP. Disponible en: <http://ozone.unep.org/en/treaties.php>. Fecha de consulta: abril de 2015.

UNEP y WGMS. *Global glacier changes: facts and figures*. UNEP. Kenya. 2008.

Vittoz, P., D. Cherix, Y. Gonshech, V. Lubinid, R. Magginie, N. Zbinden y S. Zumbachg. Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: A review. *Journal for Nature Conservation*. 21: 154– 162. 2013. Disponible en: www.researchgate.net/profile/Daniel_Cherix/publication/235622981_Climate_change_impacts_on_biodiversity_in_Switzerland_A_review/links/00463536bcd81559800000.pdf. Fecha de consulta: junio de 2016.

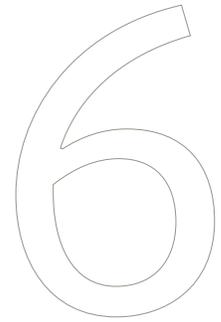
Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry y H.R. Chang. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* 309: 1844-1846. 2005.

Weatherhead, E.C. y S.B. Andersen. The search for signs of recovery of the ozone layer. *Nature* 441: 39-45. 2006.

WHO. *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012*. WHO. Suiza. 2014a.

WMO. *Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes 1970-2012*. WMO. Switzerland. 2014b.

WMO y UNEP. *Scientific assessment of ozone depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 47*. WMO y UNEP. Switzerland. 2003.



Las distintas actividades humanas ejercen una presión importante, directa e indirectamente, sobre el ciclo hidrológico, lo que ha tenido consecuencias negativas en muchas regiones no sólo en la calidad de vida de la población, sino también en los ecosistemas naturales y su biodiversidad. En un mundo caracterizado por una población creciente y con mayor capacidad económica que le permite acceder a más bienes y servicios, la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de abastecer con mayores volúmenes de agua a la población y a las actividades productivas, ha incrementado significativamente su demanda y ha presionado fuertemente su calidad en sus reservorios naturales.

La producción y consumo de bienes y servicios no sólo ha traído consigo una mayor demanda del líquido, sino también una mayor generación de aguas residuales, de las cuales una proporción importante (sobre todo en los países en desarrollo) se vierte sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales. Como resultado de su contaminación, muchos ecosistemas dulceacuícolas y marinos muestran signos evidentes de degradación, con lo cual se han reducido en cantidad y calidad sus servicios ambientales y se ha perdido, en algunos casos de manera irremediable, su biodiversidad. Paralelamente, la contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos reduce la disponibilidad inmediata del líquido, requiriéndose en algunos casos, de procesos e inversiones económicas cuantiosas para su tratamiento y potabilización. A los problemas anteriores debemos sumar los que podrían derivarse del cambio climático, algunas de ellos de acuerdo a las proyecciones son el aumento del riesgo de inundaciones y sequías en distintas zonas por los cambios en la intensidad y distribución geográfica de la precipitación; la disminución de las reservas de agua almacenada en los glaciares y en la nieve (lo que reduciría la disponibilidad en regiones dependientes del deshielo) y un incremento en la superficie terrestre con estrés hídrico, entre otras. Ante este escenario el manejo de agua en el mundo y en México representa uno de los más importantes retos ambientales para el futuro.

| **DISPONIBILIDAD DEL AGUA** RESERVAS DE AGUA DULCE EN EL MUNDO

Se calcula que en el planeta existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos (PNUMA, GEMS, 2007). Cerca de tres cuartas partes del agua dulce

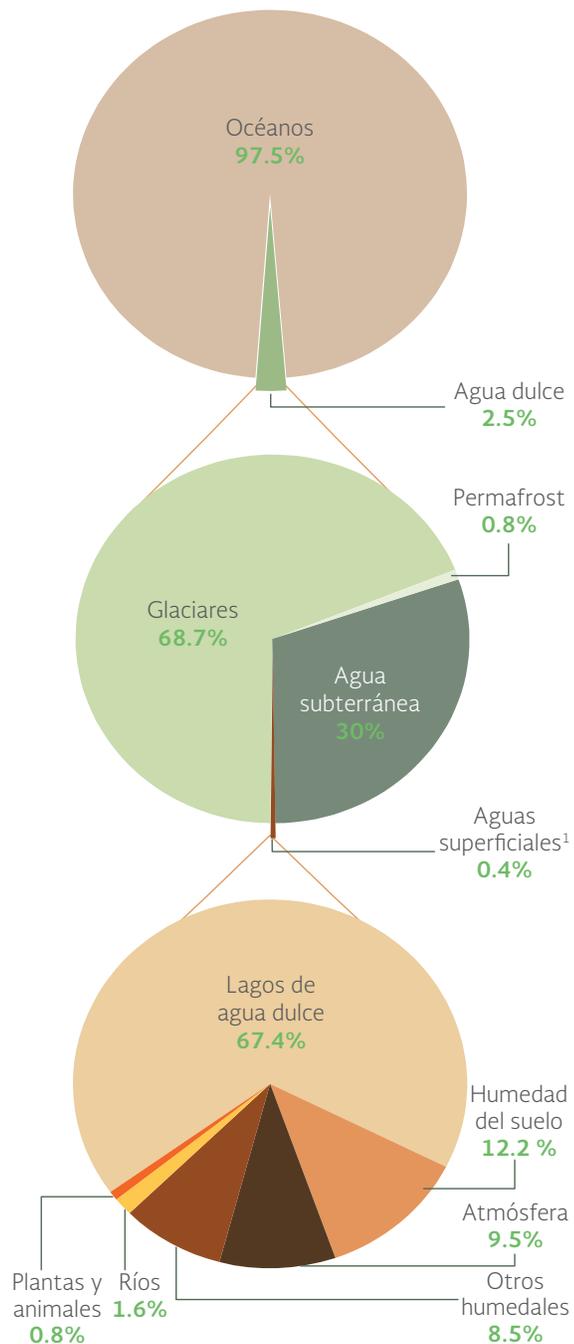
está contenida en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales aproximadamente 97% son prácticamente inaccesibles, pues se encuentran en la Antártica, el Ártico y Groenlandia. No obstante, muchos de los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente importante de recursos hídricos para muchos países. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen menos del uno por ciento del agua dulce no congelada. En los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91 000 frente a 2 120 km³) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales. La distribución total del agua en el planeta puede verse en las Figuras 6.1 y 6.2.

BALANCE HÍDRICO NACIONAL

El agua de la que disponen los países para el abasto público y de sus actividades productivas proviene fundamentalmente de la que obtienen por la precipitación, aunque en algunos casos también se suma la que proviene de los ríos que viajan por otros países y se internan en sus territorios. A ese volumen deben restarse las “pérdidas” del líquido, debidas principalmente a lo que se evapora y lo que transpira la vegetación, así como lo que sale de sus territorios por la vía fluvial hacia otros países. Al final, el agua disponible es aquella que circula por ríos y puede depositarse en otros cuerpos de agua, presas y bordos, y la que finalmente se infiltra en los acuíferos. Este recuento de las entradas y salidas del sistema es lo que se conoce como balance hídrico.

En el caso del balance hídrico de México, recibe por precipitación un volumen anual promedio de 1 449 kilómetros cúbicos de agua, de los

Figura 6.1 | Distribución del agua en el mundo



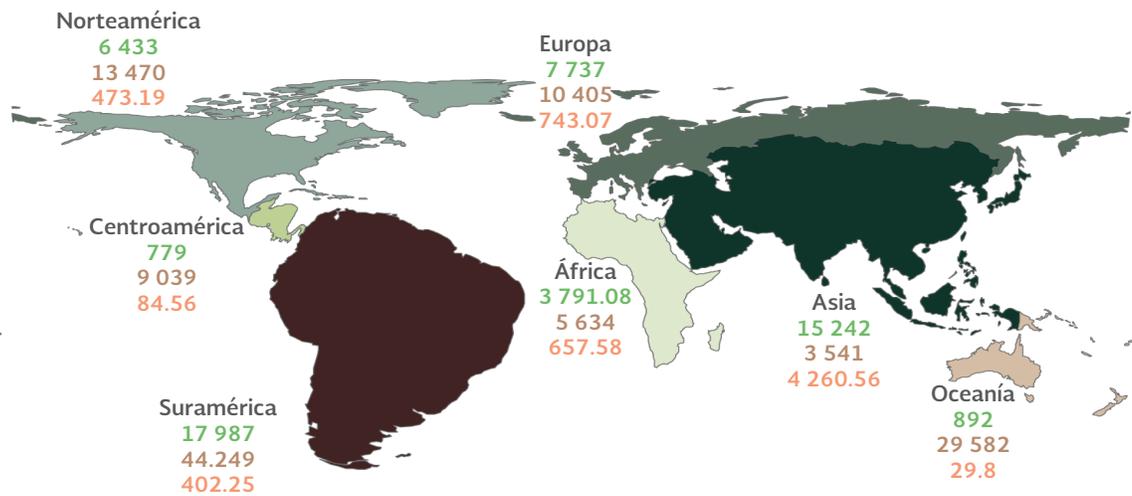
Nota:

¹ Esta cantidad también incluye: humedad atmosférica y del suelo, y agua en plantas y animales.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4 medio ambiente para el desarrollo*. PNUMA, Dinamarca. 2007.

Figura 6.2 | Reserva de agua dulce en el mundo por región^{1,2}, 2015



Valores de cada región indican:
Disponibilidad natural media (km³)
Disponibilidad media per cápita (m³/hab/año)
Población (millones de habitantes)

Notas:

¹ Para algunas regiones los valores no comprenden al 100% de los países que las forman. Europa (85% de los países), Centroamérica (81% de los países), África (55% de los países) y Oceanía (29% de los países).

² La disponibilidad natural media es el valor que se representa en el cartograma de las reservas de agua dulce en el mundo.

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/main/indexesp.stm. Fecha de consulta: febrero de 2016.

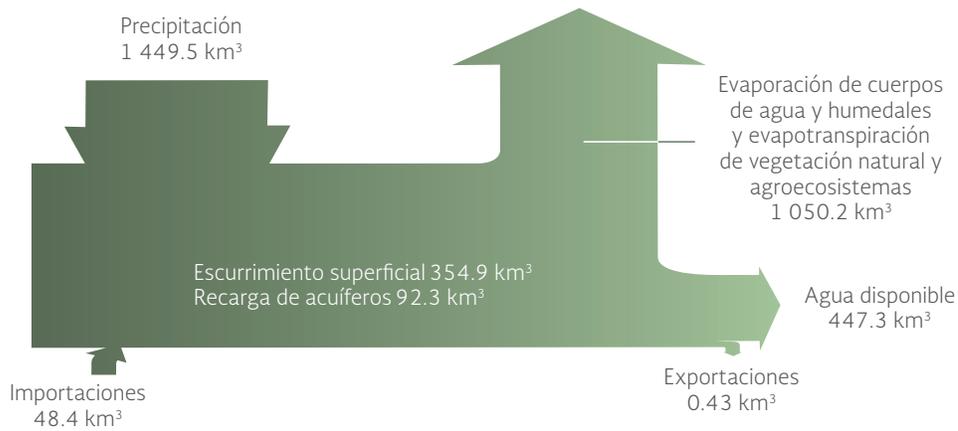
cuales 71.5% regresa a la atmósfera por evapotranspiración (**Cuadro D3_AGUA01_04**). Además del agua de lluvia, se le suman aproximadamente 48 kilómetros cúbicos por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur, y exporta 0.43 kilómetros cúbicos anualmente del río Bravo a los Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales del año 1944. Así, la disponibilidad natural media en el país¹ es de 447.26 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año (Conagua, 2014a; Figura 6.3). De ese volumen, alrededor del 80% corresponde al escurrimiento superficial nacional² (354.99 km³ en 2014) y el restante 20% (92.27 km³) contribuye a la recarga de los acuíferos. El valor de la disponibilidad natural media nacional resulta superior al de la mayoría de los países europeos, pero poca en comparación a países como Brasil (8 647 km³), Estados Unidos (3 069 km³) o Canadá (2 902 km³; FAO-Aquastat, 2015).

Para calcular el balance hídrico se utilizan valores promedio para un periodo de tiempo particular. Sin embargo, la precipitación y las otras variables que lo conforman en realidad varían temporal y espacialmente en el país. Por ejemplo, en 2013 la precipitación media anual nacional fue de 921 milímetros, esto es, un valor 24.4% por arriba de la precipitación normal para el periodo de referencia 1981-2010 (740 mm; Figura 6.4; **Cuadro D3_AGUA01_01** y **Cuadro D3_AGUA01_02**).

¹ Disponibilidad natural media es el volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región (Conagua, 2014a).

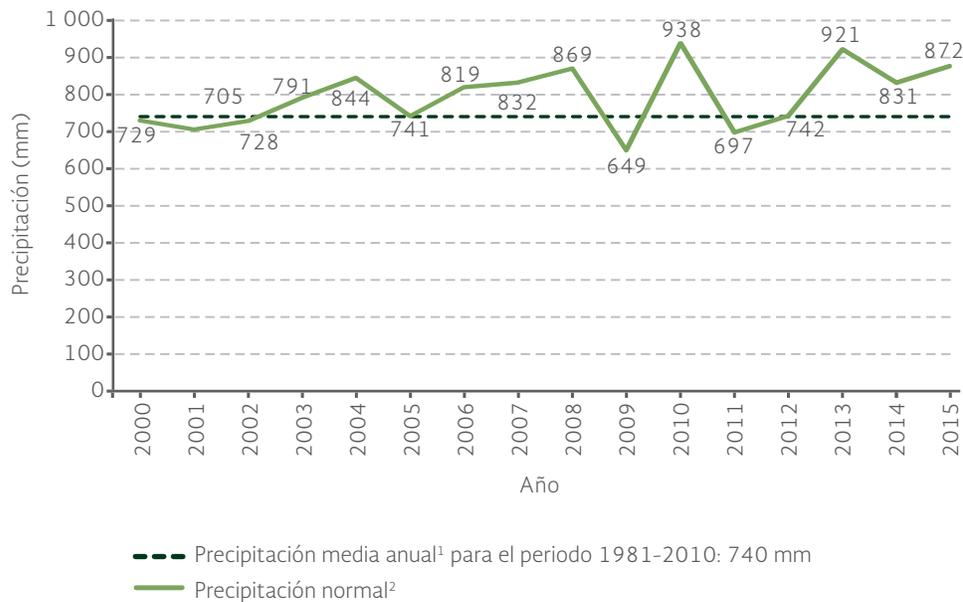
² De acuerdo con la Conagua, los valores promedio fueron estimados en 2011, al culminar un ciclo de actualización de estudios de cuencas y acuíferos, por lo que se emplean como valores de referencia para el periodo 2011-2018.

Figura 6.3 | Balance de agua en México



Fuente:
 Elaboración propia con datos de: SINA, Conagua, Semarnat. *Ciclo hidrológico*. Disponible en: http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=cicloHidrologico. Fecha de consulta: febrero de 2016.

Figura 6.4 | Precipitación media normal en México, 2000 - 2015



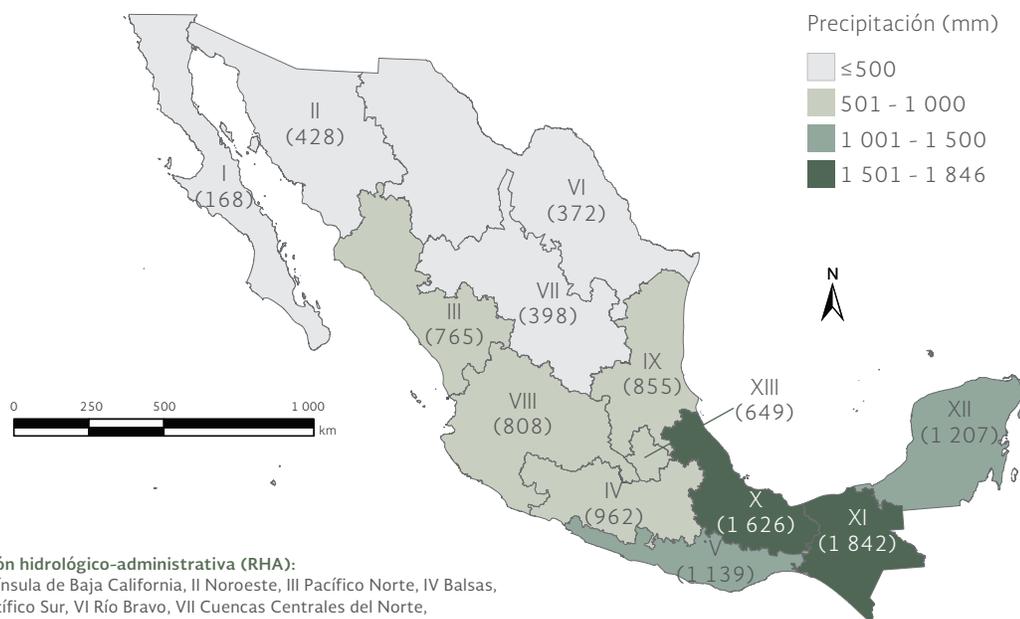
Notas:
¹ Precipitación media anual - Se calcula para cualquier periodo de por lo menos diez años, que comience el 1° de enero del primer año y que acabe el 31 de diciembre del último año.
² Precipitación normal - Precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo, y que inicie el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero.

Fuentes:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Precipitación*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: marzo de 2016.

A la variación temporal debe sumarse una importante variación espacial. Los contrastes en los volúmenes de la precipitación recibida entre las regiones hidrológico-administrativas (RHA) en las que se divide el país³ se deben fundamentalmente a la diversidad de climas presentes en ellas. Para ilustrar lo anterior, en la RHA Frontera Sur XI, con un clima cálido húmedo, la precipitación pluvial normal anual entre los años 1981 y 2010 fue casi once veces mayor que la observada en la RHA Península de Baja California I que presenta un clima seco (de 168 a 1 842 mm, respectivamente; Mapa 6.1).

Al igual que con la precipitación, el escurrimiento superficial⁴ también muestra variaciones importantes en la geografía nacional: la región XI Frontera Sur contabiliza cerca del 34% del total nacional (básicamente a través de los ríos Grijalva y Usumacinta), mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán fue aproximadamente del uno por ciento (Tabla 6.1; 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.

Mapa 6.1 | Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa, 1981 - 2010¹



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, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:

¹ Las cifras entre paréntesis corresponden a la precipitación normal anual, en milímetros, para el periodo 1981-2010.

Fuente:

SINA, Conagua. Semarnat. *Precipitación*. Disponible en www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

³ El país está dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA), definidas de acuerdo con criterios hidrológicos, esta división considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos. El municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país.

⁴ Parte de la precipitación media histórica que se presenta en forma de flujo laminar hacia un curso de agua como arroyos, canales, ríos, lagos u océanos.

Tabla 6.1 | Disponibilidad de agua por región hidrológico-administrativa, 2015

	RHA	Agua renovable o disponible (hm ³ /año)	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	% del escurrimiento natural total	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)	% de la recarga total de acuíferos
I	Península de Baja California	4 958	3 300	0.9	1 658	1.8
II	Noroeste	8 273	5 066	1.4	3 207	3.5
III	Pacífico Norte	25 596	22 519	6.3	3 076	3.3
IV	Balsas	21 678	16 805	4.7	4 873	5.8
V	Pacífico Sur	30 565	28 629	8.1	1 936	2.1
VI	Río Bravo	12 352	6 416	1.8	5 935	6.4
VII	Cuencas Centrales del Norte	7 905	5 529	1.6	2 376	2.5
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	35 080	25 423	7.2	9 656	10.5
IX	Golfo Norte	28 124	24 016	6.8	4 108	4.4
X	Golfo Centro	95 022	90 424	25.5	4 599	5.1
XI	Frontera Sur	144 459	121 742	34.3	22 718	24.6
XII	Península de Yucatán	29 324	4 008	1.1	25 316	27.4
XIII	Aguas del Valle de México ¹	3 442	1 112	0.3	2 330	2.5
Total nacional		446 777	354 990	100	91 788	100

Nota:

¹ Para la RHA XIII se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

El escurrimiento superficial nacional fluye por la red hidrográfica (ríos y arroyos) a lo largo de la superficie nacional. Por los 51 ríos principales fluye alrededor del 87% del escurrimiento superficial nacional y sus cuencas cubren cerca del 64% del territorio⁵ (Tabla 6.2; Conagua, Semarnat, 2015). México no se caracteriza por tener grandes y numerosos lagos, el volumen almacenado en estos cuerpos de agua apenas equivale a alrededor del 3% del escurrimiento nacional (INEGI, 2013; Mapa 6.2).

Respecto a la recarga media total de los acuíferos, el mayor porcentaje ocurre en las regiones XI Frontera Sur (recarga de 22 718 hm³) y XII Península de Yucatán (25 316 hm³), lo que representa el 24.6 y 27.4% respectivamente de la recarga total. En contraste, las regiones con menor contribución a la recarga de acuíferos nacional son la I Península de Baja California (con 1.8% de la recarga total) y la V Pacífico Sur (con 2.1%). Las regiones VII y XIII (Cuencas Centrales del Norte y Aguas del Valle de México) representan en conjunto cerca del 5% de la recarga total (Tabla 6.1).

⁵ La superficie total del territorio nacional considerada es de 196 437 500 hectáreas o 1 964 375 km² (INEGI, 2013).

Tabla 6.2 | Principales ríos del país, 2015

Región	Número de ríos	Longitud total ¹ (km)	Superficie total de las cuencas (km ²)	Escurrimiento natural medio superficial (millones de m ³ /año)
Ríos de la vertiente del Pacífico y Golfo de California	33	8 411	565 128	79 453
Ríos de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe	16	5 059	542 196	224 031
Ríos de la vertiente interior	2	1 789	136 355	6 827
Totales	51	15 259	1 243 679	310 312

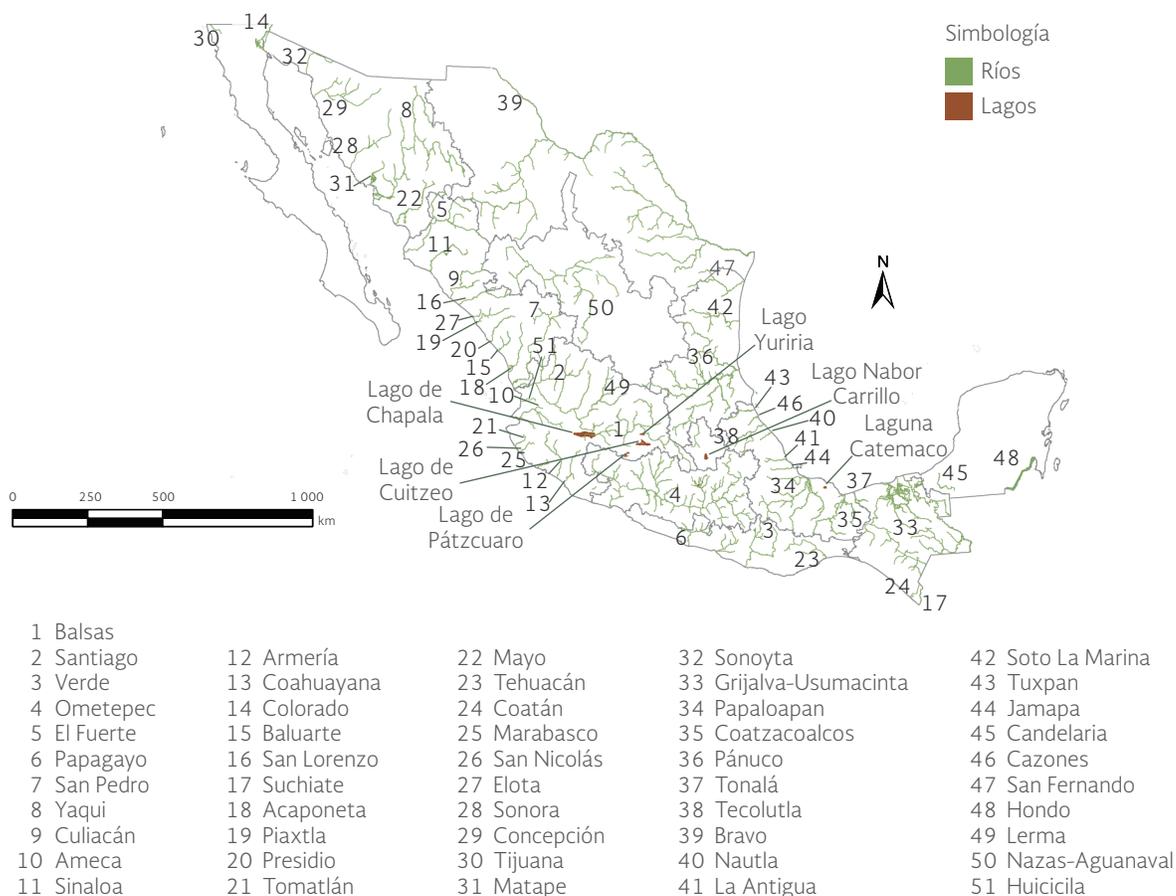
Nota:

¹ La longitud total para los ríos de las vertientes del Pacífico, Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe, es aproximada, debido a que la fuente no reporta los datos para la totalidad de las corrientes.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Ríos principales*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Mapa 6.2 | Principales ríos y lagos de México, 2015



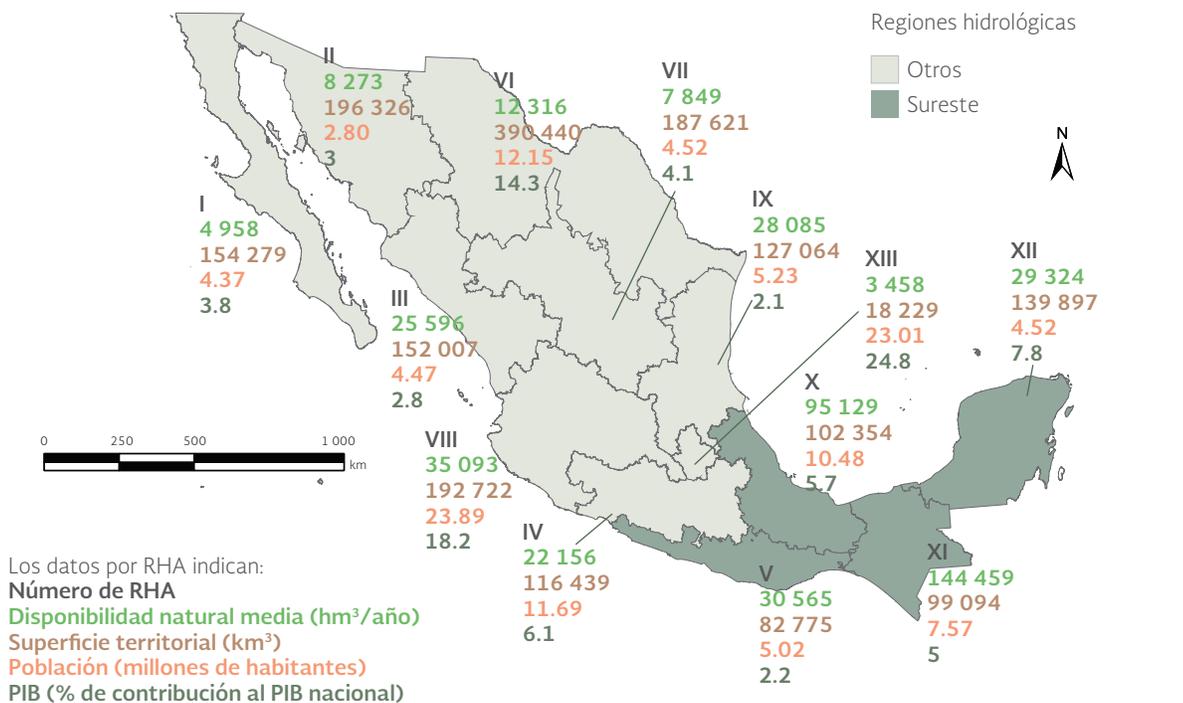
Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Ríos principales*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA

La disponibilidad natural media total, también llamada “agua renovable”, es muy heterogénea entre regiones: mientras que en la región hidrológico-administrativa Frontera Sur se dispone del 32.3% del agua renovable total nacional (esto es, cerca de 144.5 kilómetros cúbicos anuales en más del 5% del territorio nacional), en la región Aguas del Valle de México apenas se dispone del 0.8% del total (3.5 kilómetros cúbicos anuales en 0.9% del territorio; Tabla 6.1; Mapa 6.3). Esta dotación de líquido no coincide con la distribución de la población en el territorio ni con la generación regional del producto interno bruto (PIB; Mapa 6.3). Si se toman en conjunto las cuatro regiones hidrológicas del sureste del país (V Pacífico Sur, X Golfo Centro, XI Frontera Sur y XII Península de Yucatán), en ellas se concentra el 67% del agua renovable, pero alojan alrededor del 23% de la población nacional, y contribuyen con casi el 22% del PIB nacional. (Figura 6.5). Estos desequilibrios en la disponibilidad del líquido, la población asentada y en el nivel de la actividad económica entre regiones podrían ser la fuente de tensiones entre los diferentes sectores que requieren el agua, así como por las afectaciones a los ecosistemas naturales que podrían verse privados de este recurso para destinarlo a la población o bien, a actividades agropecuarias e industriales.

Mapa 6.3 | Disponibilidad natural media, población y PIB en México¹

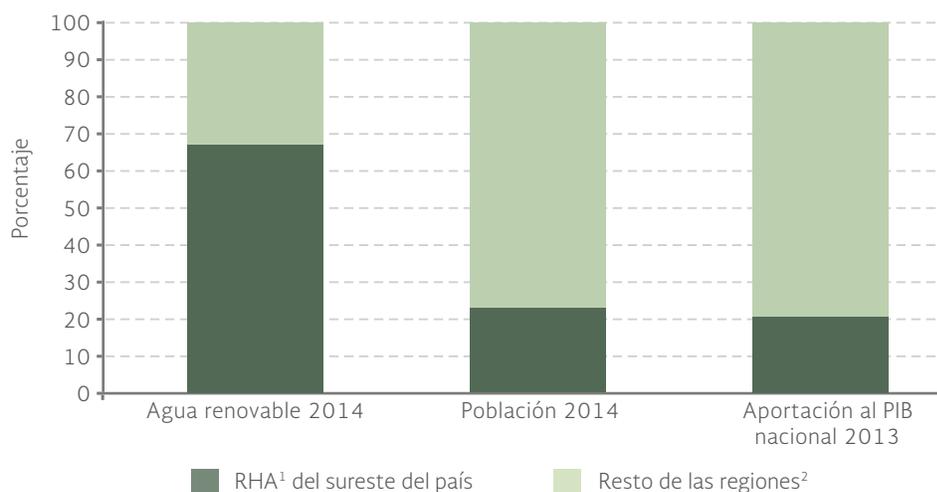


Región hidrológico-administrativa (RHA):
 I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:
¹ Los datos de disponibilidad y población son a 2014, mientras que los datos del PIB corresponden a 2013

Fuentes:
 Conagua, Semarnat. Atlas del Agua en México 2015. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 SINA, Conagua. Semarnat. Agua renovable. Disponible en http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=aguaRenovable. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

Figura 6.5 | Contrastes regionales entre el agua renovable y el desarrollo, 2014



Notas:

¹ Incluye a las regiones hidrológico-administrativas: V Pacífico Sur, X Golfo Centro, XI Frontera Sur y XII Península de Yucatán.

² Incluye a las regiones hidrológico-administrativas: I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte y XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:

Conagua, Semarnat. *Atlas del agua en México 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

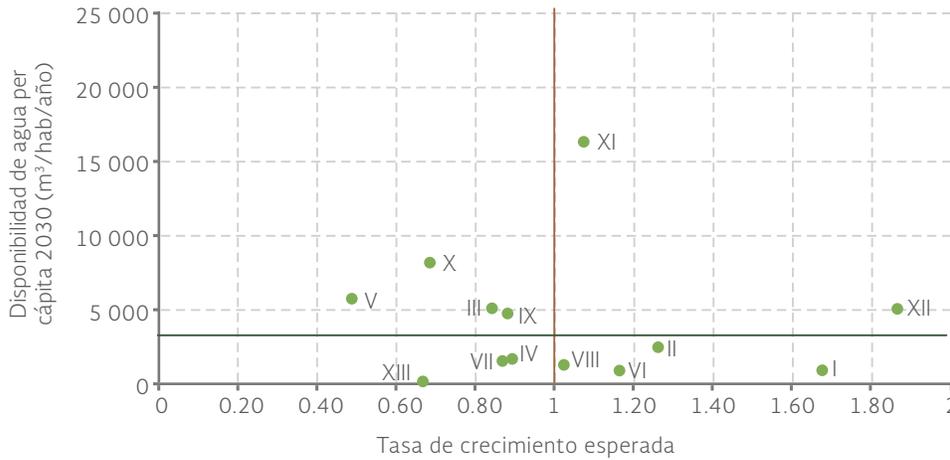
Si se analiza la disponibilidad media por habitante, la región XIII Aguas del Valle de México tiene actualmente la menor disponibilidad en el país, con sólo 150 metros cúbicos por habitante al año, mientras que un habitante de la región XI Frontera Sur tendría una dotación 127 veces mayor, esto es, de unos 19 078 metros cúbicos per cápita. El volumen de agua per cápita en el país ha disminuido significativamente acorde con el crecimiento poblacional; en 64 años (1950-2014) se redujo en alrededor de 79%, pasando de 17 742 a 3 736 metros cúbicos por habitante y se seguirá reduciendo. Para el año 2030 podría ser 12.9% menor respecto al año 2014, pasando a 3 253 metros cúbicos por habitante (IB 2.1-5). Las regiones que podrían verse más afectadas serían la XII Península de Yucatán (con una reducción del 23% respecto a su valor en 2014), I Península de Baja California (21%) y II Noroeste (16.5%). Por otro lado, las menos afectadas por la reducción de la disponibilidad del líquido podrían ser V Pacífico Sur (7%), XIII Aguas del Valle de México (9.2%) y X Golfo Centro (9.7%; Figura 6.6).



ALMACENAMIENTO EN PRESAS

El abasto del agua para el consumo de la población y para la continuidad de las actividades productivas ha hecho necesario que además de las fuentes de suministro más comunes, como los ríos, lagos y acuíferos, se construya infraestructura (por ejemplo, presas, embalses y bordos) que almacene mayores volúmenes del líquido y evite así las contingencias ocasionadas por la variabilidad natural que afectan su disponibilidad. Esta infraestructura ha servido también para el control de avenidas y, en el caso de algunas presas, para la generación de energía eléctrica.

Figura 6.6 | Proyección de la disponibilidad natural media de agua per cápita por región hidrológico-administrativa y tasa de crecimiento esperada, 2030



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.

Nota:

La línea verde representa la disponibilidad per cápita nacional estimada para 2030 (3 253 m³/hab/año).

Fuente:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México, 2015.

A nivel nacional existen más de 5 100 presas y bordos, que en conjunto tienen una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 150 mil hectómetros cúbicos. Sin embargo, gran parte del volumen está en sólo 181 presas, que en 2015 almacenaron poco más de 103 mil hectómetros cúbicos, cerca del 80% de su capacidad instalada (Figura 6.7; **IB 2.1-9**). Algunas



Figura 6.7 | Volumen de agua almacenado en las principales¹ presas del país, 2004 - 2015



Notas:

¹ Se incluyen las 181 presas que representan alrededor del 80% del almacenamiento nacional.

² NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. Coincide con la elevación de la cresta del vertedor en el caso de una estructura que derrama libremente; si la presa tiene compuertas, es el nivel superior de éstas.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México, 2015.

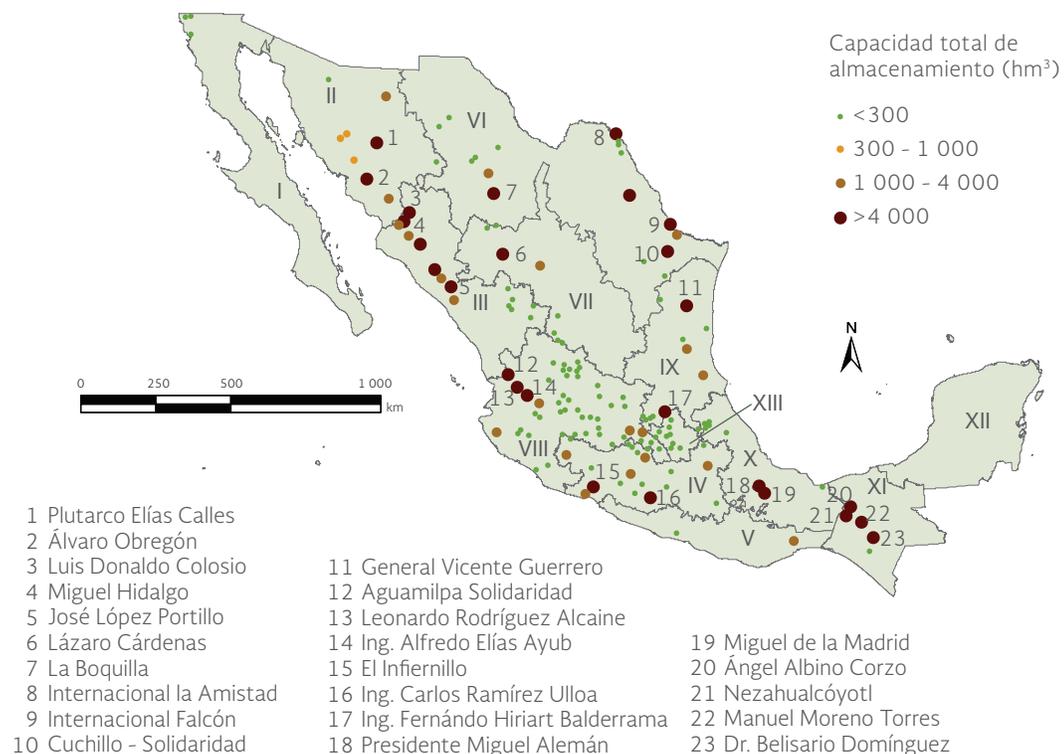
SINA, Conagua. Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=aguaRenovable. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

de las presas del país están clasificadas como grandes presas⁶ de acuerdo con la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés, 2015). En el Mapa 6.4 se muestra la distribución de las presas, por región hidrológico-administrativa, con una capacidad mayor a los 500 hectómetros cúbicos.

USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La cantidad de agua que se destina a los diferentes sectores difiere entre países y regiones debido a las características ambientales, socioeconómicas y poblacionales. A nivel mundial, con excepción de Europa, el mayor volumen de agua se concesiona al sector agrícola (entre 70.5 y 91% del total), seguido del sector público (entre 7 y 18%) y, en menor proporción, el sector industrial (de 1 a 11%; FAO-Aquastat, 2015).

Mapa 6.4 | Presas más grandes del país por región hidrológico-administrativa, 2015¹



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, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:

¹ Sólo se muestran las 23 presas más grandes del país, con capacidad mayor o igual a 1 000 hm³.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México 2015. Edición 2105*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua. Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=aguaRenovable. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

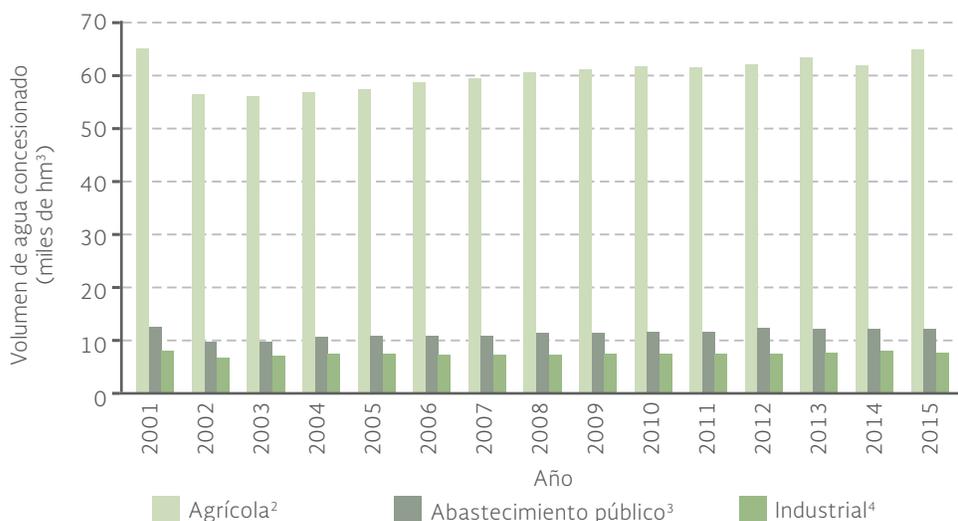
⁶ Presas cuya altura sobre el cauce es mayor de 15 metros o una capacidad mayor de 3 millones de metros cúbicos al nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), que se refiere al nivel más alto que debe alcanzar el agua en un vaso de almacenamiento (presa) bajo cualquier condición.

En México, la Conagua clasifica a los consumidores de agua en tres sectores: agrícola, abastecimiento público e industrial⁷. Entre 2001 y 2015, el volumen que se concesionó a estos usos consuntivos aumentó 16.9%, pasando de 72.6 a 85.8 kilómetros cúbicos; esta cantidad representa el 19.2% del agua renovable total (446.8 miles hm³). Al 2015 se tenían concesionados 264 miles de hectómetros cúbicos (86 km³ en usos consuntivos y 179 km³ en no consuntivos), de los usos consuntivos si se analiza por sector, se concesionaron 65.4 miles al sector agrícola (76.3% del total concesionado), 12.5 miles al abastecimiento público (14.6%), 3.7 miles a la industria autoabastecida (4.3%) y 4.1 miles a energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad (4.8%). El sector que más creció en cuanto a volumen concesionado de uso consuntivo fue el de abastecimiento público, que se incrementó 30.7% entre 2001 y 2015, mientras los sectores agrícola e industrial aumentaron 15.8 y 19.4% (Figura 6.8; IB 2.1-2).



A nivel de regiones hidrológicas, el 54.5% (46 320 hm³) del volumen concesionado en 2015 correspondió a únicamente cuatro regiones: VIII Lerma Santiago Pacífico (15 292 hm³, 18% del total), IV Balsas (10 784 hm³, 12.7%), III Pacífico Norte (10 731 hm³, 12.6%) y VI Río Bravo (9 513 hm³, 11.2%); las regiones que menos agua concesionaron fueron V Pacífico Sur (1 539 hm³, 1.8% del total) y XI Frontera Sur (2 337 hm³; 2.8%), que juntas representan casi el 5% del total nacional (Mapa 6.5).

Figura 6.8 | Volumen de agua concesionado¹ por sector, 2001 - 2015



Notas:

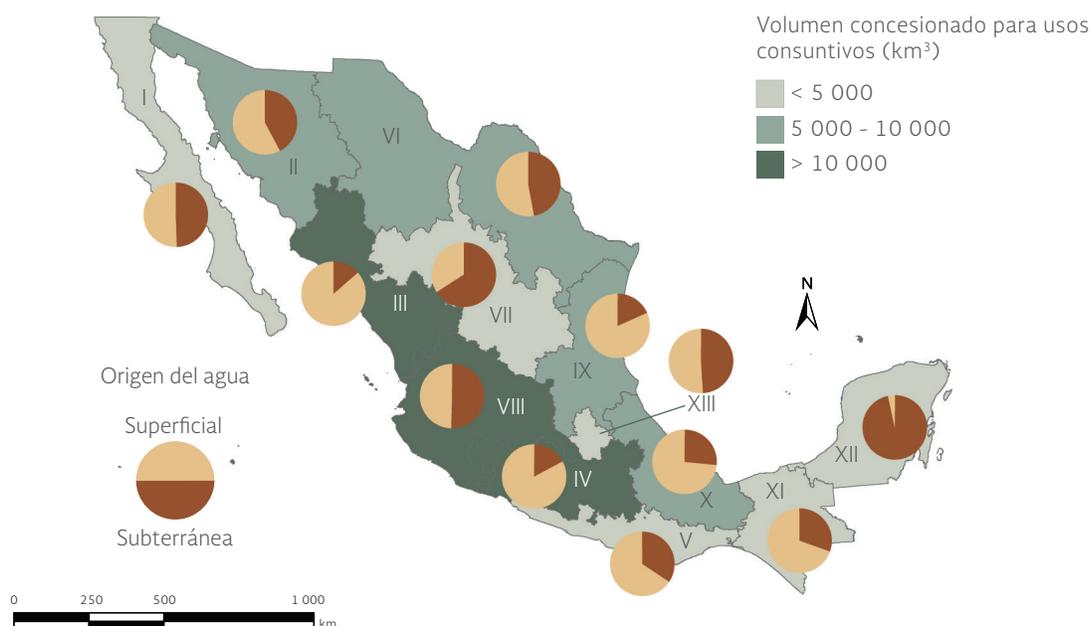
- ¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.
- ² El uso agrícola incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.
- ³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.
- ⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA, Semarnat. México. 2002, 2003, 2004.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México. Síntesis 2005*. Conagua, Semarnat. México. 2005.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua, Semarnat. México. 2006-2008, 2010, 2011, 2014 y 2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

⁷ El Repda (Registro Público de Derechos del Agua) inscribe los volúmenes que se concesionan o asignan a los usuarios de aguas nacionales y clasifica los usos del agua en doce categorías. Así, en el uso agrícola se incluyen los rubros: agrícola, acuacultura, pecuario, usos múltiples y otros usos. En abastecimiento público: doméstico y público urbano; en industria autoabastecida: agroindustria, servicios, industrial y comercio; y la generación de energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad).

Mapa 6.5 | Volumen de agua concesionado¹ por región hidrológico-administrativa y origen, 2015



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, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:

¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

Fuentes:

Elaboración propia con dato de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

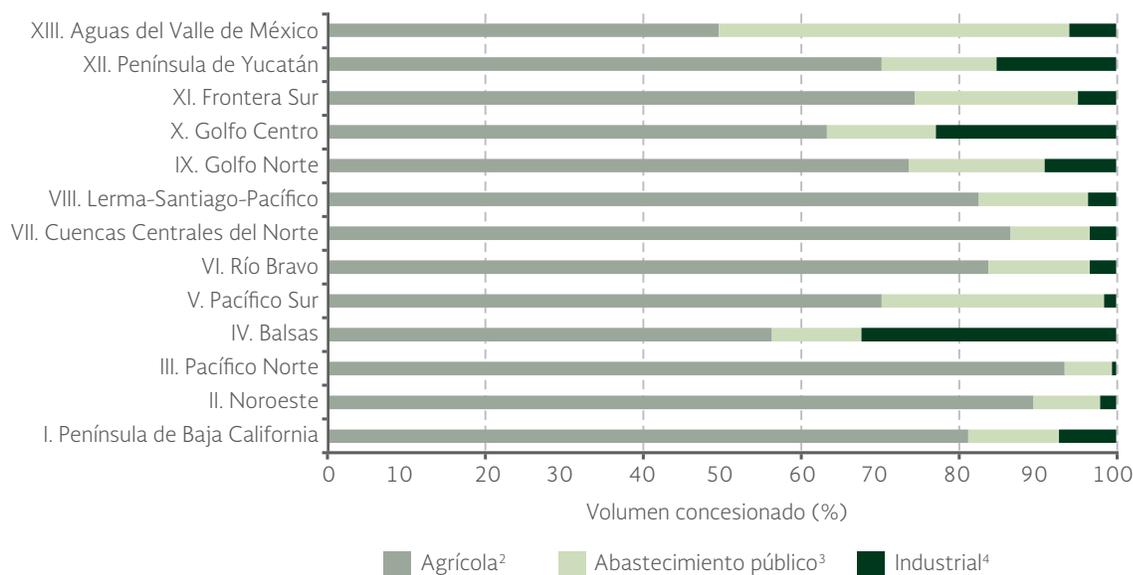
SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Las diferencias en el volumen concesionado a los diferentes sectores entre regiones hidrológico-administrativas responden básicamente a la distribución de las actividades productivas y a la población asentada en el territorio. En 2015 la mayoría de las regiones concesionaban más del 70% del líquido a las actividades agrícolas, exceptuando las regiones XIII Aguas del Valle de México, IV Balsas y X Golfo Centro (Figura 6.9; Cuadro D3_AGUA03_03). Respecto al agua para abasto público, las regiones que más concesionaron fueron XIII Aguas del Valle de México (2 139 hm³; 44.7% del total concesionado), V Pacífico Sur (412 hm³, 26.8%) y XI Frontera Sur (484 hm³, 20.7%). El agua destinada al uso industrial es por lo general inferior al volumen que se destina al abastecimiento público, excepto en la región IV Balsas⁸, donde su volumen concesionado fue cerca de tres veces mayor (3 453 hm³; 32% del total de la región) y X Golfo Centro⁹ (1 196 hm³; 22%).

⁸ De acuerdo con Conagua, el uso industrial de la región del Balsas se compone principalmente de: industria química, producción de azúcar, petróleo, celulosa y papel. En termoeléctricas se incluyen centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbo gas y de combustión interna.

⁹ De acuerdo con Conagua, el uso industrial de la región del Golfo Centro está compuesto principalmente de: industria termoeléctrica, minera, petroquímica, metálica básica y eléctrica, alimentaria, manufacturera (de alimentos, bebidas y textiles); productos a base de minerales no metálicos como el vidrio, refinación de petróleo y química básica.

Figura 6.9 | Volumen de agua concesionado¹ por uso consuntivo y región hidrológico-administrativa, 2015



Notas:

- ¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.
- ² El uso agrícola incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.
- ³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.
- ⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

De acuerdo a la fuente de la que se extrae, el líquido que se concesiona en el país proviene de cuerpos de agua superficiales (ríos, arroyos y lagos) o bien, subterránea (acuíferos). A nivel nacional, en 2015, el 61% del agua concesionada provino de fuentes superficiales, mientras que el restante 39% se obtuvo de fuentes subterráneas. Esta proporción ha variado poco a través del tiempo a pesar de los incrementos totales en el volumen de agua concesionada: entre 2001 y 2015 el volumen de agua superficial concesionada se incrementó 15.5% (pasó de 45 a 52 mil hm³), mientras que el volumen de agua subterránea aumentó más del 17.9% (al pasar de 28 a 33 hm³; Figura 6.10; **IB 2.1-3**).



Existen diferencias marcadas entre regiones respecto a la proporción de agua superficial y subterránea que utilizan. En 2015, las regiones Pacífico Norte, Balsas, Golfo Norte y Golfo Centro utilizaron en mayor proporción el agua de origen superficial (86, 83, 82 y 74%, respectivamente), mientras que en las regiones Península de Yucatán y Cuencas Centrales del Norte el mayor porcentaje correspondió al origen subterráneo (97 y 66%, respectivamente; Mapa 6.5; **Cuadro D3_AGUA03_03**).

Al analizar el origen del agua por uso consuntivo, en 2015 la mayor proporción de agua para uso agrícola e industrial (incluyendo la generación de energía eléctrica) provino de fuentes

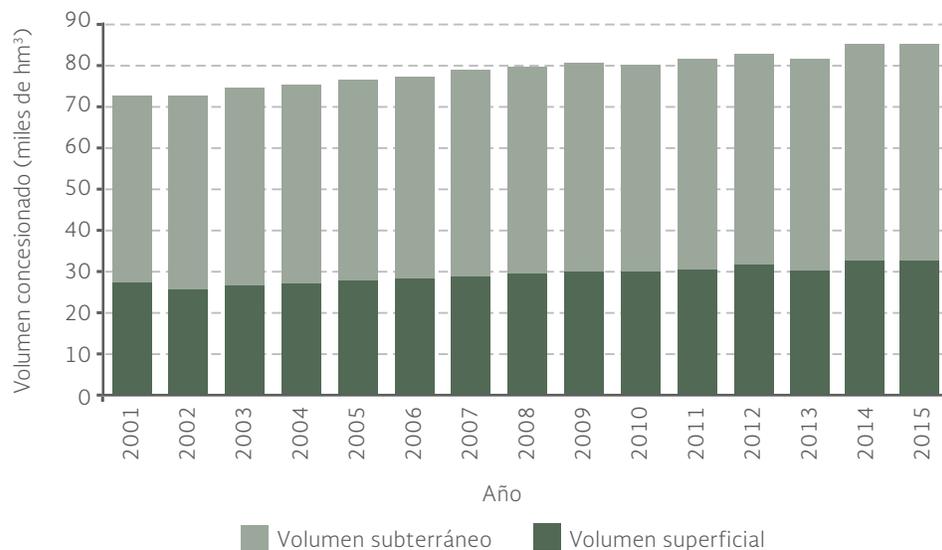
superficiales (64 y 68%, respectivamente); en contraste, el agua destinada al uso público en su mayoría se extrajo de fuentes subterráneas (60%). Entre 2001 y 2015 el volumen de agua concesionado de origen superficial aumentó 14% para el uso agrícola (pasó de 36.8 a 42 km³), 45% para el abastecimiento público (pasó de 3.3 a 4.8 km³) y 6% para el uso industrial (cambió de 5 a 5.3 km³; Figura 6.11; Cuadro D3_AGUA03_03).

Para el caso del agua de origen subterráneo, en el mismo periodo (2001-2015) se incrementó 18% para el uso agrícola (pasó de 19.7 a 23.2 km³); 17% para abastecimiento público (de 6.3 a 7.3 km³) y 57% para el uso industrial (pasando de 1.6 a 2.5 km³; Figura 6.11).

Si se analizan los consumos dominantes a nivel municipal en el uso del agua, en 2013¹⁰ cerca del 63% de los municipios (1 554 en total) dominaba el uso agrícola, seguido del abastecimiento público (casi 33%, en 803 municipios) y apenas 2.2% en industria autoabastecida (55 municipios; Mapa 6.6).

Con respecto al volumen concesionado, en 2014 en poco más del 77% de los municipios (1 899) se concesionaron hasta 25 hm³ de agua, en 15% (377 municipios) fue de 26 a 100 hm³, en 7% el volumen fue de 101 a 500 hm³ (172 municipios), y en poco menos del 1% de los municipios (19) se concesionaron más de 500 hm³ (Mapa 6.7).

Figura 6.10 | Volumen de agua concesionado por origen, 2001 - 2015



Fuentes:

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA, Semarnat. México. 2002, 2003, 2004.

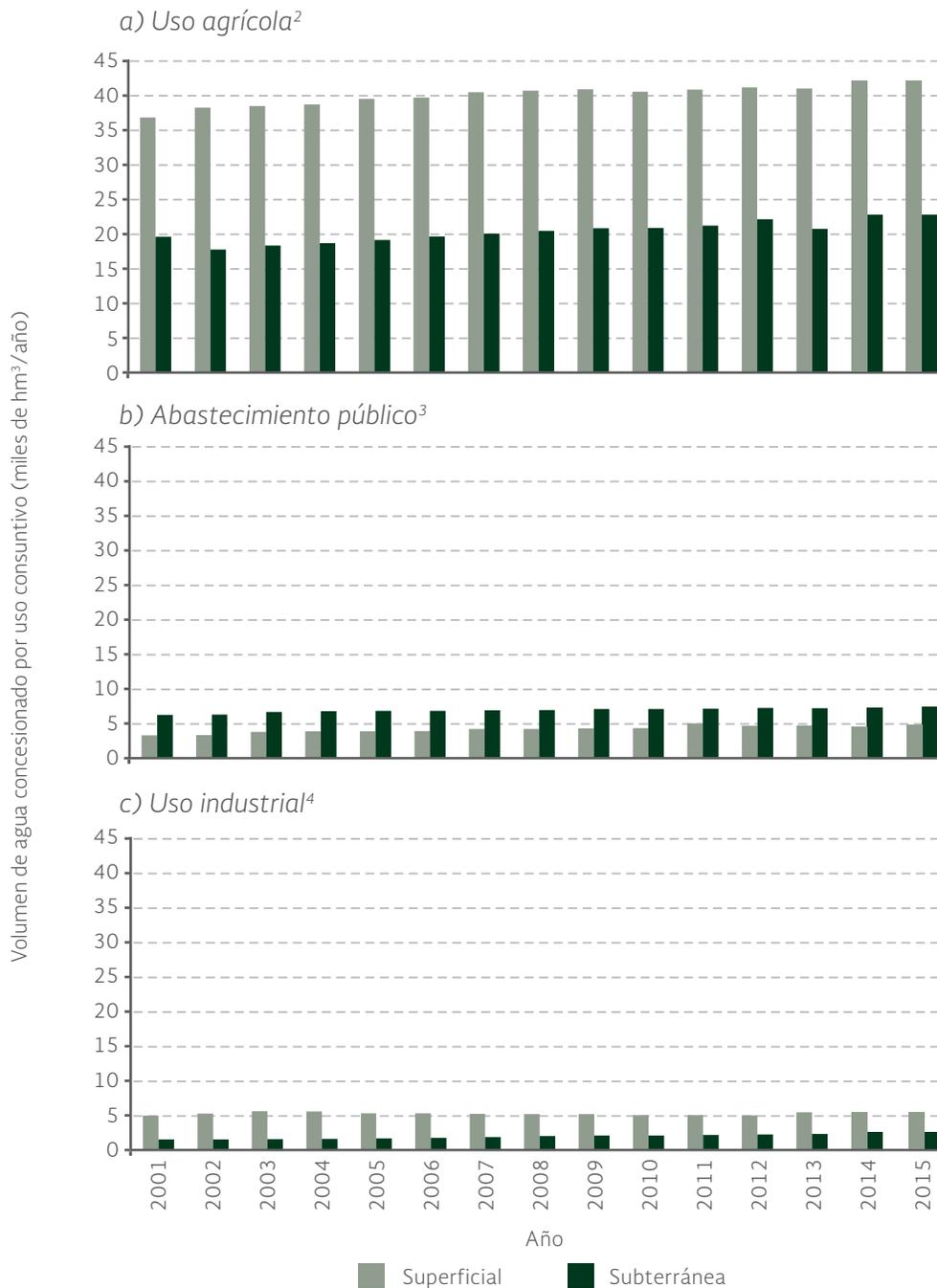
Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México. Síntesis 2005*. Conagua, Semarnat. México. 2005.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006 - 2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua, Semarnat. México, 2006-2008, 2010, 2011, 2014 y 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

¹⁰ Conagua no publicó datos más recientes a nivel municipal.

Figura 6.11 | Volumen de agua concesionado¹ por uso consuntivo, según origen, 2001 - 2015



Notas:

¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

² El uso agrícola incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.

³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.

⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

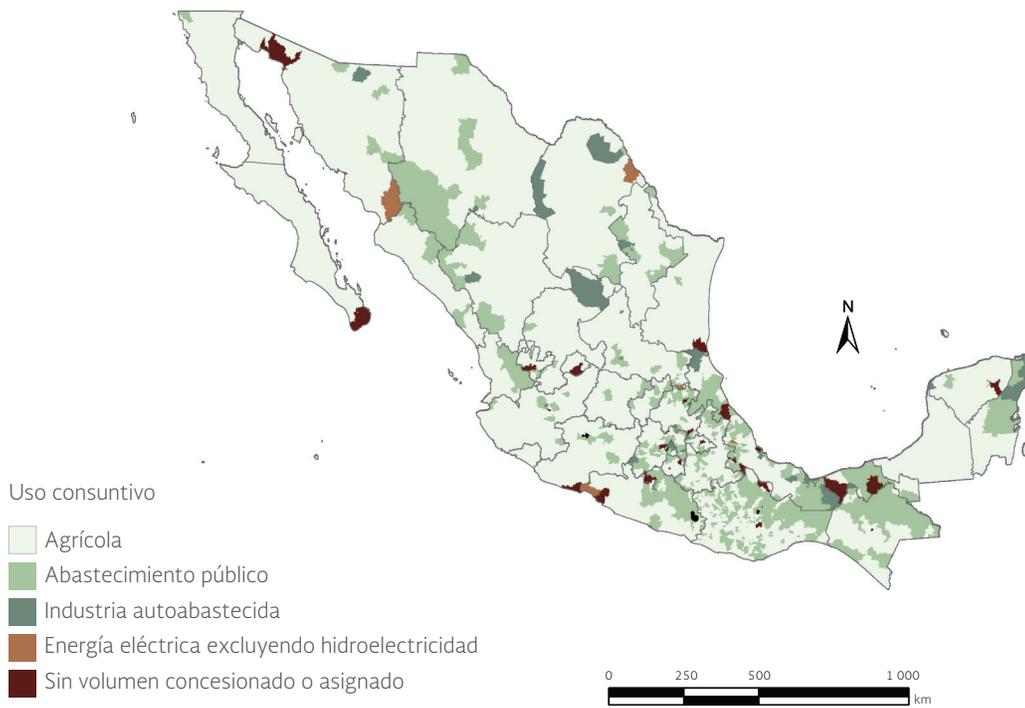
CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA, Semarnat. México. 2002, 2003, 2004.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México. Síntesis 2005*. Conagua, Semarnat. México. 2005.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006 - 2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua, Semarnat. México. 2006-2008, 2010, 2011, 2014 y 2015.

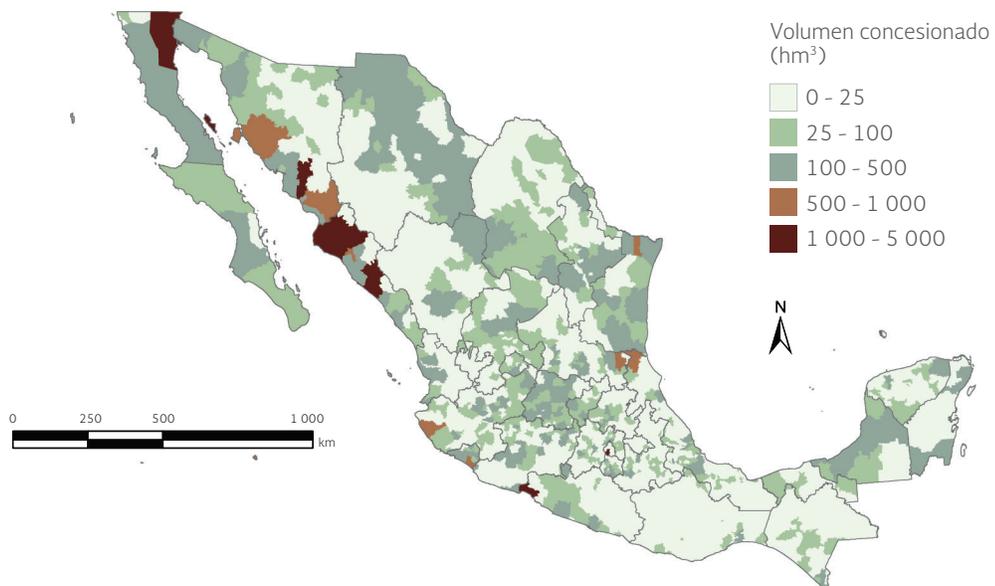
SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Mapa 6.6 | *Uso consuntivo predominante del agua por municipio, 2013*



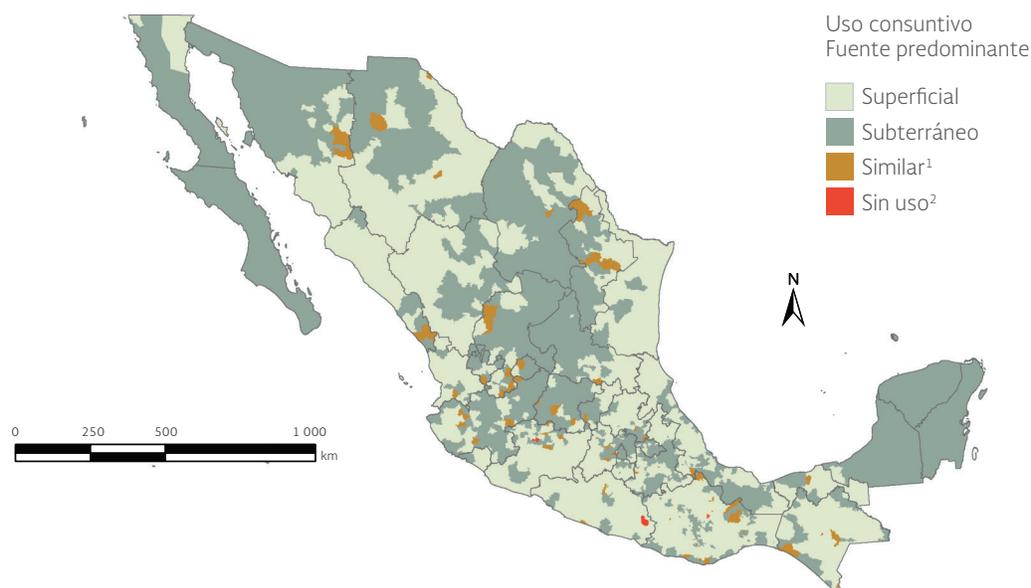
Fuente:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2014.* Conagua, Semarnat. México. 2014.

Mapa 6.7 | *Volumen de agua concesionado anual por municipio, 2015*



Fuente:
 SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua.* Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Mapa 6.8 | Fuente predominante para usos consuntivos por municipio, 2015



Notas:

¹ Cuando existe una diferencia menor al 50% entre fuentes superficiales y subterráneas, entonces no existe fuente predominante y se designan como fuentes similares.

² Sin uso consuntivo inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

En 2013, de acuerdo al origen del agua concesionada, en 1 408 municipios (57.3% del total) la principal fuente provino de las aguas superficiales, mientras que en 978 (casi 40% de los municipios) fue la subterránea; en el resto de los municipios (71; casi el 3%) no hubo una fuente predominante (Mapa 6.8).

El agua en la agricultura

En México, la agricultura es el sector que más agua consume en el país (Conagua, 2014b; Shah, 2005 en WWAP, 2015). Hasta 2014 fue la mayor beneficiada en la concesión de volúmenes de agua de uso consuntivo (76.7% del volumen, 65 155 hm³), principalmente para riego (en este uso consuntivo se incluyen también a las actividades pecuarias y acuícolas). La demanda de líquido por este sector se incrementó entre 2001 y 2014 en 15.4% (Figura 6.11a). El 64.5 % del agua para uso agrupado agrícola proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que el 35.5% procede de fuentes subterráneas (acuíferos), ver el recuadro **Agua virtual en México**.

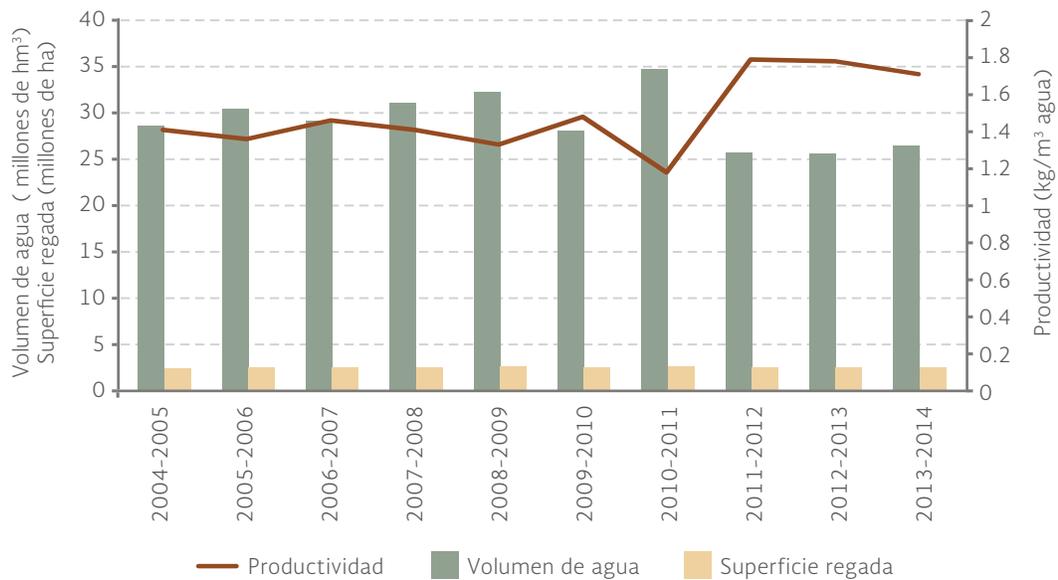
El líquido que se concesiona a la agricultura se destina a distritos de riego, los cuales cubren el 20.7% del área total agrícola (27.9 millones de hectáreas; Conagua, 2015c; Siacon 1980-2013) y produjeron, en 2013, cerca del 80% de la producción nacional¹¹.

¹¹ Con datos del Siacon 1980-2013.

Uno de los aspectos de mayor relevancia para avanzar hacia un uso adecuado del agua es aumentar la eficiencia en el sector agrícola, esto es, reducir el consumo de líquido en relación a la producción obtenida. Aumentar la eficiencia en el uso del líquido podría contribuir a detener el crecimiento de su demanda y a reducir la competencia entre los sectores consumidores y la presión sobre las fuentes de abasto. En México, existe una figura denominada distrito de riego¹², que ocupa alrededor de 3.25 millones de hectáreas, en la cual se han hecho evaluaciones sobre la eficiencia en el uso del agua en términos de la productividad agrícola y su relación con el consumo de agua¹³ (Conagua, 2015a). El seguimiento de este indicador en el periodo 2004-2014 mostró una ligera tendencia a la alza. Los valores mínimo y máximo se registraron en los años agrícolas 2010-11 con 1.18 kg/m³ de agua distribuida y en 2011-12 con 1.79 kg/m³. En promedio se obtuvieron 1.49 kilogramos por metro cúbico de agua empleado en el periodo citado y la superficie regada se mantuvo más o menos constante, fluctuando entre 2.4 y 2.6 millones de hectáreas en los diferentes años agrícolas (Figura 6.12).

La productividad del agua en los distritos de riego es un indicador para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, ésta depende de la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas y su utilización (Conagua, 2015a). La Figura 6.13 muestra

Figura 6.12 | Volumen concesionado para uso agrícola en los distritos de riego en México, 2004 - 2014



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
SINA, Conagua, Semarnat. Usos del agua. Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

¹² De acuerdo con la Conagua, los distritos de riego son áreas geográficas en donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidroagrícola como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

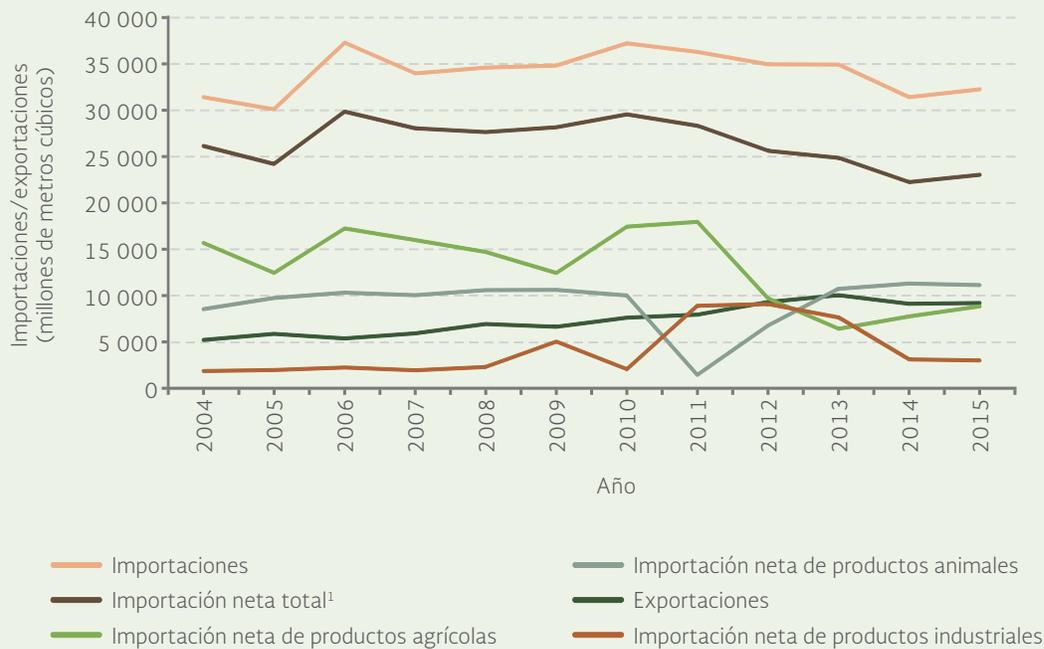
¹³ La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego mide la producción (por año agrícola) en kilogramos, por unidad de volumen de agua distribuido (metro cúbico).

Recuadro | Agua virtual en México

Para producir una gran parte de los bienes y servicios que la sociedad demanda se requieren insumos de agua, ya sea directa o indirectamente. El volumen total de agua involucrada en el proceso de producción, embalaje y distribución de bienes y servicios de consumo se denomina “agua virtual”, esto debido a que una proporción del agua requerida no está presente en el producto final. La cantidad de agua virtual que contiene un producto depende de varios factores, tanto ambientales como específicos de sus métodos de producción; por ejemplo, para producir una tonelada de maíz se requieren, en promedio a nivel mundial, alrededor de 1 222 litros de agua, mientras que en México se necesitan 1 860 litros (Conagua, 2015).

El estudio del agua virtual incorporada en los productos de una región o país resulta de utilidad, entre otros aspectos, como indicador de la presión sobre los recursos hídricos disponibles, tanto a nivel nacional como internacional (esto último debido a la importación de productos).

Figura a | Importaciones y exportaciones de agua virtual en México, 2004 - 2015



Nota:

¹ La importación neta es la diferencia entre importaciones y exportaciones.

Fuentes:

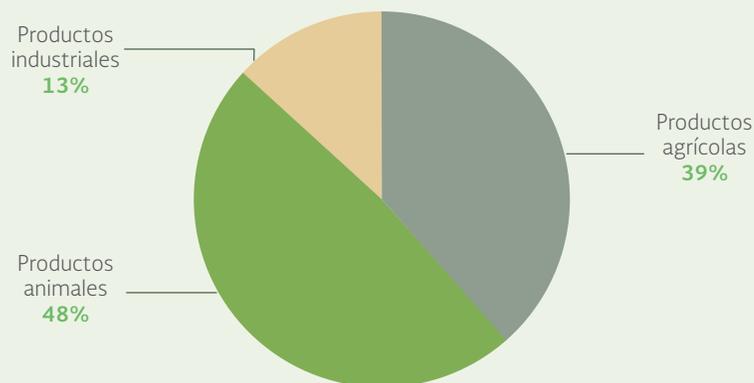
Elaboración propia con datos de:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Agua virtual/Huella hídrica*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Cuando un país demanda productos con volúmenes de agua virtual por encima del volumen de agua que contiene los productos que exporta, constituye un importador neto de agua virtual. En el caso opuesto, los países se constituyen como exportadores netos de agua.

México es un importador neto de agua virtual. En el periodo 2004-2015, la importación de agua se ha mantenido alrededor de los 33 930 millones de metros cúbicos anuales en promedio, mientras que en el caso de las exportaciones, éstas promediaron 7 454 millones (Figura a). En 2015, la importación neta de agua, es decir, la diferencia entre las importaciones y exportaciones de agua, ascendió a 23 033 millones de metros cúbicos de agua.

En 2015, el mayor contenido de agua virtual en las importaciones netas provinieron de los productos animales (4% del total), seguido por la contenida en las importaciones de productos agrícolas (39%) y por los productos industriales (13%; Figura b). Esta tendencia se observa desde 2013, puesto que con anterioridad, la importación neta de agua virtual de los productos agrícolas dominaba a la de los productos de origen animal.

Figura b | Importación de agua virtual en México por tipo de producto, 2015



Fuente: SINA, Conagua, Semarnat. *Agua virtual/Huella hídrica*. Disponible en: <http://201.116.60.25/SINA/Default.aspx>. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

Referencias:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua virtual/Huella hídrica*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

Hoekstra, A.Y. y M.M. Mekonnen. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(9): 3232-3237. 2011.

Figura 6.13 | Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego por año agrícola¹, 1994 - 2014



Notas:

¹ El año agrícola en México comprende el periodo de octubre a septiembre del siguiente año.

² El cálculo emplea el volumen de agua bruto utilizado en los distritos de riego correspondiente al ciclo vegetativo, por lo que no coincide con los volúmenes anuales utilizados.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Gerencia de Distritos de Riego, Conagua, Semarnat. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*. Disponible en: <http://edistritos.com>. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

la evolución de la productividad (en el ámbito de los distritos de riego, considerando solamente cultivos de riego y no de temporal) para el periodo de años agrícolas de 1994-95 a 2013-14. Durante el año agrícola 2013-2014 los distritos de riego con menor eficiencia productiva fueron los ubicados en la región V Pacífico Sur (1.02 kg/m³), seguidos de los localizados en la región II Noroeste (1.04 kg/m³); mientras que los más productivos fueron los ubicados en las regiones XII Península de Yucatán, IX Golfo Norte y XI Frontera Sur (con 9.49, 5.51 y 4.97 kg/m³, respectivamente; Mapa 6.9).

Abastecimiento público

Este uso corresponde al agua entregada por las redes de agua potable y que abastece a los usuarios domésticos, así como al sector público urbano. Es el sector con el segundo mayor consumo de agua en el país: en 2015 utilizó el 14% del volumen total concesionado (Conagua, 2015a y b). Su principal fuente de abasto son los acuíferos (60% del volumen, 7 290 hm³ en 2015), aunque durante el periodo 2001-2014 la demanda de agua superficial asignada a este sector creció 44% (pasó de 3 306 a 4 760 hm³; Figura 6.14).

Si se analiza por regiones hidrológico-administrativas, en 2015, la región XIII Aguas del Valle de México fue la región que mayor porcentaje destinó al abastecimiento público (casi 45% del

Mapa 6.9 | Productividad en los distritos de riego en México, 2014¹

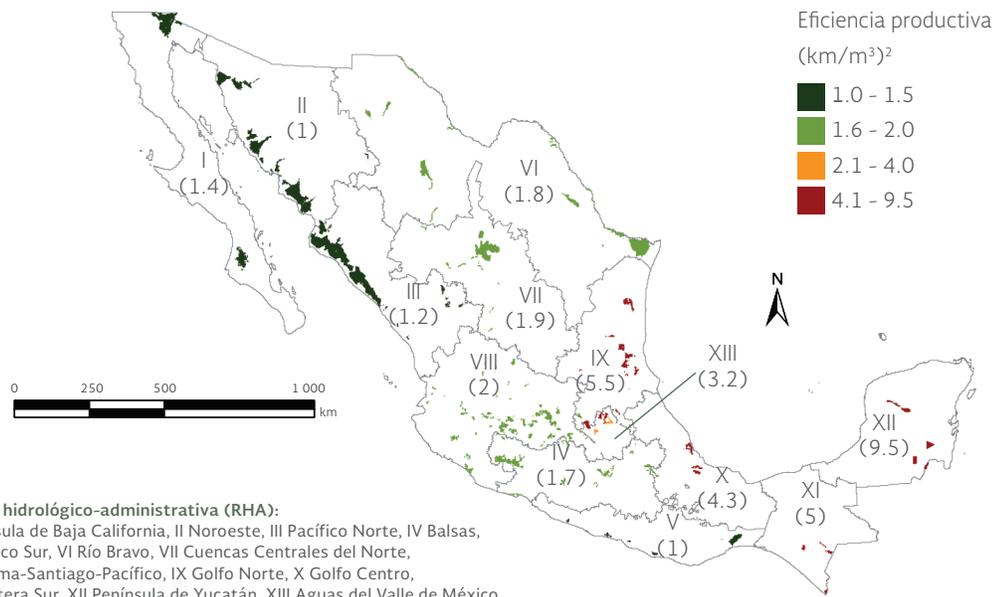


Figura 6.14 | Volumen concesionado de uso agrupado abastecimiento público por tipo de fuente, 2001 - 2015



Fuentes:
 CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2002, 2003, 2004.* CNA, Semarnat. México, 2002, 2003, 2004.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México. Síntesis 2005.* Conagua, Semarnat. México, 2005.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015.* Conagua, Semarnat. México, 2006-2008, 2010-2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Usos del agua.* Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

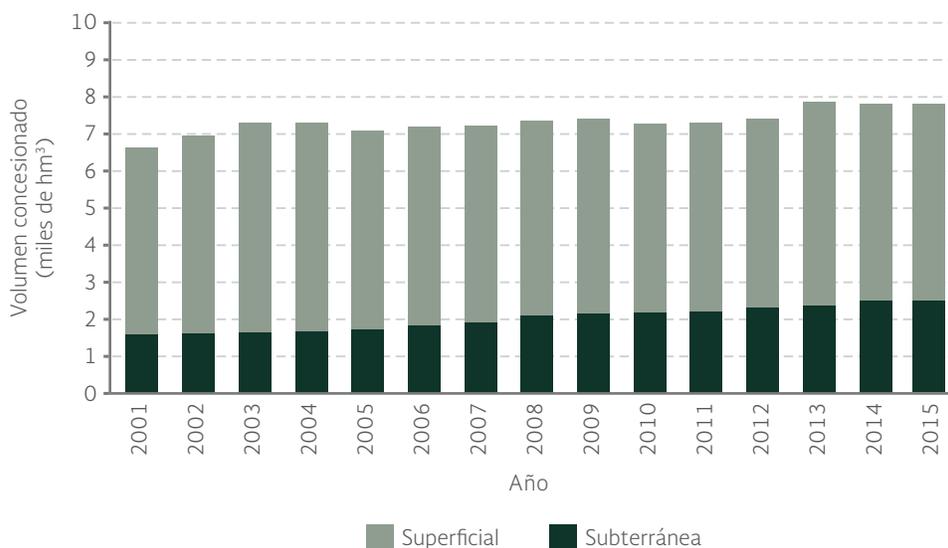
volumen total concesionado); mientras que III Pacífico Norte fue la que menos agua destinó al uso de la población (alrededor del 6%). El resto de las regiones fluctuaron entre alrededor del 9 y 27% (Conagua, 2015a y b).

Uso industrial del agua

El sector de la industria autoabastecida y energía eléctrica¹⁴ utilizan la menor proporción del volumen de agua concesionado en el país, con alrededor del 4 y 5% del total en 2015, respectivamente (Conagua, 2015a y b). A pesar de que en el periodo 2001-2015, el volumen de aguas subterráneas cobró importancia, con un incremento de alrededor del 55% del volumen concesionado para el sector industrial (que en 2015 empleó poco más del 32%, alrededor de 2 460 hm³), éste sector utiliza predominantemente fuentes superficiales con una proporción que en el periodo fluctuó alrededor del 68 y 77% (entre 5 074 y 5 659 hm³) respecto al volumen total concesionado al uso industrial (Figura 6.15).

Respecto a la variación entre regiones hidrológicas, la del IV Balsas es la única que destina a la industria casi una tercera parte del volumen concesionado (32%), de cerca le sigue la región X Golfo Centro (con 22%). Por el contrario la región III Pacífico Norte es la que menor proporción destina a este uso (apenas 0.6%), seguida por la región V Pacífico Sur (con el 1.5%; Conagua, 2015a).

Figura 6.15 | Volumen concesionado¹ a la industria autoabastecida por tipo de fuente, 2001 - 2015



Nota:

¹ Incluye los volúmenes concesionados a energía eléctrica, excluyendo hidroelectricidad.

Fuentes:

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2002, 2003, 2004.* CNA, Semarnat. México. 2002, 2003, 2004.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del agua en México. Síntesis 2005.* Conagua, Semarnat. México. 2005.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015.* Conagua, Semarnat. México, 2006-2008, 2010-2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. Usos del agua. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

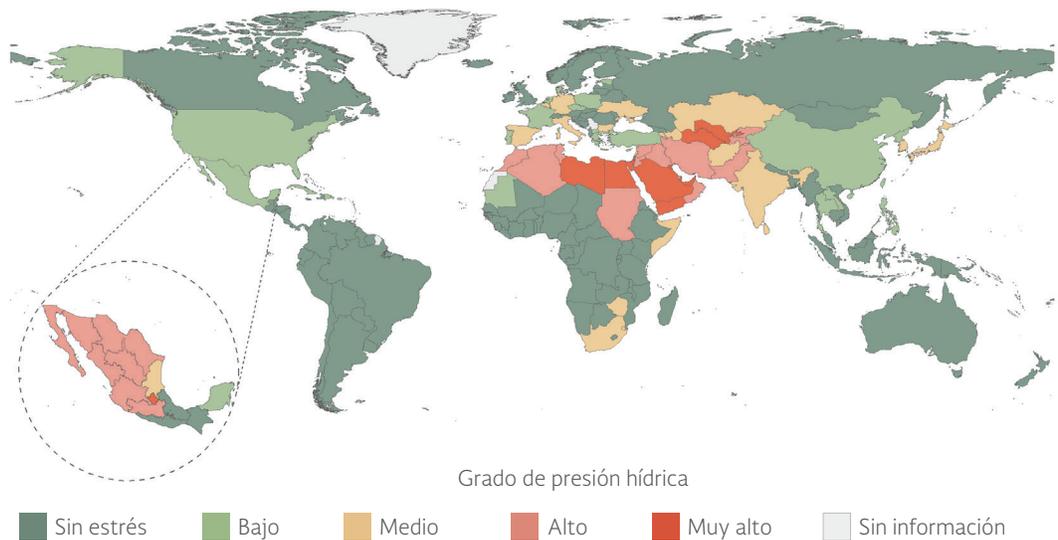
¹⁴ No se incluye hidroelectricidad. Las hidroeléctricas emplearon un volumen de 112.8 kilómetros cúbicos de agua (esto es 38% más de lo que se emplea en todos los usos consuntivos del agua) para generar 27.4 TWh de electricidad (10.6% de la generación nacional de electricidad) en ese mismo año.

GRADO DE PRESIÓN E INTENSIDAD DE USO

El grado de presión del recurso hídrico (GPRH) es un indicador de la sostenibilidad de la extracción de los recursos hídricos a largo plazo y se emplea como una medida de la vulnerabilidad frente a la escasez del líquido. Se calcula dividiendo extracción del recurso destinada a los diversos usos consuntivos, entre el agua renovable, y se expresa en porcentaje. Para México, la Conagua clasifica el grado de presión en 5 categorías¹⁵: sin estrés, bajo, medio, alto y muy alto. Para 2015, nuestro país reportó un valor de GPRH de 19.2%, lo que representaba una presión de categoría baja de acuerdo a la propia clasificación de la Conagua, pero superior al promedio estimado para los países de la OCDE (11.5%; Conagua, 2012). A nivel mundial, México ocupa el lugar 53 de los países con mayores grados de presión (Mapa 6.10; Conagua, 2015).

Es importante mencionar que el relativamente bajo GPRH nacional está influido por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, de donde se extrae menos del 8% del agua disponible. Sin embargo, en amplias zonas del país la situación es distinta (Conagua, 2015e). En 2015 en las regiones I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte y VIII Lerma-Santiago-Pacífico, se presentaron grados de presión altos (de 40 a 100%). El caso más extremo es la región XIII Aguas del Valle de México, que tuvo una presión sobre los recursos hídricos de 138.7% en el mismo año, es decir, rebasó en poco más del 38% la disponibilidad de agua existente en esa región, por lo cual se cataloga con grado de presión muy alto (Mapa 6.11).

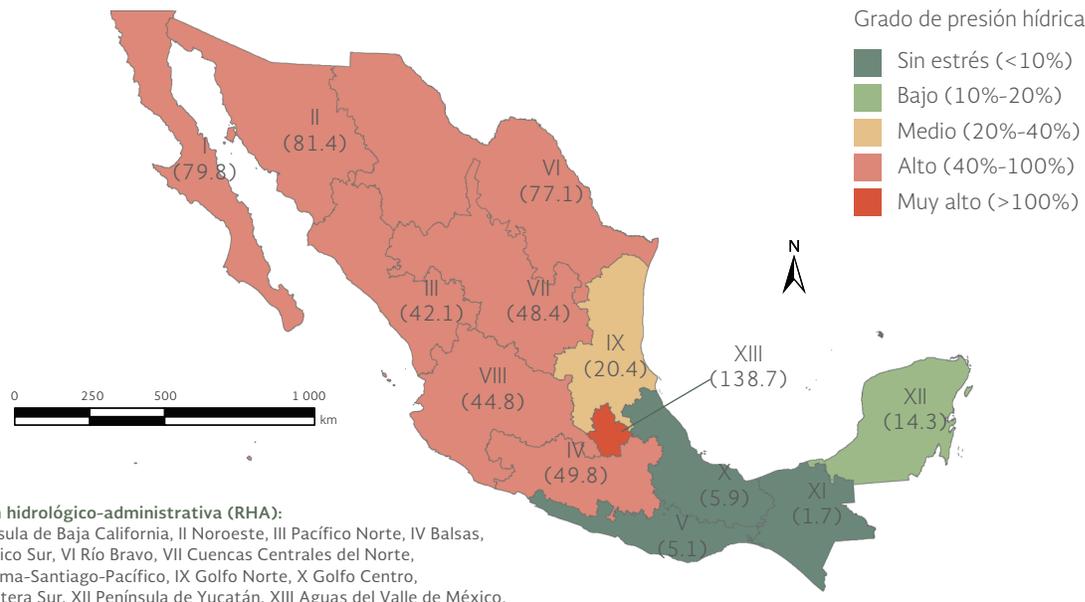
Mapa 6.10 | Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo, 2015



Fuente:
Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

¹⁵ Los rangos utilizados por la Conagua en las categorías de grado de presión del recurso hídrico son: sin estrés (menor al 10%), bajo (entre 10 y 20%), medio (entre 20 y 40%), alto (entre 40 y 100%) y muy alto (mayor a 100%).

Mapa 6.11 | Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2015¹



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, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:
¹ Los números entre paréntesis corresponden al grado de presión hídrica en porcentaje.

Fuente:
 SINA, Conagua, Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=aguaRenovable. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas

La sostenibilidad del uso de los recursos hídricos superficiales puede medirse a través de la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua superficial respecto del escurrimiento natural medio total. Entre 2001 y 2015, en México, la intensidad de uso del agua superficial aumentó poco más del 21%, pasando de 11% a casi el 15%. En 2015, la región XIII Aguas del Valle de México constituyó un caso excepcional, ya que el uso consuntivo sobrepasó más del doble al escurrimiento natural medio (Mapa 6.12). En las regiones Río Bravo, Noroeste y Península de Baja California, el agua utilizada sobrepasó la mitad del escurrimiento natural medio superficial total (con alrededor del 80, 79 y 61%, respectivamente); mientras que en las regiones Frontera Sur, Península de Yucatán, Pacífico Sur y Golfo Centro, el uso fue de entre 1.3 y 4.3%.

La llamada intensidad de uso subterránea se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. Entre 2001 y 2015, en el país la intensidad de uso del agua subterránea disminuyó ligeramente, pasando de alrededor de 37 a 36%. Sin embargo, en 2015, en las regiones I Península de Baja California, VII Cuencas Centrales del Norte y XIII Aguas del Valle de México, el agua utilizada excedió la recarga total de acuíferos (121, 106 y 101%, respectivamente); en contraste, en la región XI Frontera Sur el uso fue de apenas 3% y en el resto de las regiones la intensidad de uso varió entre 15 y 90% (Mapa 6.13).

Mapa 6.12 | Intensidad de uso del agua superficial por región hidrológico-administrativa, 2015¹



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, XIII Aguas del Valle de México.

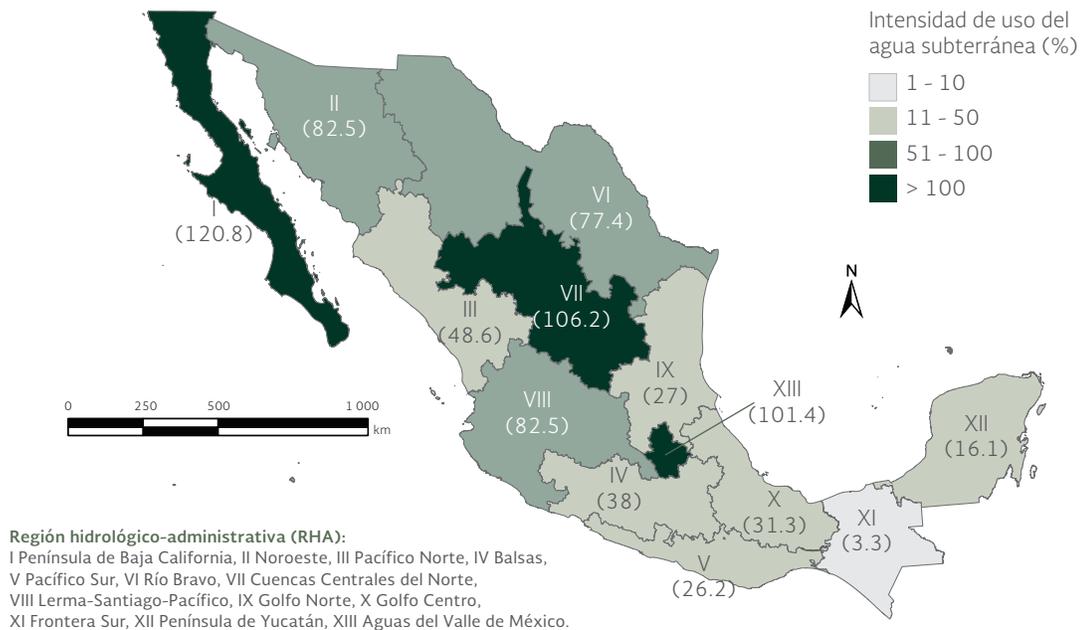
Nota:

¹ Los números entre paréntesis corresponden a la intensidad de uso de agua en porcentaje.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Mapa 6.13 | Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2015¹



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, XIII Aguas del Valle de México.

Nota:

¹ Los números entre paréntesis corresponden a la intensidad de uso de agua en porcentaje.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua renovable*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Acuíferos sobreexplotados y en otras condiciones

La creciente demanda de agua por los distintos usos consuntivos es uno de los principales factores que amenaza la sustentabilidad de la explotación de los acuíferos. En México, el número de acuíferos sobreexplotados se incrementó considerablemente en las últimas cuatro décadas: en 1975 había 32 de ellos, para 1981 la cifra se había elevado a 36 y en 2015 ya sumaban 105 (es decir, 16% de los 653 acuíferos registrados en el país). Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas Lerma-Santiago-Pacífico, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo, Península de Baja California y Noroeste; de ellos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos consuntivos (Tabla 6.3).

Algunos de los acuíferos sobreexplotados presentan, además, condiciones de salinización por intrusión marina o aguas subterráneas salobres. En extensas zonas de riego, sobre todo en las áreas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado un descenso de varios metros en los niveles de agua subterránea, y con ello se ha favorecido la intrusión del agua marina, con el consecuente deterioro de la calidad de sus aguas. En 2015, 18 acuíferos presentaron problemas de intrusión salina, en las regiones I Península de Baja California y II Noroeste. Las regiones I Península de Baja California, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte y XII Península de Yucatán tienen, en conjunto, 32 acuíferos con problemas de salinización y aguas subterráneas salobres (Tabla 6.3; Mapa 6.14).

Tabla 6.3 | Condición de los acuíferos¹ por región hidrológico-administrativa, 2015

Región hidrológico-administrativa	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	Sin problemas	Total de acuíferos
I Península de Baja California	14	11	5	58	88
II Noroeste	10	5	0	47	62
III Pacífico Norte	2	0	0	22	24
IV Balsas	1	0	0	44	45
V Pacífico Sur	0	0	0	36	36
VI Río Bravo	18	0	8	76	102
VII Cuencas Centrales del Norte	23	0	18	24	65
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	32	0	0	96	128
IX Golfo Norte	1	0	0	39	40
X Golfo Centro	0	0	0	22	22
XI Frontera Sur	0	0	0	23	23
XII Península de Yucatán	0	2	1	1	4
XIII Aguas del Valle de México	4	0	0	10	14
Total nacional	105	18	32	498	653

Nota:

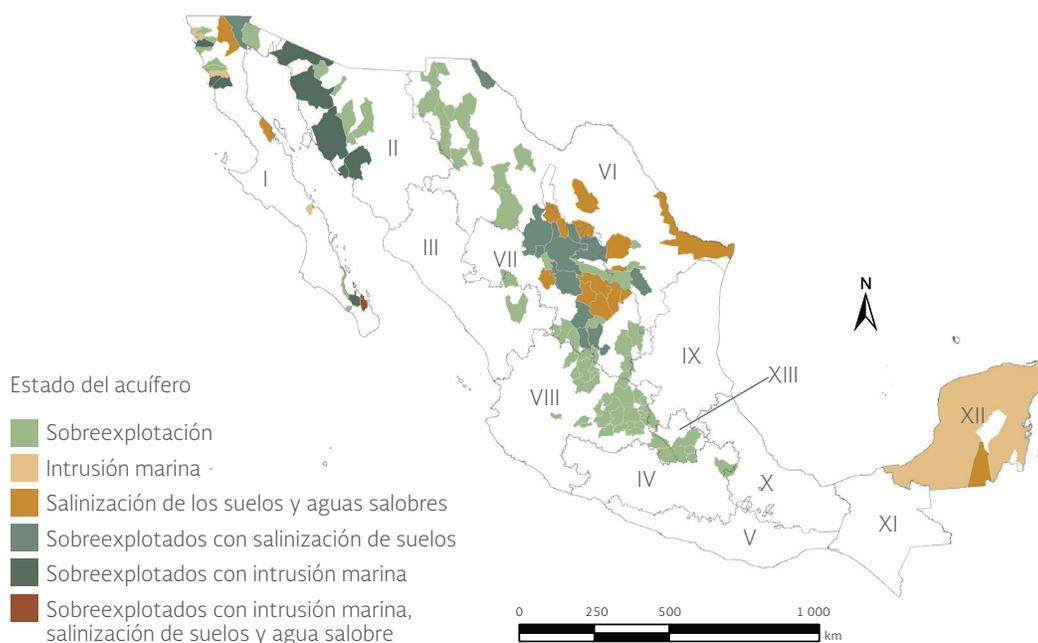
¹ De acuerdo con la Conagua, para fines de la administración del agua subterránea, el país está dividido en 653 acuíferos.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2015. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Acuíferos*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default.aspx>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

Mapa 6.14 | Condición de los acuíferos en México, 2015



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, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Acuíferos*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

CALIDAD DEL AGUA

En el agua de los ríos, arroyos y lagos se disuelven una gran cantidad de elementos y compuestos químicos; también se mantienen en suspensión diversas sustancias sólidas insolubles y líquidos no miscibles, y albergan una multitud de especies de microorganismos. En condiciones naturales existen procesos físicos, químicos y biológicos que permiten mantener relativamente en equilibrio las concentraciones de dichas sustancias, partículas y microbiota (Gómez et al., 2013). Sin embargo, las actividades humanas pueden modificar la composición química de muchos cuerpos de agua, debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento que provienen de diversas fuentes, las cuales alteran su equilibrio dinámico. Por ejemplo, cuando aumenta el contenido de nutrientes en el agua, especialmente fosfatos, nitratos y amonio, el crecimiento de las macroalgas y del fitoplancton tiende a incrementarse. Si la condición se agrava, el oxígeno disuelto en el agua se reduce significativamente y afecta a otros organismos. La extinción local de distintas especies, además de tener repercusiones en la biodiversidad, también puede provocar la degradación o desaparición de los servicios ambientales de los cuerpos de agua. En algunos casos, además de nutrimentos, las aguas pueden contaminarse con compuestos químicos tóxicos que empeoran su condición, afectan la vida silvestre e impiden su uso para consumo humano (Barba, 2002; Gómez et al., 2013).

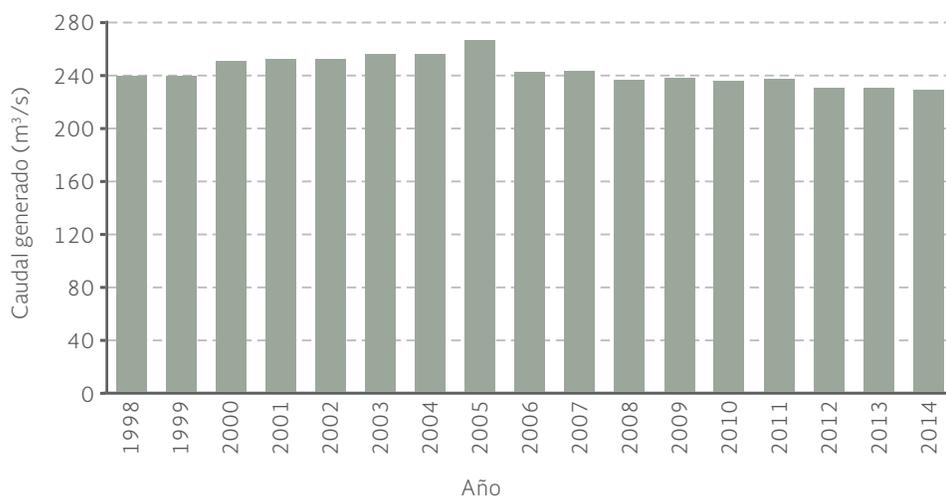
La calidad del agua es una medida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Peters *et al.*, 2009) que resulta fundamental conocer para poder aprovechar adecuadamente y de forma segura el líquido. Para medirla se definen estándares específicos en función de los usos que pretende dársele (p. ej. agua potable, para el uso agrícola o industrial; UNDP *et al.*, 2000). Algunos utilizan parámetros que pueden medirse fácilmente, como la temperatura, conductividad, turbidez, pH y oxígeno disuelto. Otras medidas se enfocan en los nutrientes, sólidos disueltos totales, metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos.

DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias contienen elementos y sustancias químicas disueltas, así como sólidos suspendidos, en concentración variable, que si son vertidas sin tratamiento causan la contaminación de 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 (Conagua, 2015).

Las aguas residuales de origen municipal provienen de descargas de aguas de las viviendas, edificios públicos y de las escurrientías; estas aguas residuales son colectadas por el drenaje. Sus principales contaminantes son el nitrógeno, fósforo, compuestos orgánicos, bacterias coliformes fecales y materia orgánica, entre muchos otros (Jiménez *et al.*, 2010). A nivel nacional, entre los años 2000 y

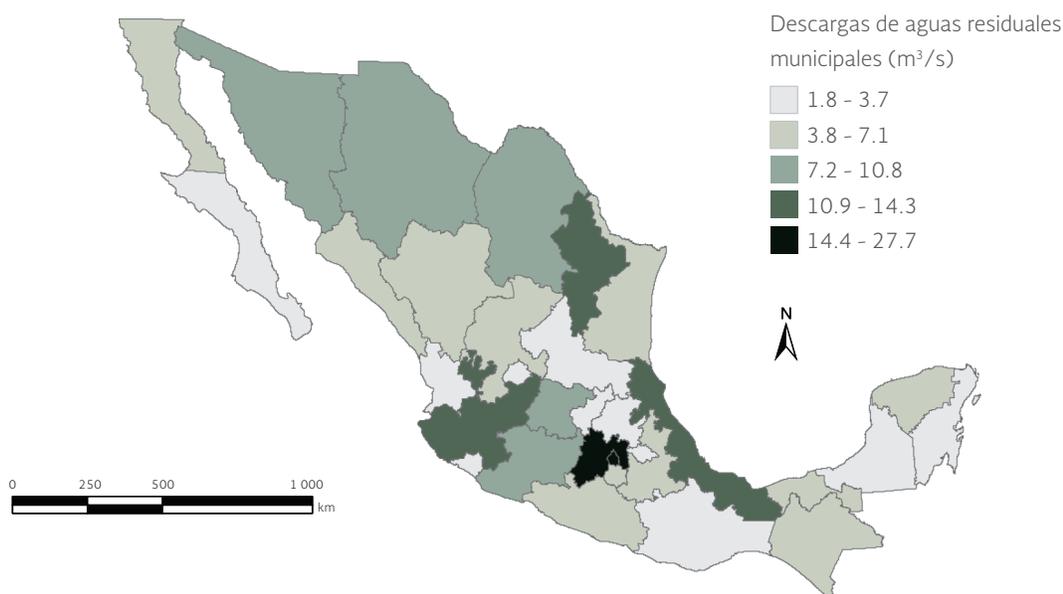
Figura 6.16 | Descargas de aguas residuales municipales a nivel nacional, 1998 - 2014



Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2010.* Conagua, Semarnat. México, 2010.
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* Ediciones 1998-2013. Conagua, Semarnat. México. 1998-2013.
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.
 Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Conagua, Semarnat. México. Agosto de 2013.
 Semarnap, INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999.* Semarnap, INEGI. México. 2000.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Descarga de aguas residuales.* Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: octubre de 2015.

Mapa 6.15 | Descarga de aguas residuales de origen municipal por entidad federativa, 2014¹



Nota:

¹ La estimación del caudal generado por entidad federativa fue con base a la cantidad de caudal tratado de aguas residuales municipales y cobertura del servicio de alcantarillado por entidad.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

2005 el volumen de aguas residuales municipales descargadas aumentó cerca del 6% (pasando de 250 a 265.6 m³/s); tendencia que se revirtió a partir de 2006 (Subdirección General de Planeación; Conagua, 2015a y d; Figura 6.16; **IB 2.2-1**). Para 2014, el volumen de aguas residuales provenientes de las descargas municipales fue de aproximadamente 7.2 miles de hectómetros cúbicos al año, equivalente a 228.7 metros cúbicos por segundo, de las cuales se colectaron en los sistemas de alcantarillado 6.65 miles de hectómetros cúbicos al año (211 m³/s) y se trataron 3.51 miles de hectómetros cúbicos en el mismo periodo (111.3 m³/s; Conagua, 2015a, b y d).

En 2014, las entidades que generaron los mayores caudales de aguas residuales municipales fueron el estado de México (27.7 m³/s), Distrito Federal (22.5 m³/s), Jalisco (14.3 m³/s), Veracruz (13.4 m³/s) y Nuevo León (12.9 m³/s; Conagua, 2014a; Conagua, 2015a y d), que en conjunto aportaron alrededor del 39% del volumen nacional generado para ese año (Mapa 6.15).

Las entidades que contribuyen con el mayor porcentaje al PIB nacional también fueron las que generaron mayores descargas de aguas residuales, como en los casos del Distrito Federal y estado de México; aquellas con el menor porcentaje de aportación al PIB nacional (Baja California Sur, Chiapas, Colima, Guerrero, Nayarit y Oaxaca; INEGI, 2015c) generaron la menor cantidad de aguas residuales de origen municipal (Figura 6.17).

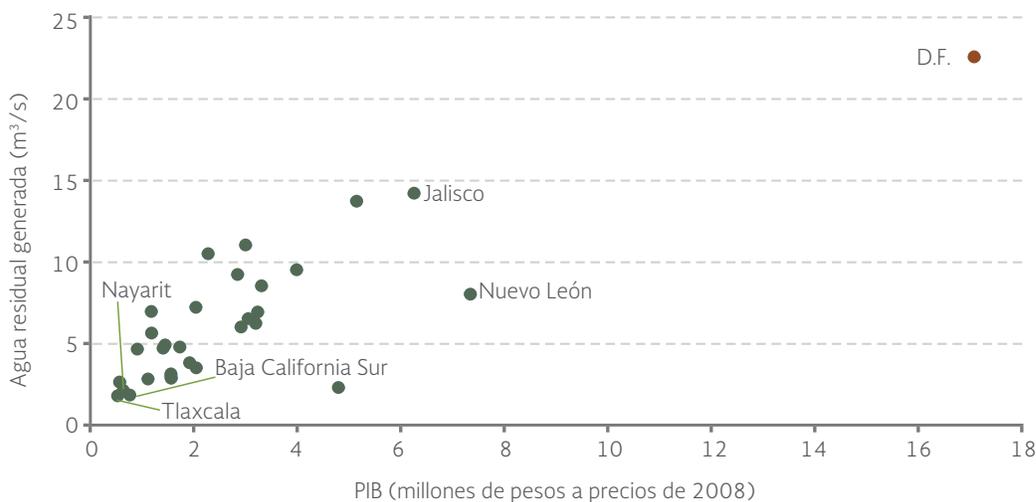
Al analizar la generación de aguas residuales a nivel per cápita, entre 2014 y 2015¹⁶ cada mexicano generó alrededor de 60 metros cúbicos al año. Las entidades que en 2013¹⁷ presentaron valores per cápita superiores a los 100 m³/hab/año fueron Colima, Sonora, Morelos y Durango, mientras que los habitantes de Chiapas y Oaxaca fueron los que generaron el menor caudal (< 30 m³/hab/año).

Respecto a las aguas residuales industriales¹⁸, entre 2000 y 2014 su descarga hacia los cuerpos de agua se incrementó 19.6%, pasando de 169.9 a 211.4 metros cúbicos por segundo. En este último año, las descargas fueron de alrededor de 6.67 miles de hectómetros cúbicos al año (211.4 m³/s), de los cuales se trataron 2.07 miles de hectómetros cúbicos al año (65.6 m³/s)

 (Figura 6.18, **IB 2.2-2**).

Por otro lado, el número de plantas de tratamiento también se ha incrementado y estabilizado en número, año con año. En 1992 sólo había 394 plantas municipales en operación, para 2009 eran ya 2 020 plantas municipales y 2 186 plantas industriales; en 2010 existían 2 186 municipales y 2 850 industriales, en 2012 había 2 342 plantas municipales y 2 520 industriales; mientras que en 2014 estaban operando 2 337 plantas municipales y 2 639 plantas industriales (Conagua, 1998-2015d).

Figura 6.17 | PIB estatal y generación de aguas residuales de origen municipal, 2014



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

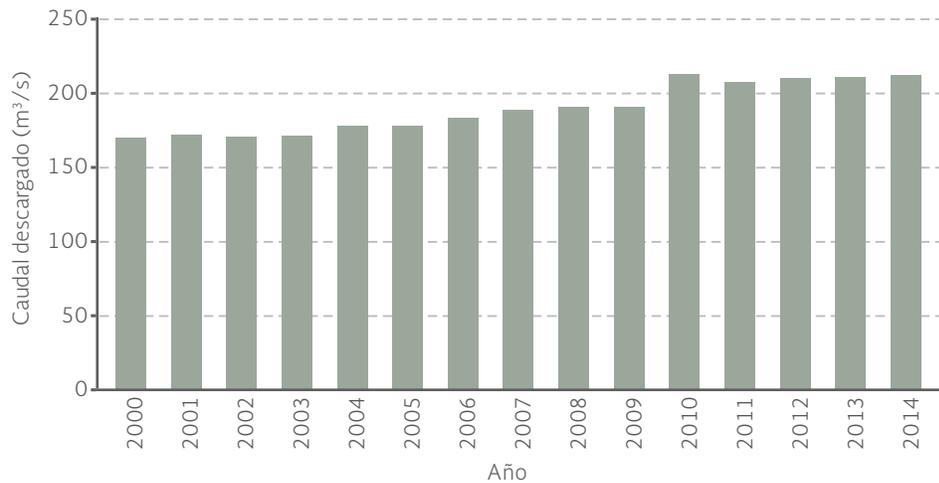
INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibt/. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

¹⁶ Se tomó como referencia la estimación de la población residente en viviendas particulares habitadas (119 530 753 millones) hasta el 15 de marzo de 2015, de la Encuesta Intercensal 2015 de INEGI.

¹⁷ Conagua no presenta información desagregada para 2014.

¹⁸ Incluye aguas provenientes de descargas de usos industrial, comercial, pecuario y agrícola.

Figura 6.18 Descargas de aguas residuales no municipales, incluyendo la industria, 2000 - 2014



Fuentes:

Elaboración propia con base en:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2010*. Conagua, Semarnat. México, 2010.

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México, 2015.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ediciones 1998-2015*. Conagua, Semarnat. México, 1998-2015.

Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Conagua, Semarnat. México. Agosto de 2013.

Semarnap, INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. Semarnat, INEGI. México, 2000.

SINA, Conagua, Semarnat. *Descarga de aguas residuales*. Disponible en: <http://201.116.60.25/SINA/Default.aspx>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

RED DE MONITOREO E INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL: DBO₅, DQO y SST

La Conagua mide la calidad de los recursos hídricos a través de la Red Nacional de Monitoreo (RNM). En 2014, la Red contaba con 5 000 sitios distribuidos en el país, de los cuales 2 514 correspondían a la red superficial y los 2 486 restantes a los cuerpos de agua subterránea, cuerpos costeros y de descarga, principalmente. Los sitios con monitoreo de calidad del agua se ubican en los principales cuerpos de agua del país, en su mayor parte en zonas con alta influencia antropogénica (Tabla 6.4; Cuadro D3_R_AGUA05_03).

Los indicadores que la Conagua utiliza para reportar la calidad del agua son la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST; Conagua, 2015e y d).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación del agua por materia orgánica biodegradable¹⁹, tanto en aguas residuales domésticas como industriales. La descarga de aguas con gran cantidad de materia orgánica a los cuerpos de agua naturales ocasiona que

¹⁹ En esta prueba se mide la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias aerobias cuando consumen la materia orgánica biodegradable presente en el agua que se analiza. Se inocula con bacterias aerobias la muestra de agua a analizar y después de cinco días se mide la concentración de oxígeno residual. La cantidad de oxígeno consumido se determina midiendo el oxígeno disuelto al inicio y al término de la prueba.

las bacterias y otros microorganismos ahí presentes dispongan de una fuente de nutrimentos que acelera su reproducción. La abundancia de microorganismos consume el oxígeno disuelto en el agua, lo que puede ocasionar que bajen sus niveles hasta umbrales en los que peces y otros organismos acuáticos mueren por asfixia, una condición conocida como hipoxia (Conagua, 2015e).

Entre 2012 y 2014, el porcentaje de sitios con excelente calidad disminuyó 22.8%, en contraste, aumentaron los sitios considerados como contaminados y fuertemente contaminados (que en conjunto lo hicieron en 33%). En 2014, el 31.4% de los sitios de monitoreo reportó valores inferiores a los 3 miligramos por litro (límite máximo permitido para una calidad excelente), un decremento importante si se compara con el valor reportado para el año 2012 donde el 40.7% de los sitios monitoreados fueron clasificados con calidad del agua excelente (Mapa 6.16). En el otro extremo, a nivel nacional, cerca de 7.9% de los sitios registró valores mayores a 30 miligramos por litro de DBO₅ (categorías contaminada y fuertemente contaminada), valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos. Los sitios con altos valores de DBO₅ (mayores a 30 mg/L y que se consideran contaminados y fuertemente contaminados) se concentraron en las zonas más pobladas de las regiones I Península de Baja California, XIII Aguas del Valle de México y IV Balsas (de 34.3, 19.4 y 18.4 de sus sitios, respectivamente; Mapa 6.16; Figura 6.19; **IB 2.2-8** e **IC 12**).



Tabla 6.4 | Sitios de muestreo de la Red Nacional de Monitoreo, 2014¹

<i>Red</i>	<i>Número de sitios</i>
Superficial (cuerpos de agua superficiales)	2 514
Subterránea (cuerpos de agua subterráneos)	1 084
Estudios especiales en cuerpos de agua superficiales	35
Cuerpos costeros (zonas costeras)	1 053
Descargas superficiales	301
Descargas subterráneas	13
Total	5 000

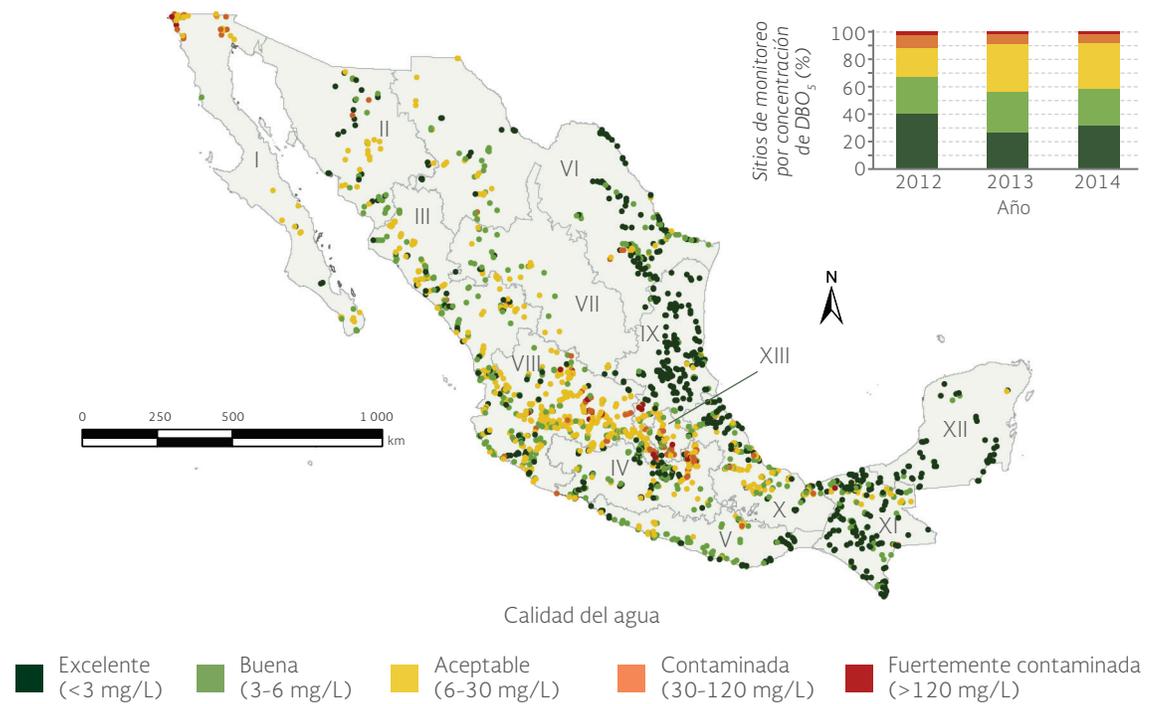
Nota:

¹ De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (Art. 3. Fracc. XXII) "Descarga" es la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

Fuente:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Mapa 6.16 | Distribución de sitios de monitoreo de calidad del agua para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en cuerpos de agua superficiales, 2014

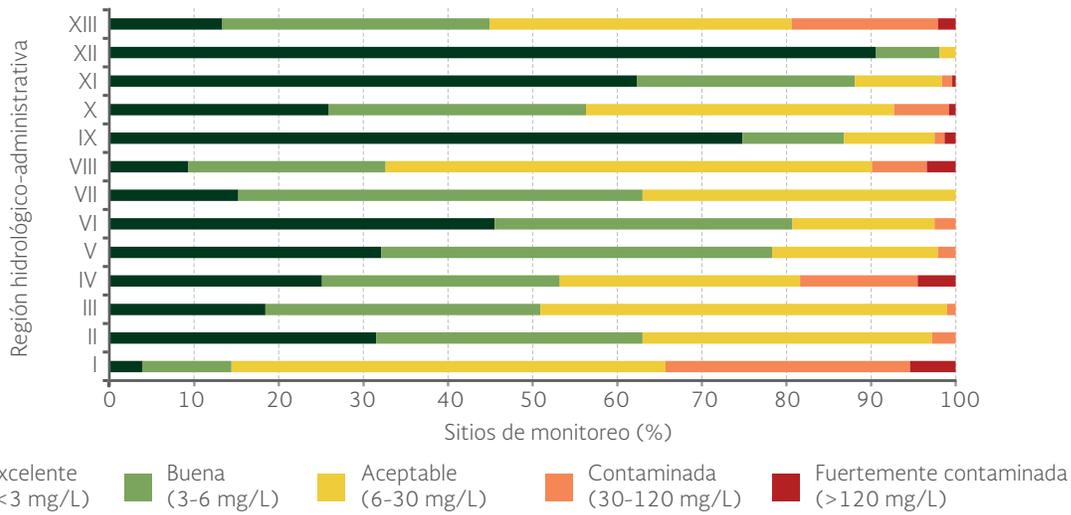


Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un indicador que mide la cantidad de materia orgánica que es susceptible de ser oxidada por medios químicos (SE, 2012). Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales sin tratamiento. El aumento de la concentración de materia orgánica puede significar una reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta considerablemente a los organismos y a los ecosistemas acuáticos. Es aplicable a muestras de aguas naturales crudas no salinas, tanto epicontinentales, como subterráneas y pluviales, aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales y es de aplicación nacional (SE, 2012).

En el periodo de 2012 a 2014, el porcentaje de sitios con excelente calidad disminuyó de 32.1 a 3.7%; mientras que en el otro extremo los contaminados pasaron de 5.5 a 5% (Mapa 6.17; Figura 6.20). En 2014, el 45.2% de los sitios superó el límite máximo permitido (40 mg/L). En las regiones I Península de Baja California, IV Balsas, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México se obtuvieron entre el 50 y el 72.7% de los sitios de monitoreo con concentraciones promedio anuales superiores a los 40 miligramos por litro; y el 6% registró valores promedio superiores a los 200 miligramos por litro (Mapa 6.17).

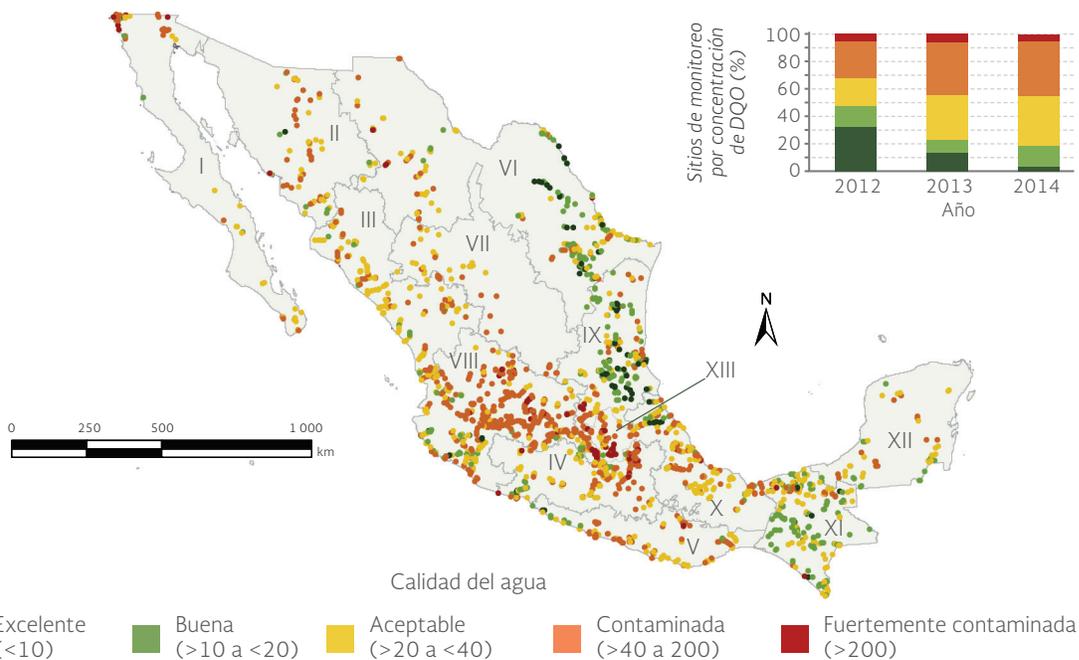
Figura 6.19 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales para demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5) por región hidrológico-administrativa, 2014



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, XIII Aguas del Valle de México.

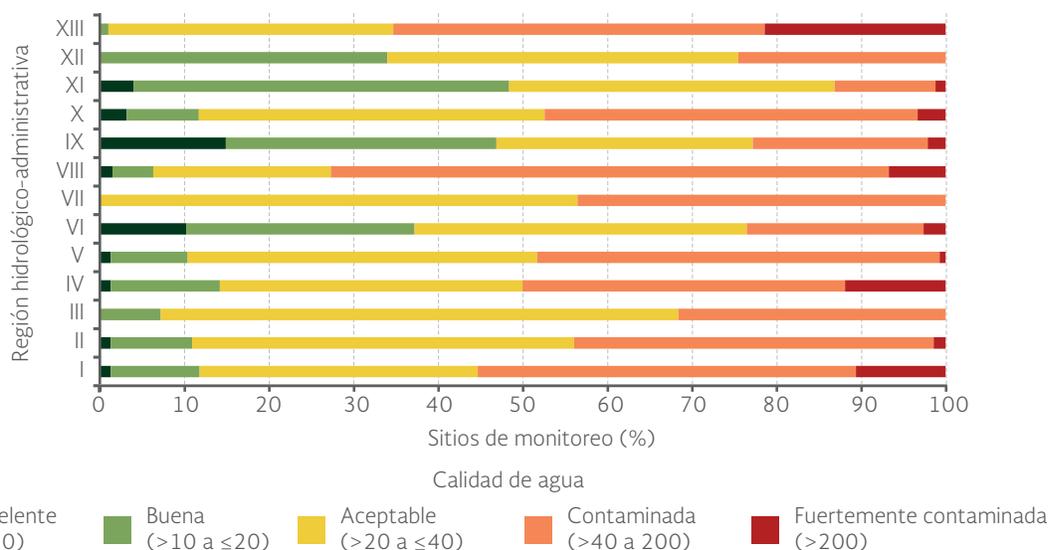
Fuentes:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Calidad del agua.* Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

Mapa 6.17 Distribución de sitios de monitoreo de calidad del agua para la demanda química de oxígeno (DQO) en cuerpos de agua superficiales, 2014



Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.

Figura 6.20 | Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales para demanda química de oxígeno (DQO) por región hidrológico-administrativa, 2014



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, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Calidad del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

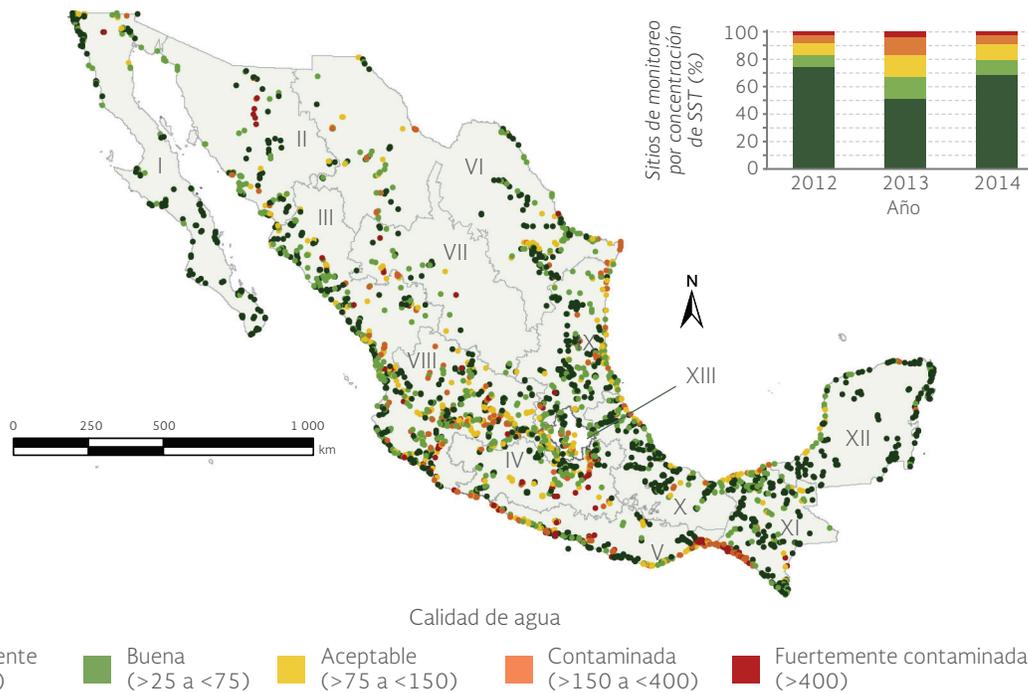
Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos en suspensión son materiales presentes en el agua en forma de coloides o partículas muy finas que causan su turbidez; el aumento en su cantidad disminuye la penetración de la luz solar e impide el desarrollo de la vegetación acuática natural, ocasionando daños a la biodiversidad. A mayor contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez²⁰. La turbidez aumenta con el crecimiento excesivo de algas, con la actividad de algunos organismos y, en el caso de ríos, con los cambios en el flujo. Sin embargo, también el incremento de sólidos suspendidos puede originarse por la descarga de aguas residuales y por las partículas del suelo que provienen de la erosión en las cuencas de captación de los cuerpos de agua (Gómez *et al.*, 2013).

El porcentaje de sitios con excelente calidad, durante el periodo de 2012 y 2014 fluctuó entre 43.3 y 57.7% (Mapa 6.18). En 2014, el 6.8% de los sitios de monitoreo se consideraron contaminados y fuertemente contaminados (sobrepasaron el límite de 150 mg/L). Las regiones hidrológico-

²⁰ A diferencia de los sólidos disueltos, éstos pueden separarse por procesos mecánicos como la sedimentación y la filtración. Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico está compuesto principalmente de algas o microorganismos y el inorgánico de arcillas, silicatos y feldespatos, entre otros.

Mapa 6.18 | Distribución de sitios de monitoreo de calidad del agua para los sólidos suspendidos totales (SST) en cuerpos de agua superficiales, 2014



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, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:
 Elaboración propia con datos de:
 Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.

administrativas con el mayor porcentaje de sitios con contaminación de las aguas superficiales (SST >150 mg/L) fueron V Pacífico Sur (13.1%) y IV Balsas (con 15%). Mientras que las regiones con el mayor porcentaje de sitios en aguas superficiales con excelente calidad fueron XII Península de Yucatán (89.1%), I Península de Baja California (79.1%) y VII Cuencas Centrales del Norte (69.5%; Figura 6.21 y Mapa 6.18).

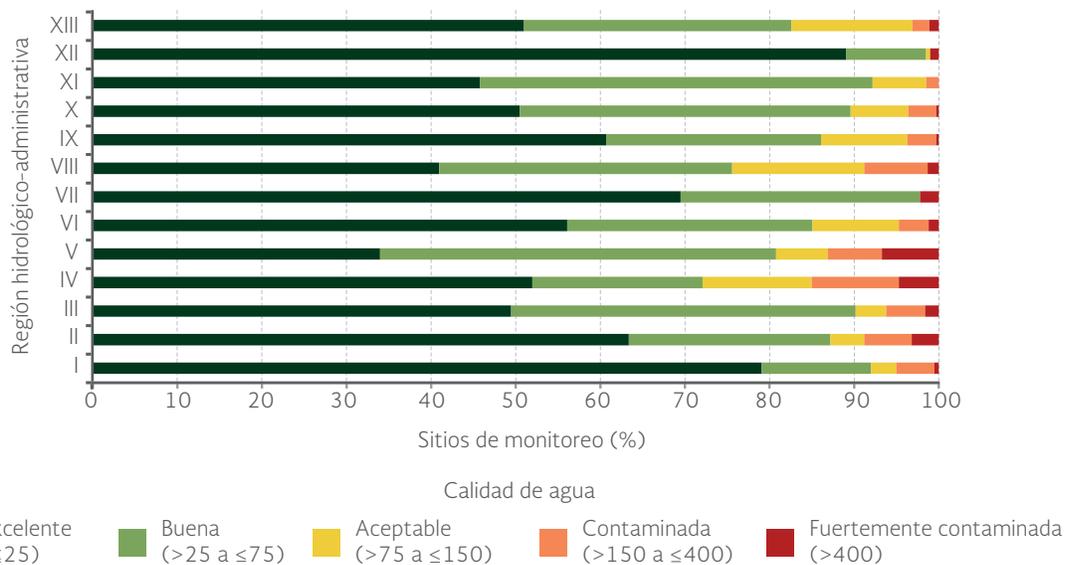
Calidad bacteriológica del agua de mar en playas

Las descargas de aguas residuales que se vierten a ríos y arroyos y que desembocan en las zonas costeras pueden también afectar la calidad del agua marina. A ellas deben sumarse las descargas de aguas residuales de las poblaciones de las zonas costeras que, si se vierten sin tratamiento, también deterioran su calidad. La contaminación del agua marina puede tener efectos en los ecosistemas costeros y en la salud humana. En el caso de los ecosistemas costeros, el exceso de nutrientes en el agua y la presencia de sustancias químicas tóxicas pueden producir desde fenómenos ocasionales como la proliferación masiva de algas (las llamadas mareas rojas), hasta la pérdida de la biodiversidad. Estos efectos no sólo tienen impactos en el ambiente, pueden alcanzar a la economía local y por tanto, dañar el bienestar de las comunidades que dependen de los recursos costeros para su subsistencia. En el caso de sus efectos sobre la salud

humana, los daños más comunes se producen al nadar en aguas contaminadas, provocando enfermedades gastrointestinales, la irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos (Conagua, 2015a; Conagua, 2015e; Laureano-Nieves, 2005; SE, 2012).

Los estándares de calidad del agua son establecidos y regulados por una serie de normas oficiales²¹. Entre los diversos parámetros utilizados para medir si la calidad del agua es adecuada para uso recreativo²² está la cuantificación de los microorganismos patógenos, es decir, los que están asociados a los aportes de aguas residuales, cuya relevancia se debe a los riesgos que representan para la salud por causar enfermedades infecciosas (Larrea-Murrell et al., 2013; James, 1979 en Wong y Barrera, 1996). Entre las pruebas más utilizados está la medición de coliformes fecales (su presencia es evidencia de contaminación fecal; Conagua, 2014a) y los enterococos²³, que se emplean principalmente en el análisis de aguas marinas o salobres (Cofepris, 2015; Laureano-Nieves, 2005; Larrea-Murret et al., 2013).

Figura 6.21 | Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales para sólidos suspendidos totales (SST) por región hidrológico-administrativa, 2014



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, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Calidad del agua*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

²¹ Las Normas Oficiales Mexicanas 001-Semarnat-1996, 002-Semarnat-1996 y 003-Semarnat-1997 se aplican a las aguas en general.

²² El uso recreativo, de acuerdo a la OMS (2002), se clasifica en: a) aguas de contacto directo en las que una persona se mantiene sumergida, e implica un riesgo de ingestión de agua y b) aguas de contacto indirecto, relacionadas con actividades acuáticas en las cuales sólo se tiene contacto accidental con el agua.

²³ El límite máximo permitido, de acuerdo con COFEPRIS, para considerar una playa apta para uso recreativo es de 200 enterococos (NMP/100 ml).

Para vigilar la calidad bacteriológica del agua de mar en los destinos turísticos de playa del país, en 2003 inició el Programa Integral de Playas Limpias y el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas; en él participan las Secretarías de Marina, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Salud y Turismo. El programa monitorea la calidad del agua de mar de acuerdo con los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud para fines recreativos en destinos de los 17 estados costeros. De acuerdo con sus criterios de calificación, las muestras con un contenido superior a los 200 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo.

En 2003 se monitoreaban 226 playas en 35 destinos turísticos de las costas del país, aumentando en 2014 a 267 playas en 63 destinos turísticos, con un total de 364 sitios de muestreo. En general, desde que inició el programa, la mayoría de las entidades han registrado buena calidad del agua en sus playas. En 2003, el 93.7% del total de las playas cumplían con los criterios de calidad del agua; al cierre del primer trimestre de 2015 esta cifra ascendía al 99.5%. No obstante estos resultados, se ha observado que algunas de las playas de destinos turísticos en Tonalá (Chiapas), Acapulco y Zihuatanejo (en Guerrero) y Puerto Vallarta (Jalisco) no han sido aptas, en su calidad del agua, en más de la mitad del periodo que lleva el programa. Al cierre del primer trimestre de 2015 las entidades que registraron playas con menor calidad del agua fueron Campeche (playas de Campeche), Colima (playa Armería y Manzanillo) y Guerrero (playas de Acapulco, de Ixtapa y de Zihuatanejo; Mapa 6.19). Los resultados del programa pueden consultarse en la página www.gob.mx/semarnat/articulos/programa-playas-limpias.

SERVICIOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL AGUA

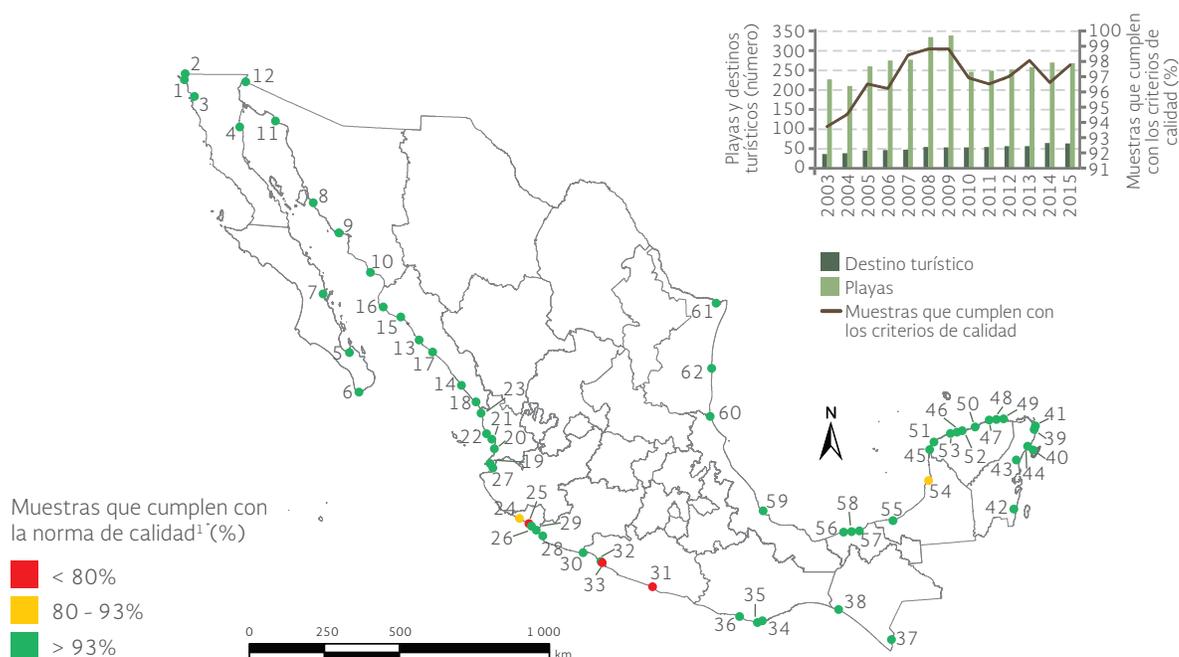
Agua potable

Tener acceso al agua potable es un derecho fundamental, imprescindible para el bienestar de la población. El consumo de agua no potable puede traer consigo la presencia de diversas enfermedades (como el cólera y la tifoidea, entre otras; Conagua 2014 y Conagua 2015a) causantes de morbilidad y muerte en los países en desarrollo. Para mayores detalles respecto a la incidencia de enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua, ver el capítulo **Población y medio ambiente** de este Informe. Para evitar los problemas de salud a la población, se procura que el agua suministrada se someta a procesos de desinfección y/o potabilización que le garanticen las características adecuadas para su uso y consumo.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la meta mundial de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) relativa al agua potable se alcanzó antes de lo previsto. Se tenía proyectado que para 2015, el 88% de la población mundial debería tener acceso a este recurso, sin embargo, aunque esta cifra se alcanzó y superó en 2010 (UNICEF-WHO, 2015), se estima que hay alrededor de 663 millones de personas que carecen del acceso a agua potable en todo el mundo (Figura 6.22 y Mapa 6.20)²⁴, de los cuales el 4% corresponde a población urbana y, en contraste, el 16%

²⁴ La regionalización mostrada en la gráfica 6.22 y el mapa 6.20 corresponde a la utilizada en los Objetivos de Desarrollo del Milenio. El mismo criterio se aplica para la gráfica 6.25 y el mapa 6.24 que aparecen en la sección de alcantarillado de este mismo capítulo.

Mapa 6.19 | Calidad bacteriológica de las playas en los destinos turísticos de México, 2015



Destinos turísticos

1 Rosarito	17 Culiacán	33 Zihuatanejo	49 Ría Lagartos
2 Tijuana	18 Escuinapa	34 Huatulco	50 Sinanché
3 Ensenada	19 Bahía de Banderas	35 Puerto Ángel	51 Sisal
4 San Felipe	20 Compostela	36 Puerto Escondido	52 Telchac
5 La Paz	21 San Blas	37 Tapachula	53 Progreso
6 Los Cabos	22 Santiago Ixcuintla	38 Tonalá	54 Campeche
7 Loreto	23 Tecuala	39 Cancún	55 Ciudad del Carmen
8 Bahía de Kino	24 Manzanillo	40 Cozumel	56 Cárdenas
9 Guaymas	25 Armería	41 Isla mujeres	57 Centla
10 Huatabampo	26 Tecomán	42 Othón P. Blanco	58 Paraíso
11 Puerto Peñasco	27 Puerto Vallarta	43 Tulum	59 Veracruz
12 San Luis Río Colorado	28 Aquila	44 Riviera Maya	60 Ciudad Madero
13 Bahía de Altata Navolato	29 Coahuayana	45 Celestún	61 Matamoros
14 Mazatlán	30 Lázaro Cárdenas	46 Dzemul	62 Soto La Marina
15 Guasave	31 Acapulco	47 Dzidzantun	
16 Los Mochis	32 Ixtapa	48 Dzilam	

Nota:

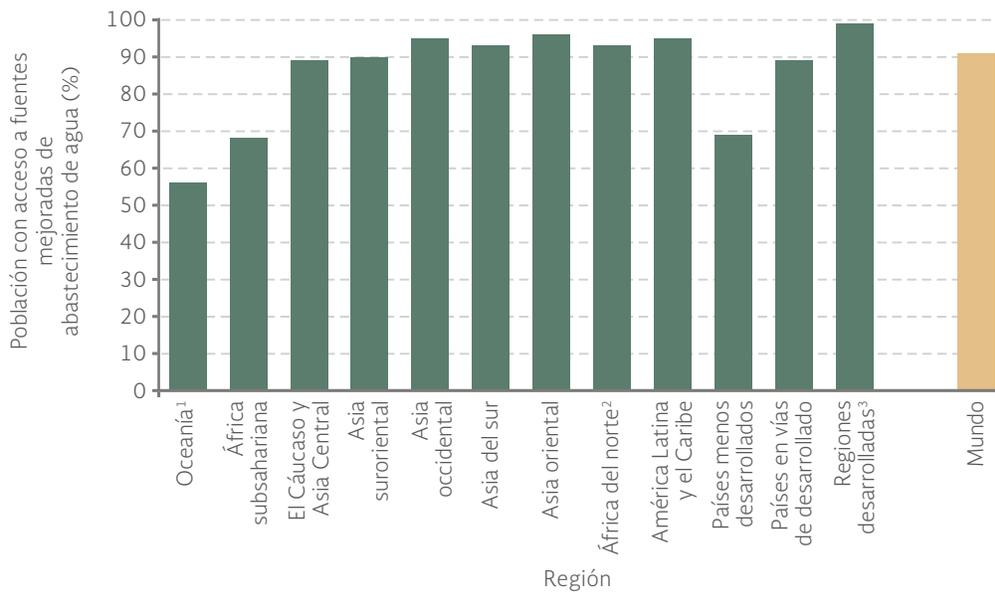
¹ Los datos corresponden al primer semestre de 2015.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Conagua, Semarnat. México. 2015.

es población que habita en zonas rurales. Esto se traduce en que ocho de cada diez personas que carecen de este servicio, viven en áreas rurales. En 2015, sólo tres países (Angola, Guinea Ecuatorial y Papua Nueva Guinea) tenían un porcentaje menor al 50% de su población con acceso a agua potable, en contraste con los 23 países que se encontraban en esta situación en 1990. En términos de la población mundial, esto significa que en 2015, el 91% de la población mundial ya contaba con acceso a una fuente de agua potable mejorada, en contraste con el 76% que había en 1990 (UNICEF-WHO, 2015).

Figura 6.22 | Cobertura mundial de agua potable, 2014



Notas:

¹ Incluye solamente las islas que forman parte de los archipiélagos de Melanesia, Polinesia y Micronesia.

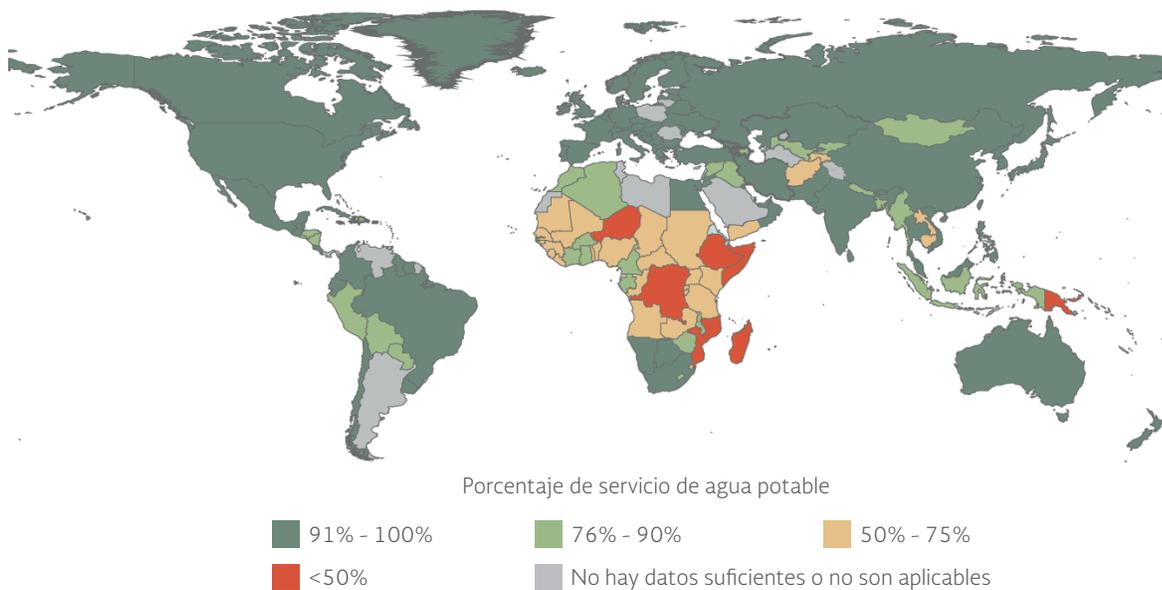
² Incluye países de África septentrional.

³ Incluye Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Australia, Japón, Corea del Sur y Rusia.

Fuente:

OMS y UNICEF. *Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización 2014*. OMS, UNICEF. Luxemburgo. 2014.

Mapa 6.20 | Cobertura de agua potable, 2012



Fuente:

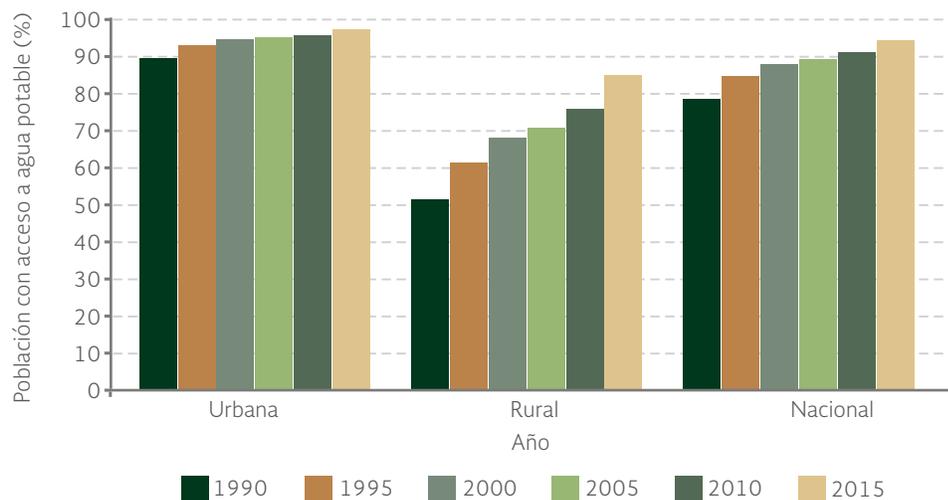
OMS y UNICEF. *Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización 2014*. OMS y UNICEF. Luxemburgo. 2014.

Para el caso de México, en 2015 la cobertura nacional de agua potable²⁵ (Figura 6.23) alcanzó 90.9% de la población, valor superior al promedio mundial (89%) pero inferior al observado para América Latina y el Caribe (94%) y para países como Estados Unidos, Francia y Canadá, que prácticamente cubren a su población total (OMS, 2016; UNICEF, 2015). Entre 1990 y 2015, el porcentaje de cobertura de viviendas que disponen de agua entubada pasó de 78.4% a 95.3%, lo que equivaldría en 2015 a alrededor de 112.72 millones de personas (INEGI, 2015a y b). Durante dicho periodo, en las zonas urbanas la cobertura pasó de 89.4 a 97.8%, mientras que en las rurales el cambio fue de 51.2 a 86.9%.

Por otro lado, a nivel de entidad federativa, en 2015 de acuerdo con la Conagua, las entidades con el mayor acceso a fuentes de agua mejorada fueron Aguascalientes (99%) y Distrito Federal (98.5%), mientras que aquellas con el menor porcentaje fueron Guerrero, Oaxaca y Chiapas (con 86, 85 y 84%, respectivamente; Mapa 6.21).

A nivel nacional en 2015, se suministró un promedio diario de 250 litros de agua por habitante, un volumen superior al mínimo recomendado por la ONU que asciende a 150 litros diarios: 50 litros para cubrir las necesidades básicas mínimas de alimento y aseo y 100 litros más para cubrir las necesidades generales (FNUAP, 2001). A nivel estatal la situación varía ampliamente: en ese mismo

Figura 6.23 | Cobertura de agua potable¹, 1990 - 2015



Nota:

¹ Incluye a los ocupantes en viviendas particulares habitadas con agua entubada dentro de la vivienda o en el predio, de un hidrante público o de otra vivienda, respecto al total de ocupantes.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015

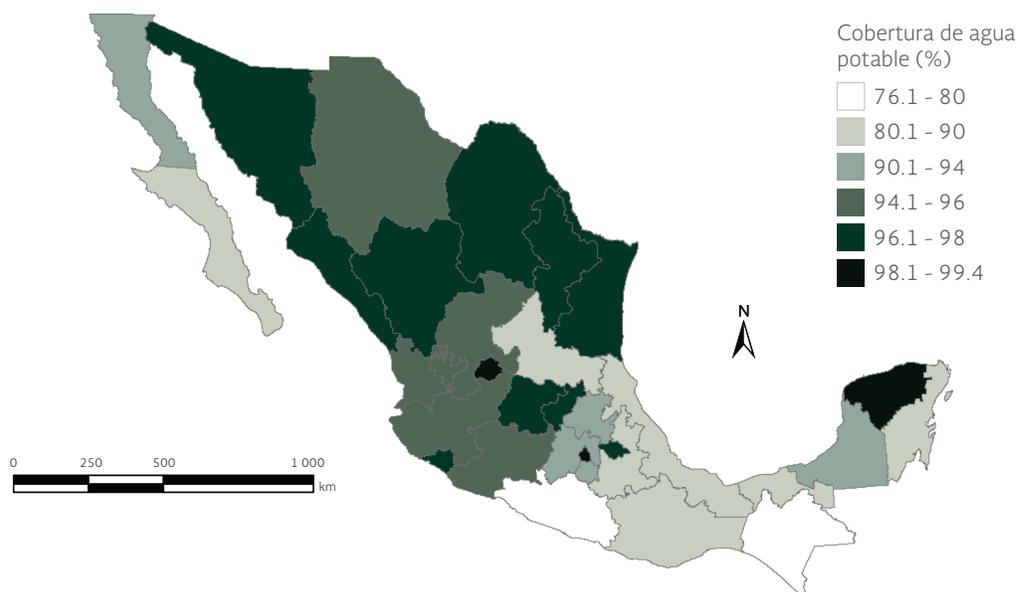
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005*. INEGI. México.

INEGI. *Encuesta Intercensal 2015. Tabulados*. INEGI. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

²⁵ Incluye (en términos porcentuales) a los ocupantes en viviendas particulares habitadas con agua entubada dentro de la vivienda o el predio, de un hidrante público o de otra vivienda, respecto al total de ocupantes en viviendas particulares habitadas, en las zonas rurales y no rurales.

Mapa 6.21 | Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2015¹



Nota:

¹ Los datos de cobertura de agua potable corresponden a la población que cuenta con el servicio o en servicio.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

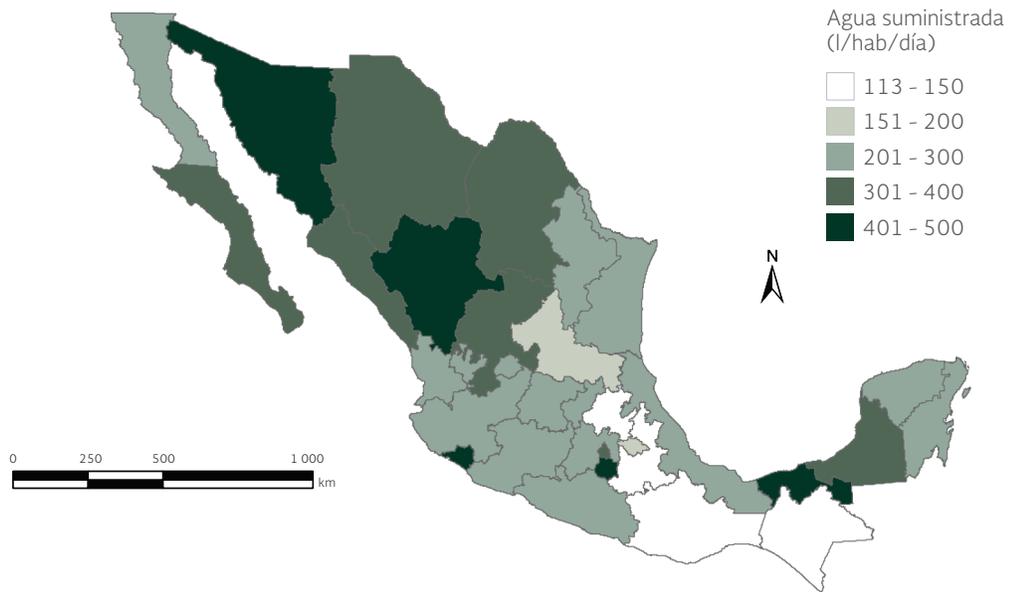
año los habitantes de Colima, Durango, Morelos, Sonora y Tabasco recibieron un suministro de agua mayor a los 400 litros diarios por habitante, en tanto que los habitantes de Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala recibieron en promedio 141 litros diarios (Mapa 6.22).

Además de contar con acceso al agua, es importante que su suministro sea de buena calidad, lo que puede conseguirse por medio de sistemas de potabilización²⁶ o desinfección. Su objetivo es producir agua: 1) sin compuestos químicos ni patógenos que pongan en riesgo la salud de los consumidores, 2) sin sabor o color desagradable, 3) libre de turbidez, 4) razonablemente blanda (de manera que no se requiera de grandes cantidades de detergentes y jabones para la ducha o para lavar), y 5) no corrosiva al sistema de distribución (IMTA-Conagua, 2007). En 2014, en el país el proceso de desinfección del agua para consumo humano alcanzó alrededor del 97% del caudal suministrado (equivalente a 328 367 l/s de agua potabilizada²⁷ de 337 908 l/s de agua producida). A nivel de entidad federativa, 14 entidades lograron desinfectar caudales por arriba del 98%; en contraste, Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tamaulipas y Yucatán registraron porcentajes de desinfección menores al 95% del agua producida (Mapa 6.23).

²⁶ Potabilización es el conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento público o privado, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994). Una planta potabilizadora es un conjunto de estructuras, instalaciones, procesos y operaciones que mejoran la calidad del agua, haciéndola apta para uso y consumo humano.

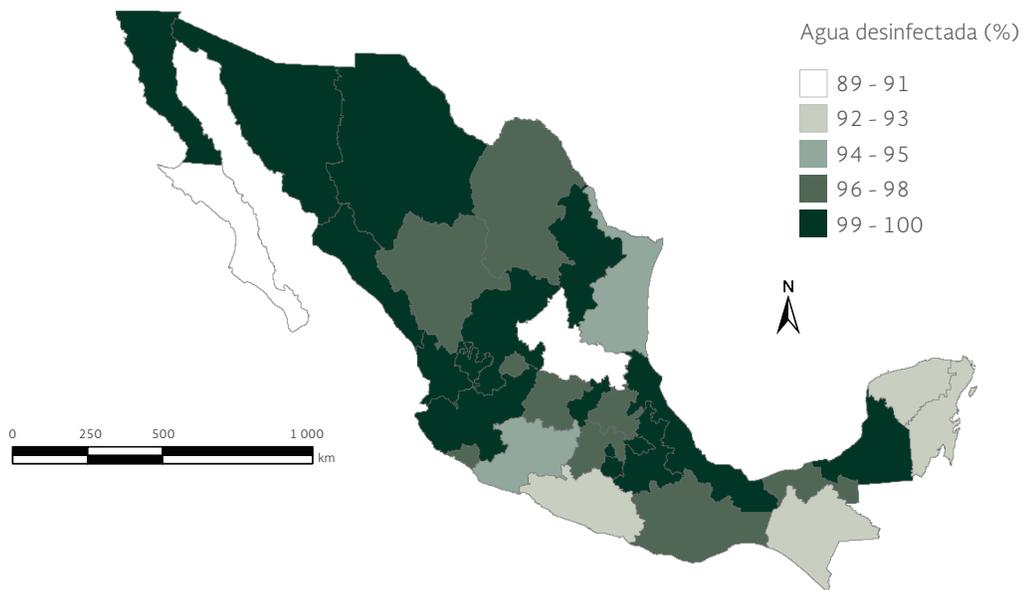
²⁷ De acuerdo con la Conagua, el dato presentado es parcial, por diversas dificultades con el flujo de información.

Mapa 6.22 | Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2014



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.

Mapa 6.23 | Porcentaje de agua desinfectada por entidad federativa, 2014¹



Nota:
¹ El porcentaje fue estimado a partir del caudal (l/s) de agua desinfectada entre el caudal (l/s) de agua producida por entidad federativa.

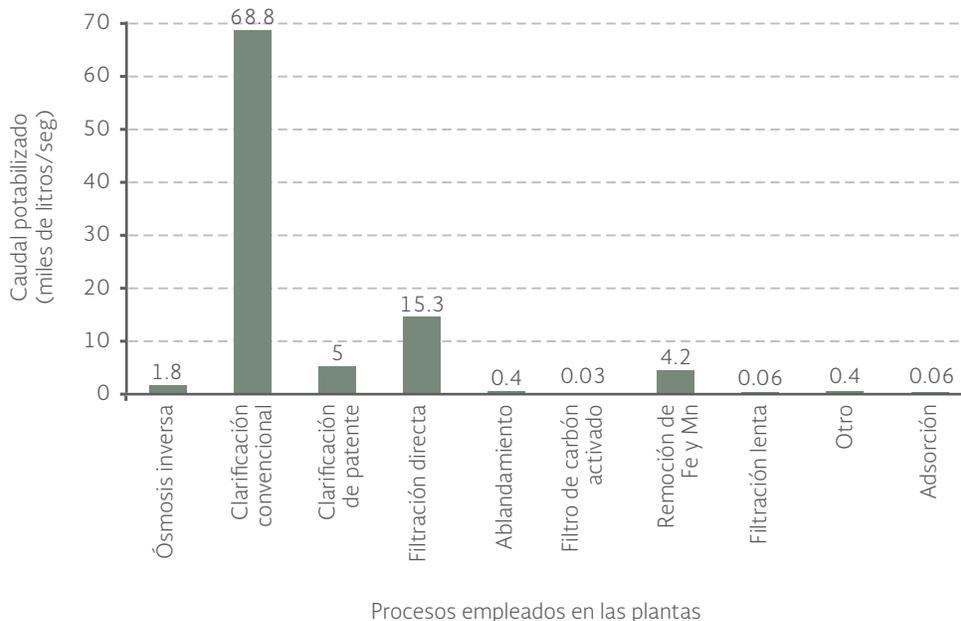
Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015.* Conagua, Semarnat. México. 2015.

En 2014 había en operación 779 plantas potabilizadoras, con una capacidad instalada de 138 metros cúbicos por segundo. Las plantas en operación potabilizaron un caudal de alrededor de 96.3 metros cúbicos por segundo (69.8% de la capacidad instalada). En ese año se tuvo una cobertura de agua desinfectada del 97.2%, es decir, de 338 metros cúbicos por segundo de agua suministrada a la población a nivel nacional, se desinfectaron 328 metros cúbicos por segundo, esto es, 5 litros por segundo más que en el año 2013 (Conagua, 2015d).

De los 338 metros cúbicos por segundo de agua suministrada a nivel nacional, se estima que casi 63% provienen de fuentes subterráneas; el resto se obtiene de fuentes superficiales y se procesan para su potabilización 89 metros cúbicos por segundo (Conagua, 2015d).

La infraestructura de potabilización no se encuentra repartida de manera regular en el territorio; algunas entidades cuentan con más plantas y por tanto pueden potabilizar mayores caudales de líquido. En 2014, destacaban en este rubro Jalisco y el estado de México, con caudales superiores a los 12 mil litros por segundo (con 43 y 11 plantas, respectivamente). Esta situación contrasta con la de Morelos y Colima que potabilizaron caudales menores a los 10 litros por segundo; entidades como Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen de plantas potabilizadoras (Conagua, 2015d).

Figura 6.24 | Plantas potabilizadoras por proceso y caudal potabilizado, 2014



Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Plantas potabilizadoras*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

Tabla 6.5 | Procesos empleados en las plantas potabilizadoras en México, 2014

Proceso de potabilización	Descripción	Caudal potabilizado (en l/s) y número total de plantas
Ósmosis inversa	Remoción de iones y moléculas disueltas en el agua, por medio de altas presiones que fuerzan su paso a través de una membrana semipermeable que retiene las partículas mayores a 0.0001 µm.	1 810 (240)
Clarificación convencional	Se emplea para aguas superficiales con alta turbiedad, color y/o microorganismos. Reduce la concentración de materia suspendida. A menudo emplea filtros de arena con tamaño del grano mayor de 0.5 mm.	68 810 (213)
Clarificación de patente	Puede ser convencional, filtración directa y filtros lentos, que se modifica en alguna de sus partes y se considera de fabricación exclusiva por un fabricante.	5 090 (157)
Filtración directa	Se emplea para aguas con niveles bajos de turbidez, color y/o microorganismos. Se emplea con o sin pretratamiento de filtración directa; elimina los sólidos presentes originalmente en el agua, o los precipitados. Consiste de una mezcla rápida de reactivos químicos, filtración y desinfección.	15 340 (76)
Ablandamiento	Reduce o elimina la dureza del agua por presencia de iones calcio y magnesio de formaciones geológicas. Normalmente por precipitación química, pero puede ser por intercambio iónico u otro proceso.	470 (18)
Filtro de carbón activado	Gran capacidad de adsorción de diversos elementos, eliminación del cloro libre y compuestos orgánicos. Se emplea en las depuraciones de agua subterránea, purificaciones del caudal final de las estaciones de tratamiento de agua potable.	30 (35)
Remoción de Fe y Mn	El ablandamiento con cal también sirve para remover fierro y manganeso. Particularmente útil cuando estos elementos se encuentran con componentes que no son fácilmente oxidables.	4 200 (11)
Filtración lenta	Para aguas crudas con bajos contenidos de turbidez y color, que no requiere tratamiento químico; generalmente para pequeños sistemas de abastecimiento. Se usa filtración y desinfección, su limpieza es manual, extrayendo la capa más superficial del filtro con la materia retenida.	60 (10)
Adsorción	Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separados de la solución.	60 (3)
Otro	Sin información específica.	410 (16)

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2007.* Conagua, Semarnat. México. 2007.

SINA, Conagua, Semarnat. *Plantas potabilizadoras.* Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre 2015.

En 2014²⁸, el proceso de potabilización más utilizado por el número de plantas que lo aplicaban fue el de ósmosis inversa (240 plantas, que representan el 30.8% del total), seguido por el de clarificación convencional (en 213 plantas) y el de clarificación de patente (157 plantas; Figura 6.24; Tabla 6.5). Las plantas con el proceso de ósmosis inversa trataron 1 810 litros por segundo, las de clarificación convencional 68 810 litros por segundo y las que utilizan el proceso de clarificación de patente trataron 5 090 litros por segundo (Tabla 6.5).

²⁸ No se cuenta con información desagregada por entidad federativa, para 2014.

El alcantarillado es otro de los servicios públicos básicos para lograr el bienestar de la población. El acceso a este servicio reduce la incidencia de enfermedades de origen hídrico causadas por el consumo de agua contaminada con patógenos o componentes químicos derivados del mal manejo de las aguas residuales (Conagua, 2014a; ver el capítulo de **Población y medio ambiente**). En México se estima que el alcantarillado evita cada año la muerte de 2.2 millones de niños y reduce también los gastos en salud pública y la productividad por enfermedades y muertes prematuras (Conagua, 2011a y b). Paralelamente, el alcantarillado disminuye la presión que las aguas residuales de origen municipal ejercen sobre la calidad de las fuentes de suministro de agua, al permitir su recolección y tratamiento (Conagua, 2014a).

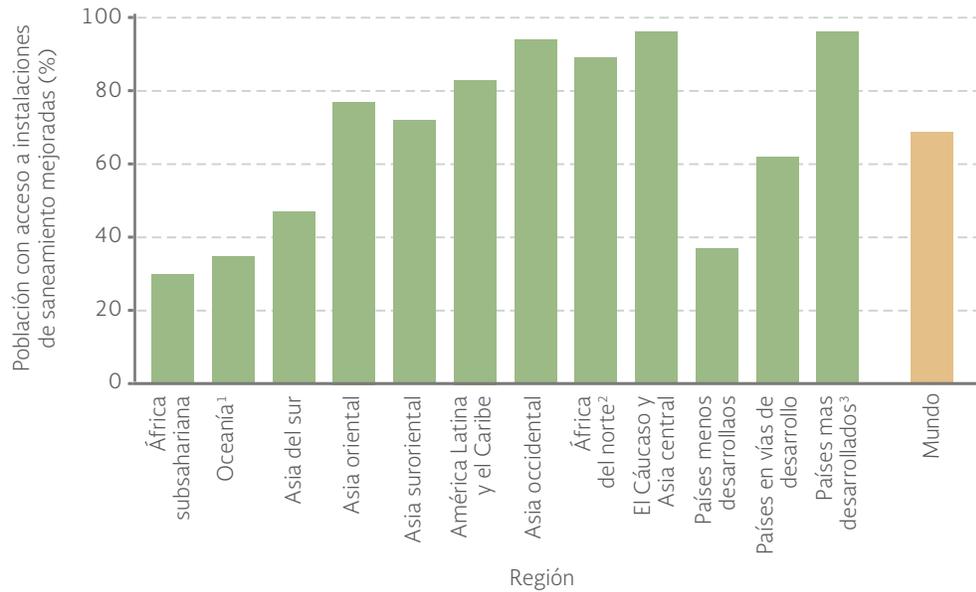
A nivel mundial, a partir de los Objetivos de Desarrollo del Milenio se pretendía reducir a la mitad la población sin acceso a servicios básicos de saneamiento mejorado²⁹ entre 1990 y 2015; lo que implicaba extender su cobertura de 54 a 77% de la población mundial. Sin embargo, a diferencia del acceso al agua potable, esta meta no se alcanzó pues en 2015 la población con acceso a saneamiento mejorado fue de 68%. Los nueve puntos porcentuales restantes para alcanzar la meta mundial planteada en los ODM representarían la cobertura de aproximadamente 700 millones de personas más. Cabe señalar que aunque la meta no se cumplió completamente, el avance registrado entre 1990 y 2015 significó proveer a 2 100 millones de personas de este servicio en todo el mundo (UNICEF-WHO, 2015). Al igual que con el acceso a agua potable, la tendencia en la cobertura de saneamiento mejorado es mayor en las regiones urbanas que en las rurales, con 82 y 51%, respectivamente. Además se estima que 9 de cada 10 personas que todavía practican la defecación al aire libre, viven en zonas rurales.

El acceso a los servicios de saneamiento mejorado no es homogéneo en el mundo. En la Figura 6.25 se observa que el grupo de los países desarrollados, aunque tienen la mayor cobertura quedaron un punto porcentual por debajo de su meta regional para 2015, que era de 97%. La misma diferencia se presentó en la región de América Latina y el Caribe, la cual quedó en 83%. La región de África Subsahariana apenas alcanzó el 30%, y la de Oceanía el 35%, quedando muy por debajo de sus metas regionales que eran de 62% y 68% respectivamente. Las regiones del Cáucaso y Asia Central, Asia oriental, África septentrional y Asia occidental fueron las que alcanzaron sus metas regionales (UNICEF-WHO, 2015; Figura 6.25 y Mapa 6.24).

En el periodo 1990-2015, en México la población que no contaba con alguna fuente de saneamiento mejorado disminuyó 32%. En 2015 se registró una cobertura nacional de

²⁹ En el contexto internacional enmarcado en los Objetivos de Desarrollo del Milenio, la OMS y la UNICEF definen al saneamiento mejorado como tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y las aguas residuales, lo cual permite tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en los usuarios. La cobertura al saneamiento mejorado se refiere al porcentaje de personas que utilizan servicios de saneamiento a partir de conexión a alcantarillas, a sistemas sépticos y letrinas (OMS, s/a). Los datos mostrados en la figura 6.25 y el mapa 6.20 corresponden a estos criterios y no son directamente comparables con los mostrados específicamente para México por la Conagua, a partir de la información recabada por INEGI en los Censos y Conteos de Población y Vivienda, y para 2015 por la Encuesta Intercensal, ya que incluye dentro de su concepto "cobertura de alcantarillado" a las personas que cuentan con conexión a la red de alcantarillado o una fosa séptica, o bien a un desagüe, barranca, grieta, lago o mar.

Figura 6.25 | Cobertura mundial de instalaciones de saneamiento mejorado, 2015



Notas:

¹ Incluye solamente las islas que forman parte de los archipiélagos de Melanesia, Polinesia y Micronesia.

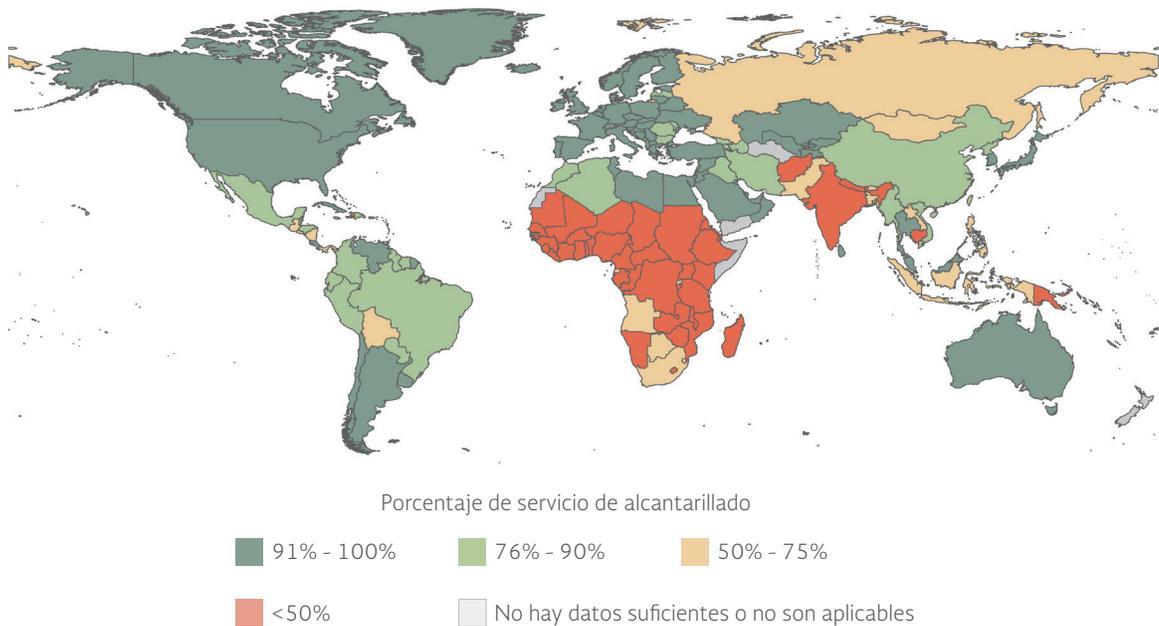
² Incluye países de África septentrional.

³ Incluye Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Australia, Japón, Corea del Sur y Rusia.

Fuente:

OMS y UNICEF. *Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización 2014*. OMS y UNICEF. Luxemburgo, 2015.

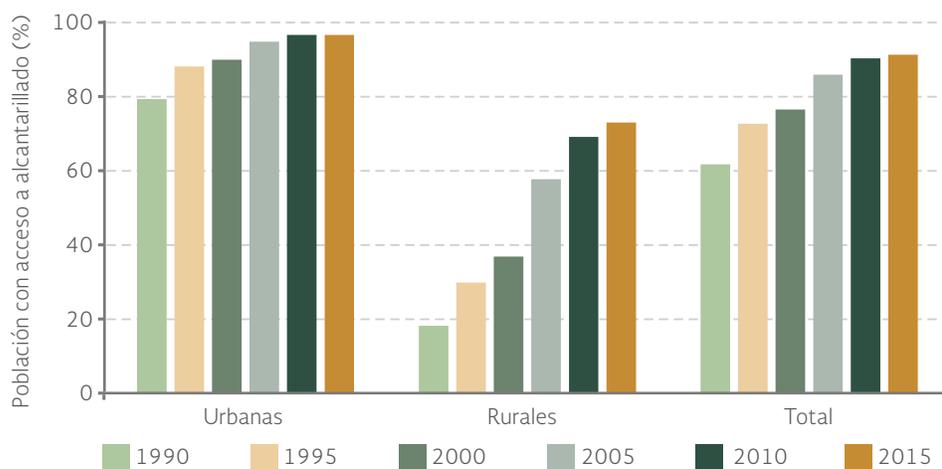
Mapa 6.24 | Cobertura de alcantarillado en el mundo, 2015



Fuente:

UNICEF y WHO. *Progress on sanitation and drinking water. 2015 update and MDG assessment*. UNICEF y WHO. USA, 2015

Figura 6.26 | Cobertura de alcantarillado¹, 1990 - 2015



Nota:

¹ Incluye las descargas conectadas a un alcantarillado, tanque o letrina de pozo mejorado y ventilado.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005*. INEGI. México.

INEGI. *Encuesta Intercensal 2015. Tabulados*. INEGI. México. 2015.

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2016.

alcantarillado del 91% (Figura 6.26); poco más de 10 millones de habitantes aún no cuentan con el servicio³⁰. A nivel de entidad federativa, 19 tienen una cobertura superior al promedio nacional (93%), de éstas destacan el Distrito Federal y Morelos con coberturas del 99.9 y 98%, respectivamente. En contraste, Oaxaca y Yucatán tienen coberturas inferiores al 80% (Mapa 6.25). También con diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales: las primeras alcanzaron una cobertura de 97.4% mientras que en las rurales la cobertura fue del 77.5% de la población (Figura 6.26).

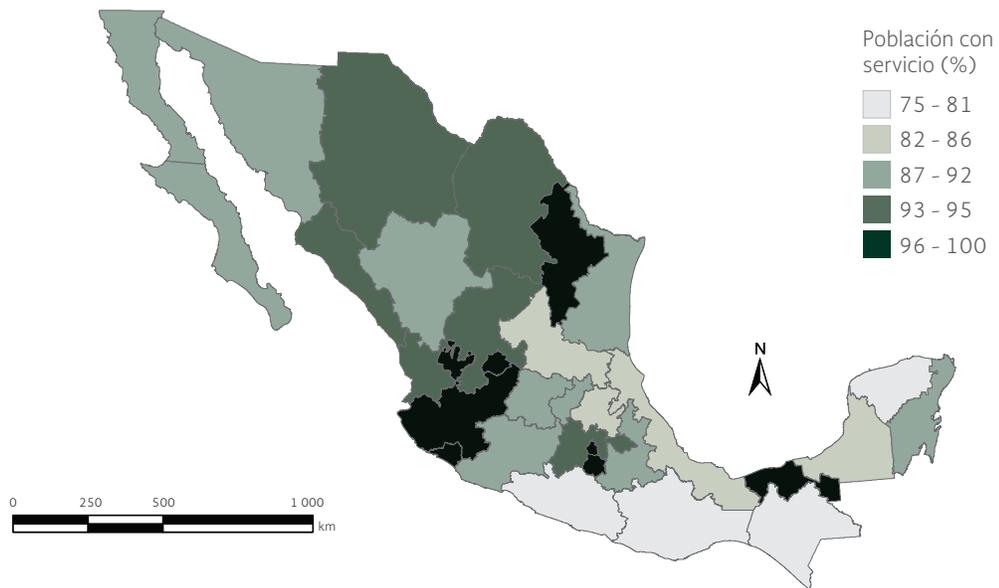
Además, la cobertura por el tipo de saneamiento también ha cambiado; la población que contaba con un sistema conectado a la red de alcantarillado alcanzó 78 millones de habitantes en el 2010, lo que equivalía al 70.6% de la población con el servicio de alcantarillado; mientras que la población sin saneamiento mejorado, es decir, cuya descarga va a dar hacia barrancas, grietas, ríos, lagos o al mar era de aproximadamente de 2 millones, lo que representaba menos del 2% de la población (Figura 6.27).

La evolución de la población con cobertura de alcantarillado ha evolucionado a diferente ritmo si se considera el tamaño de la localidad. En las localidades rurales³¹, la población con cobertura de alcantarillado se incrementó cerca de 65% en el periodo 1990-2010; y en las urbanas que van de 15 000 a 49 999 habitantes, tuvieron un aumento del 70% (Figura 6.28).

³⁰ Para efectos del presente informe, se considera como cobertura de alcantarillado sólo a población con la conexión a la red de alcantarillado o a una fosa séptica, tanque séptico, letrinas de pozo mejoradas ventiladas, por lo que los datos difieren de los reportados por la Conagua (2015a y d).

³¹ Las localidades rurales comprenden menos de 2 500 habitantes, y las urbanas 2 500 y más habitantes. Sin embargo, para INEGI, existe una categoría intermedia denominada localidades mixtas o en transición, que comprende entre 2 500 y 14 999 habitantes.

Mapa 6.25 | Cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2015¹



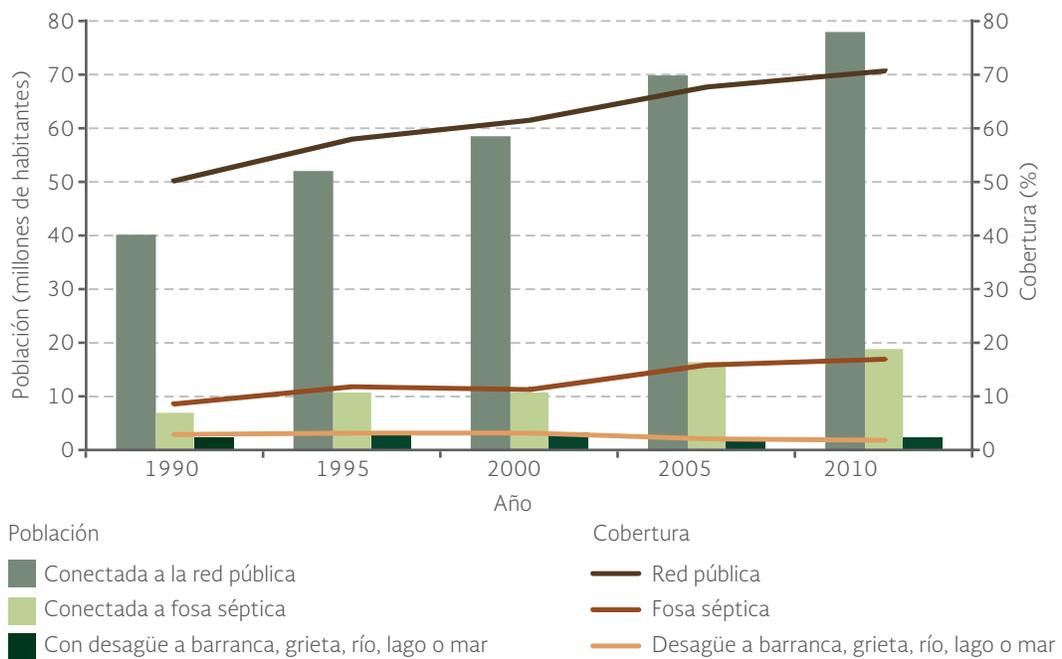
Nota:

¹ Los datos de cobertura de alcantarillado corresponden a la población que cuenta con desagüe a la red pública o a fosa séptica, tanque séptico o letrina de pozo mejorado ventilado.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: abril de 2016.

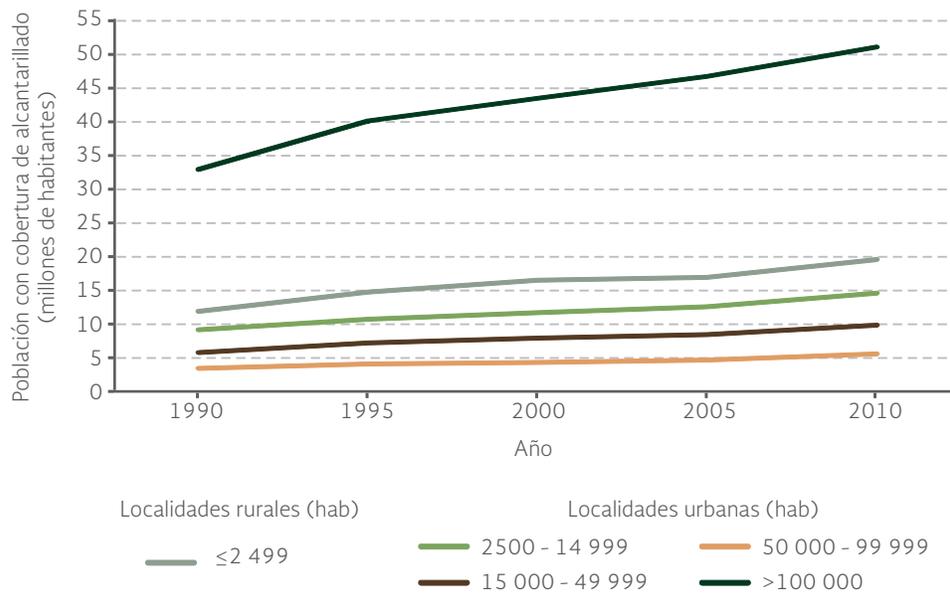
Figura 6.27 | Población con acceso a alcantarillado por tipo de drenaje, 1990 - 2010



Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2007 y 2008. Conagua, Semarnat. México. 2007 y 2008.
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. México. 2011.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre 2015.

Figura 6.28 | Población con cobertura de alcantarillado por tamaño de población, 1990 - 2010¹



Nota:

¹ Las localidades rurales comprenden menos de 2 500 habitantes y las urbanas 2 500 y más habitantes. Sin embargo, para INEGI, existe una categoría intermedia denominada localidades mixtas o en transición, que comprende entre 2 500 y 14 999 habitantes.

Fuente:

SINA, Conagua, Semarnat. *Agua potable y alcantarillado*. Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre 2015.

Tratamiento de aguas residuales

El incremento en el consumo de agua en los distintos sectores genera como resultado un mayor volumen de aguas residuales. Los efectos negativos de la contaminación del agua no sólo afectan a los cuerpos de agua y a los ecosistemas, sino también representan un riesgo para la salud humana cuando el agua se emplea para consumo directo de la población, se vierte sin tratamiento a cuerpos de agua que son utilizadas directamente por la población o bien, se utiliza en otras actividades relacionadas con ella (p. ej., actividades agropecuarias).

El tratamiento de aguas residuales en el país se realiza a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos que buscan eliminar los principales contaminantes presentes, lo que permite que después del proceso puedan ser vertidas en los cuerpos naturales sin graves impactos, aprovechando también la capacidad de los ecosistemas acuáticos de absorberlos, diluirlos y procesarlos.

Para remover los contaminantes en las aguas residuales municipales existen diversos procesos, entre los que se emplean en México se incluyen los lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aireadas, filtros biológicos, dual y otros.

En 2014 se trataron en el país 111.3 y 65.6 metros cúbicos por segundo de aguas residuales en 2 337 plantas municipales y 2 639 plantas industriales, lo que representa en promedio cerca de del 40% del total del caudal de aguas residuales generado, esto representa un incremento de

alrededor del 155% respecto al volumen tratado en 1998 (Figura 6.29). El valor de 2014 está por debajo de países como Bosnia y Herzegovina, Croacia, Polonia, Reino Unido, Rumania y Suiza (que en 2012 trataron en promedio más del 93% de sus aguas residuales), pero por arriba de los países como Iraq, Siria, Tailandia y Vietnam que trataron menos del 10% en el mismo año.

Existe una variación importante entre entidades federativas respecto al porcentaje de aguas residuales municipales que se tratan en relación al caudal generado: en 2013³², Aguascalientes y Nuevo León trataron todo el caudal de agua residual generado, mientras que en Yucatán, Campeche e Hidalgo fue menor al 10% (Mapa 6.26).

En el caso del tratamiento de las aguas residuales industriales, la proporción del caudal generado que se trata es menor. En 2014 sólo se trataba alrededor del 31% del volumen generado de aguas industriales; aunque el volumen de tratamiento representa más del doble de lo tratado en 1998, aún resulta insuficiente dados los volúmenes de estas aguas que se descargan a los cuerpos de agua superficiales (Figura 6.29).

Figura 6.29 | Tratamiento de aguas residuales respecto al caudal generado, 1998 - 2014

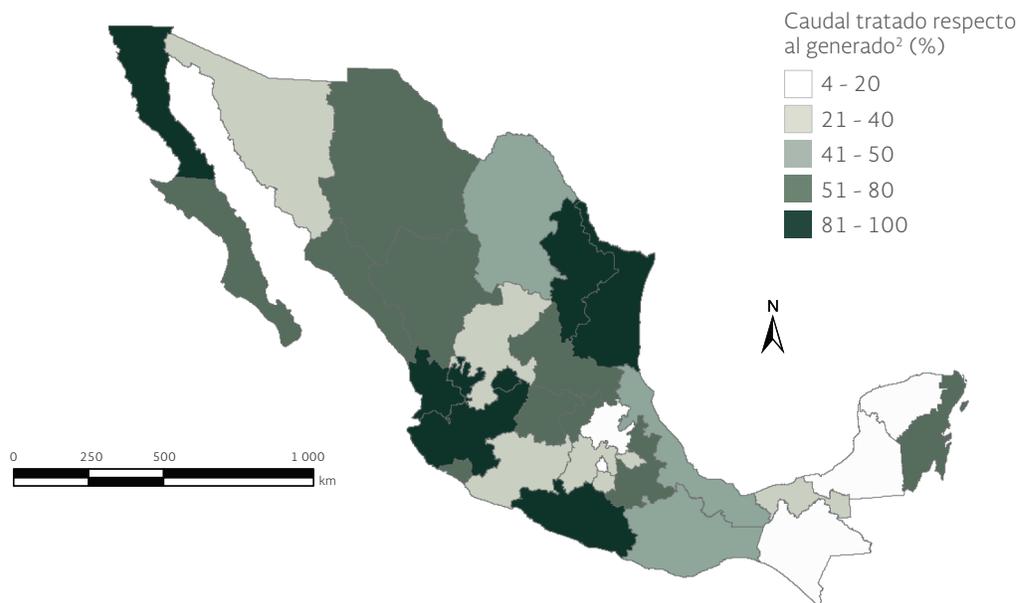


Fuentes:

Elaboración propia con base en:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. Conagua, Semarnat. México, 2010.
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2013. Conagua, Semarnat. México. 1998-2013.
 Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.
 Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Conagua, Semarnat. México. Agosto de 2013.
 Semarnat e INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. Semarnat e INEGI. México. 2000.
 SINA, Conagua, Semarnat. *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Disponible en: <http://201.116.60.25/sina/Default4.aspx?tab=47>. Fecha de consulta: septiembre de 2015.

³² Conagua no ha publicado la información desagregada por entidad federativa en 2014, por lo que se presenta la de 2013.

Mapa 6.26 | Tratamiento de aguas residuales municipales, 2014¹



Notas:

¹ El caudal generado fue estimado en función de los parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

² El caudal excedente de agua residual tratada se debe a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015.

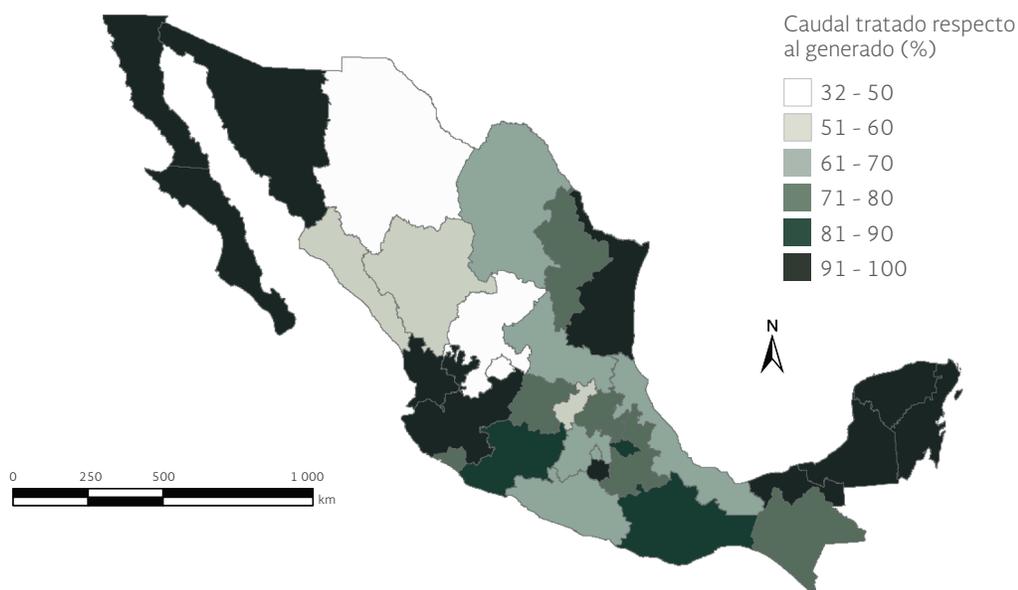
Plantas de tratamiento de aguas residuales

En 2015 se trataron casi 120.9 metros cúbicos por segundo de aguas residuales de origen municipal en 2 447 plantas. Se estima que el sistema de alcantarillado municipal colectó por segundo alrededor de 230 metros cúbicos de agua, de este volumen se trató el 52.6% (120.9 m³/s). A nivel municipal se tiene una capacidad instalada de casi 178 metros cúbicos por segundo, pero sólo se trataron alrededor de 121 metros cúbicos por segundo (67.9% de la capacidad instalada). La diferencia entre la capacidad instalada y la de operación puede explicarse debido a que no todas las plantas operan a su capacidad total, algunas tienen una operación no óptima (entre otras razones por azolvamiento), otras permanecen inoperantes por mantenimiento, rehabilitación o por falta de presupuesto (Conagua, 2011a y b, Conagua, 2015a).

Para el tratamiento de las aguas de origen industrial, en 2015 se tenían registradas 2 832 plantas industriales, las cuales trataron 70.5 metros cúbicos por segundo de aguas residuales. La capacidad instalada industrial es de 87.6 metros cúbicos por segundo, por lo que se trató el 80.4% (70.5 m³/s) del total del caudal (Conagua, 2015a). Estas plantas removieron alrededor de 1.3 millones de toneladas de DBO₅, un volumen correspondiente al 19% de la carga orgánica de las aguas industriales generadas.

Por otro lado, las entidades que trataron un caudal de aguas residuales cercano a su capacidad instalada fueron Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Querétaro y Sinaloa. Por su parte, Baja California Sur, Campeche, Jalisco, Nayarit y Tabasco trataron casi el 100% del caudal suministrado respecto a su capacidad instalada en 2014 (Mapa 6.27).

Mapa 6.27 | Tratamiento de aguas residuales industriales, 2014¹



Nota:

¹ El agua residual industrial en México es saneada bajo tres tipos de tratamiento: primario, secundario y terciario. El tratamiento más utilizado es el secundario y se aplica en 1 549 plantas que tienen un gasto de operación de 31.6 metros cúbicos por segundo.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015

Las aguas residuales industriales son tratadas en tres niveles: primario, secundario y terciario (En la Tabla 6.6 se describen los tipos de tratamiento), de los cuales el más utilizado es el secundario, empleado en 1 569 plantas (Figura 6.30). Este nivel de tratamiento, además del cribado y la sedimentación que se realiza en el proceso primario, implica un proceso biológico en el que el material orgánico se digiere y convierte en células o tejido celular y otros subproductos inocuos como bióxido de carbono y agua. En el tratamiento secundario se puede obtener una remoción de entre 80 y 95% de la DBO original, lo que permite que el agua vertida con estas condiciones no tenga impactos significativos en el cuerpo de agua receptor (Conagua, 2013).

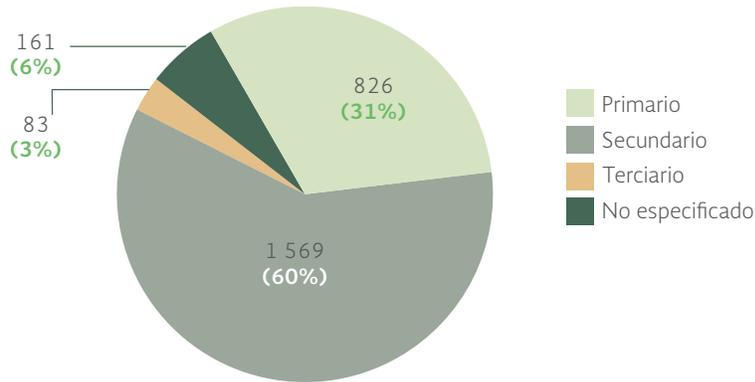
Tabla 6.6 | Tipos de tratamiento de aguas residuales industriales

Tratamiento	Características
Primario	Ajustar el pH y remover materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1 mm.
Secundario	Remover materiales orgánicos coloidales y disueltos.
Terciario	Remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus.
No especificado	

Fuentes:

Conagua, Semarnat. Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. Conagua, Semarnat. México. 2013
 SINA, Conagua, Semarnat. *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre 2015.

Figura 6.30 | Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, por nivel de tratamiento, 2014¹



Nota:

¹ Los números corresponden a la cantidad de plantas por tratamiento, los números entre paréntesis indican el porcentaje por tratamiento con relación al total de plantas.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2015. Conagua, Semarnat. México.
SINA, Conagua, Semarnat. Plantas de tratamiento de aguas residuales. Disponible en: www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Fecha de consulta: diciembre 2015.

SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS PESCA

Los ecosistemas acuáticos marinos y continentales suministran servicios ambientales fundamentales para la sociedad; además del agua dulce para el abasto doméstico y uso agrícola e industrial, proveen de alimentos y materiales de construcción. Aunado a ello debe agregarse su importante papel en la regulación del clima y del ciclo hidrológico, el secuestro de carbono y la protección de las zonas costeras, entre muchos otros.

La pesca es uno de los servicios ambientales más importantes de los ecosistemas marinos y los de aguas continentales (FAO, 2014). A pesar de que se ha practicado desde milenios atrás, no ha sido sino hasta la segunda mitad del siglo pasado que la producción creció a un nivel que puso en riesgo, en distintas regiones, algunas de sus pesquerías más importantes. La sobreexplotación de las pesquerías no sólo tiene consecuencias ecológicas adversas, también afecta el bienestar social y económico de las comunidades que dependen de ellas y que, en muchos casos, son las de menores ingresos, particularmente en los países en desarrollo y en los pequeños estados insulares. Además del impacto directo por la pesca, los sistemas acuáticos sufren por la presión que causa el desarrollo urbano, el embalse y desvío de las corrientes superficiales, la extracción de cantidades importantes de agua para el riego, por la pérdida y degradación de los ecosistemas, la contaminación del agua por el vertido de aguas residuales sin tratamiento y la inadecuada disposición de los residuos, entre otros factores que alteran sus procesos ecológicos (Vázquez, 1998; Duffy, 2010; Fisher *et al.*, 2015).

En 2012, la producción pesquera mundial, considerando captura y acuicultura, alcanzó casi 158 millones de toneladas: 79.7 millones en aguas marinas (50.5% del total), 11.6 millones en las zonas continentales (7.3%), mientras que en el ámbito de la acuicultura la producción fue de 66.6 millones de toneladas (42.2% del total): 24.7 millones de toneladas en aguas marinas y 41.9 millones en las

zonas continentales (15.6 y 26.5% respectivamente). Destaca en los últimos años el crecimiento de la producción acuícola: mientras que en 2007 contribuía con 35.5% a la producción global, en 2012 alcanzó el 42.2% (FAO, 2014).

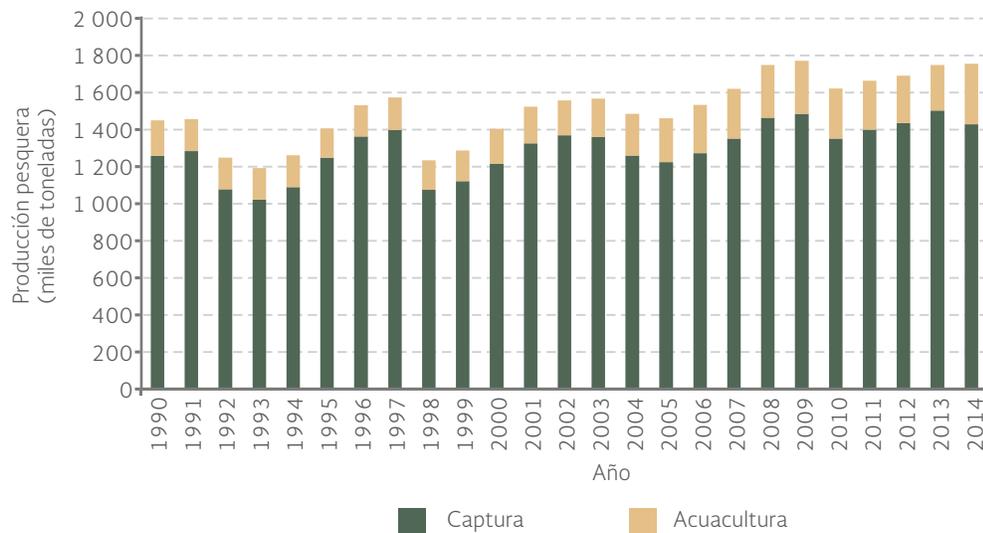
En el caso nacional, aunque la pesca contribuye con un porcentaje bajo del Producto Interno Bruto (PIB; en 2014 contribuyó con alrededor del 0.057%; INEGI, 2015), es relevante para la economía local de muchas zonas y para la subsistencia de diversas comunidades en el país: en 2013 poco menos de 300 mil pescadores y 12 millones de personas, directa o indirectamente, se vinculaban con las actividades pesqueras (Conapesca, 2013).

En el periodo 1990-2014, la producción pesquera en México registró un promedio anual cercano a las 1.5 millones de toneladas, con variaciones entre 1.2 y poco menos de 1.8 millones (Figura 6.31), lo que lo ubica en el lugar 16 entre los mayores productores a nivel mundial, con más del 1.8% de la captura total en 2012 (FAO, 2012). En cuanto a la acuicultura, nuestro país ocupa el sitio 22 a nivel mundial (FAO, 2014).

Los estados del litoral del Pacífico aportaron el 77% de la producción nacional³³ entre 1990 y 2014, con un promedio anual de 1.2 millones de toneladas. Por su parte, los estados del Golfo de México y mar Caribe aportaron 20.4% de la producción (en promedio 307 521 toneladas) y la parte continental aportó el 2.6% (38 610 toneladas en promedio; Cuadro D2_PESCA01_01; IB 8-1; Figura 6.32).



Figura 6.31 | Producción pesquera nacional, 1990 - 2014

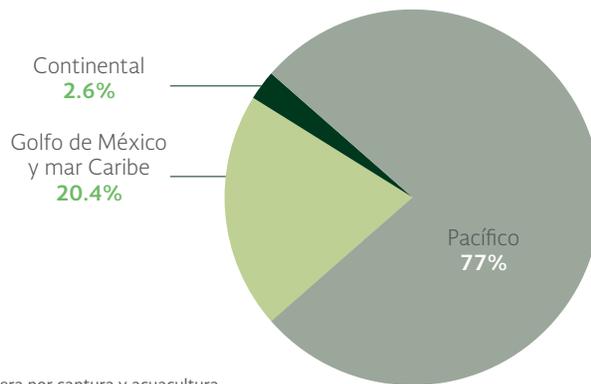


Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
 Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. 2003-2010*. Conapesca, Sagarpa. México, 2004-2011.
 Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Conapesca, Sagarpa. México, 2010-2015.
 Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca. 2000-2002*. Sagarpa. México, 2001-2003.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca. 1997-1999*. Semarnap. México, 1998-2000.

³³ Incluye captura y acuicultura.

Figura 6.32 | Producción pesquera promedio según origen, 1990 - 2014¹



Nota:

¹ Se incluye la producción pesquera por captura y acuicultura.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Conapesca, Sagarpa. México. Julio de 2014 y mayo de 2015.

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. 2003 - 2010. Conapesca, Sagarpa. México, 2004-2011.

Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. 2000-2002. Sagarpa. México, 2001-2003.

Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca*. 1997-1999. Semarnap. México, 1998-2000.

En tanto, la producción acuícola alcanzó 325 mil toneladas, con poco más de 216 mil en el litoral del Pacífico (66.6% de la producción acuícola total), seguido por el Golfo de México y mar Caribe con 68 mil toneladas (21%) y las entidades sin litoral con más de 40 mil toneladas (12.4%). La aportación de la acuicultura se incrementó de 13.2 a 18.6% entre 1990 y 2014 (DGPPE, 2015; **IB 8-1**).



Las cuatro entidades con mayor producción pesquera en 2014 fueron Sonora (507 736 toneladas; 29% del total nacional), Sinaloa (339 227 toneladas; 19.4%), Baja California Sur (188 836 toneladas; 10.8%) y Baja California (159 670 toneladas; 9.1%); en total, la suma de la producción en estas entidades corresponde al 68.3% de la producción nacional (**CuadroD2_PESCA01_01**; Mapa 6.28).

Respecto a la acuicultura, los estados con mayor producción fueron Sinaloa (52 269 toneladas; 16.1% del total nacional), Jalisco (37 037 toneladas; 11.4%), Veracruz (35 470 toneladas; 10.9%), Sonora (31 538 toneladas; 9.7%) y Michoacán (28 572 toneladas; 8.8%); en conjunto, estos cinco estados aportaron el 56.9% de la producción acuícola total en el país.

En 2014, las pesquerías con mayor contribución a la producción nacional fueron las de sardina³⁴, atún y camarón con 920 326 toneladas, lo que corresponde al 52.5% de la producción nacional pesquera. De éstas, la que posee un mayor volumen de producción fue la de sardina (34.2% de la producción nacional; 599 777 toneladas), le sigue el atún (9.3%; 162 422 toneladas) y después la de camarón (9%; 158 128 toneladas; DGPPE, 2015).

Uno de los principales factores que aumentan la presión sobre las pesquerías a nivel global es el incremento del esfuerzo pesquero. En la medida que crecen las flotas y su acceso a los recursos no se regula adecuadamente, la tendencia general es hacia la sobreexplotación de las reservas pesqueras. En el caso de México, en las últimas décadas la flota pesquera (integrada por embarcaciones para pesca de altura y ribereña) no ha crecido de manera importante; entre 1990 y 2014 aumentó

³⁴ Incluye sardina para consumo directo e indirecto (sardina industrial).

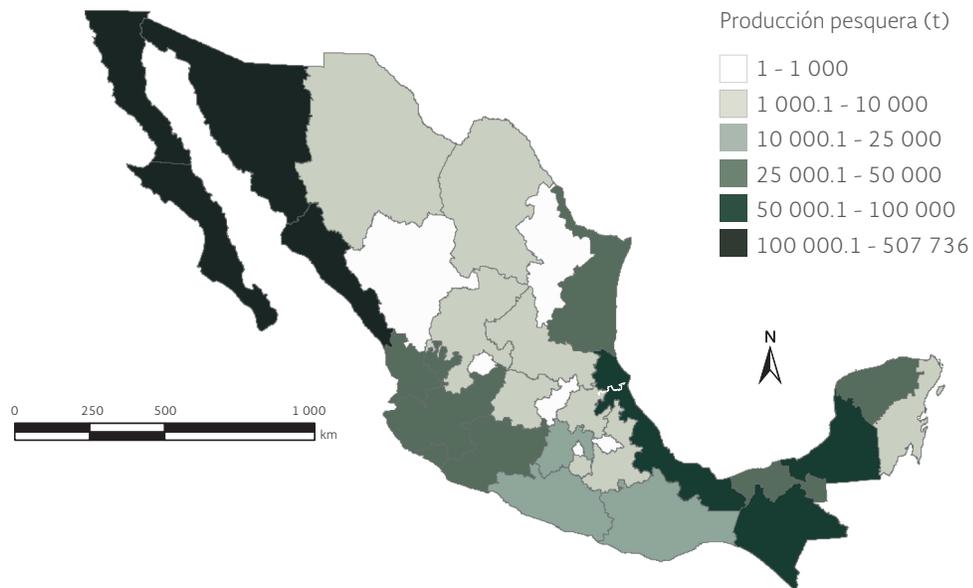


sólo 1.6%, y pasó de 74 572 a 75 741 embarcaciones (IB 8-2). De las embarcaciones, 2 016 embarcaciones correspondían a la flota de altura (2.7% del total) y 73 725 a embarcaciones eran utilizadas para la pesca ribereña (97.3%; DGPPE, 2015).

Hasta el año 2014 la flota de altura en el litoral del Pacífico ascendía a 1 080 unidades, con la mayor cantidad en Sinaloa (548 unidades; 50.7% del total del litoral), Sonora (324; 30%) y Baja California (106; 9.8%); en el litoral del Golfo de México y mar Caribe sumó 936 embarcaciones en total, con Yucatán (522 embarcaciones; 55.8% del total del litoral), Tamaulipas (176; 18.8%) y Campeche (140; 15%) como las entidades con mayor número de unidades. Respecto a las embarcaciones de pesca ribereña, el mayor número se encontró en el litoral del Pacífico (44 515 unidades en total) y se concentraba en Sinaloa (10 761 embarcaciones; 24.2% del total del litoral), Chiapas (6 120; 13.6%) y Michoacán (5 745; 12.9%); mientras que en el Golfo de México y mar Caribe se contabilizó un total de 25 398 embarcaciones ribereñas y los estados con mayor número de ellas fueron Veracruz (9 148; 36% del litoral), Tabasco (5 247; 21.4%) y Campeche (3 593; 14.2% del total; Mapa 6.29).

Considerando el número total de embarcaciones en 2014, las entidades que registraron un mayor número en el litoral del Pacífico fueron Sinaloa (548 embarcaciones de altura y 10 761 ribereñas), Chiapas (3 de altura y 6 120 ribereñas), Michoacán (5 745 embarcaciones ribereñas), Jalisco (5 028 embarcaciones ribereñas) y Sonora (324 de altura y 3 943 ribereñas; Mapa 6.29). En el litoral del Golfo de México y mar Caribe las cinco entidades con mayor número de embarcaciones ese año fueron Veracruz (57 embarcaciones de altura y 9 148 embarcaciones ribereñas), Tabasco (28 de altura y 5 427 ribereñas), Campeche (140 de altura y 3 593 ribereñas), Yucatán (522 de altura y 3 093 ribereñas) y Tamaulipas (176 embarcaciones de altura y 3 307 ribereñas).

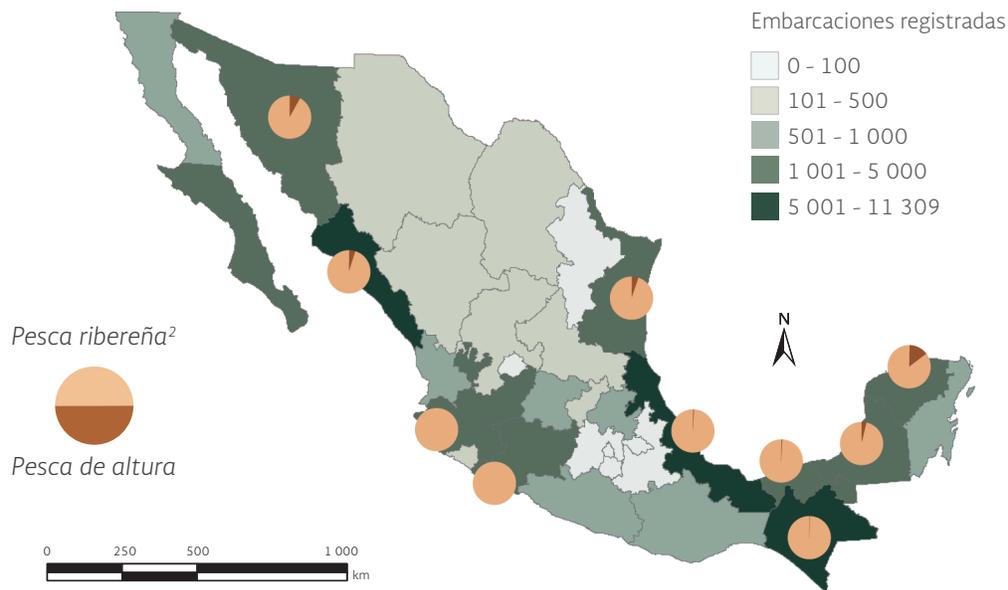
Mapa 6.28 | Producción pesquera por entidad federativa, 2014¹



Nota:
¹ Se incluye la producción pesquera por captura y acuicultura.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Conapesca, Sagarpa. Mayo de 2015.

Mapa 6.29 | Embarcaciones registradas por tipo de pesca por entidad federativa, 2014¹



Notas:

¹ Las entidades sin litoral no tienen gráfica puesto que toda su flota es ribereña. En Chiapas, Tabasco y Veracruz, la flota de altura es menor al uno por ciento del total de la flota estatal.

² Pesca ribereña: embarcaciones cuya actividad pesquera es principalmente comercial y cuya eslora es igual o menor a 10 m.

Fuente:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Conapesca. Sagarpa. México. Mayo de 2015.

Con respecto a la composición de la flota pesquera, en 2014 había 1 156 embarcaciones camaroneras, 834 en el litoral del Pacífico (72.1% del total) y el resto en el litoral del Golfo de México y mar Caribe (322 barcos, 27.9%). En ese mismo año, las atuneras sumaban 86 unidades; 60 de ellas en el Pacífico (69.8%) y 26 (30.2%) en el Golfo de México; mientras que toda la flota destinada a la pesca de sardina se ubicó en el litoral del Pacífico (67 embarcaciones; DGPPE, 2015).

Estado de las pesquerías

El estado de las pesquerías brinda información importante para el manejo de los recursos pesqueros. Indirectamente también puede ofrecer información acerca del estado de los ecosistemas marinos: entre más pesquerías de una región se encuentren en condición de sobreexplotación o deterioro, mayores pueden ser los daños en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, tanto por sus efectos sobre las especies objetivo, como sobre las que se capturan de incidental e, incluso, por la alteración misma del hábitat por algunas prácticas pesqueras (p. ej. como el arrastre de redes). La información más reciente sobre el estado de las pesquerías nacionales se reporta en la Carta Nacional Pesquera publicada en 2012 (DOF, 2012). Según dicha fuente, en 2010 en el litoral del Pacífico el 31.5% de las pesquerías se encontraban en aprovechamiento máximo, el 25.9% en deterioro y el 25.9% mostraba potencial de desarrollo, mientras que para el 16.7% restante no se determinó su estado (Figura 6.33). En el litoral del Golfo de México, 58.8% de las pesquerías se

reportaban en aprovechamiento máximo sostenible, 29.4% en deterioro y sólo 8.8% con potencial de desarrollo, mientras que no se determinó el estado en el 2.9% restante. En el caso de los cuerpos de agua continentales, la Carta Nacional Pesquera no determina la situación de la sustentabilidad de los recursos pesqueros (DOF, 2012; **IB 8-5**).

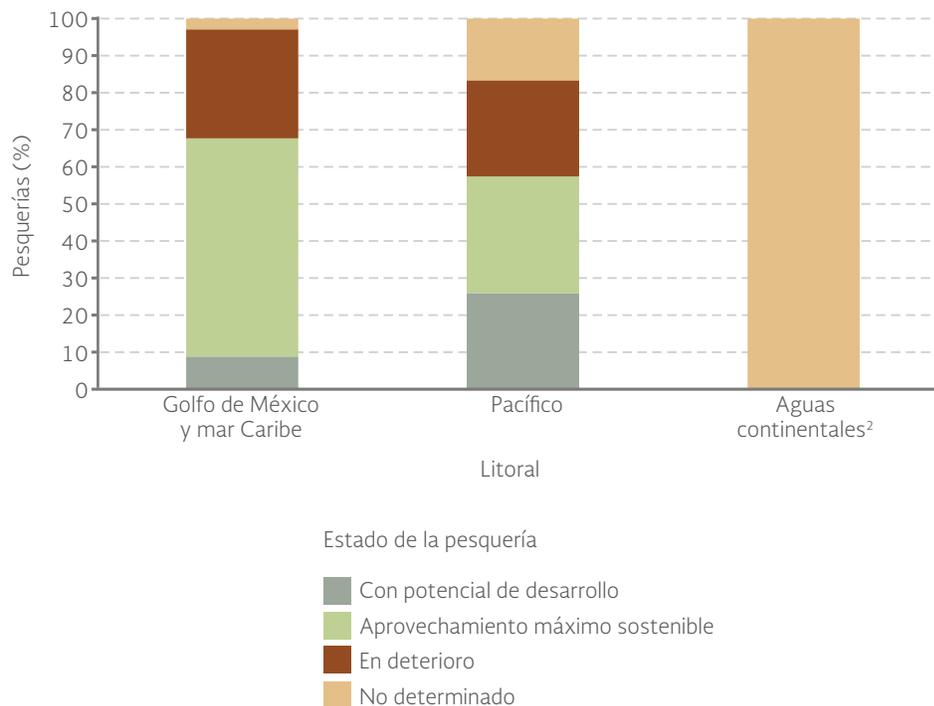


Otro indicador útil para evaluar el estado de las pesquerías de una región o país es el rendimiento pesquero. Éste se calcula comparando la captura obtenida a través de un esfuerzo pesquero particular respecto a un año usado como estándar (FAO, 2000). Un rendimiento superior al 100% se interpreta como un recurso pesquero susceptible de aumentar su extracción, en tanto que si es menor, se infiere un posible deterioro del recurso.

De acuerdo con los datos observados, en el litoral del Pacífico las pesquerías de atún y escama mostraron una tendencia decreciente entre 1990 y 2012, después de lo cual han mostrado una recuperación importante: en el año 2014 sus rendimientos fueron de 141 y 218% respectivamente. La pesquería de camarón ha mostrado importantes fluctuaciones desde 1990: a partir de 2012 el rendimiento ha tenido un aumento substancial y en 2014 alcanzó un rendimiento de 303%. En el caso de la sardina-anchoveta, el rendimiento se ha incrementado desde 1993: en 2014 registró un rendimiento de 208% (Figura 6.34a y b; **IB 8-4**).



Figura 6.33 | Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros en México, 2012¹



Notas:

¹ Los porcentajes están calculados hasta 2010 y con respecto al total de grupos o especies por litoral.

² Los datos para las aguas continentales no se refieren a especies o grupos de especies, sino a cuerpos de agua.

Fuente:

DOF. Carta Nacional Pesquera 2012. Diario Oficial de la Federación. DOF. México. 2012 (24 de agosto).

Figura 6.34 | Rendimiento relativo de las pesquerías de altura mexicanas, 1990¹ - 2014



Notas:

¹ Año base: 1990.

² No se reportan datos para la sardina-anchoveta en este litoral, pues no se cuenta con datos del número de embarcaciones involucradas en su pesca.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Conapesca, Sagarpa. México. Julio de 2014 y mayo de 2015.

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. 2003-2010. Conapesca, Sagarpa. México, 2004-2011.

Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. 2000-2002. Sagarpa. México, 2001-2003.

Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca*. 1997-1999. Semarnap. México, 1998-2000.

En el litoral que comprende el Golfo de México y el mar Caribe, el rendimiento pesquero del atún muestra una tendencia decreciente a partir de 1999, con un rendimiento menor al 100% desde 2008 que persiste hasta el año 2014 (83%; Figura 6.34b; IB 8-4). En la misma forma, la pesquería de escama ha permanecido con valores menores al 100% desde 1999. Por su parte, la pesquería de camarón ha mostrado oscilaciones importantes en el periodo, sin embargo, desde 2013 muestra una importante recuperación.



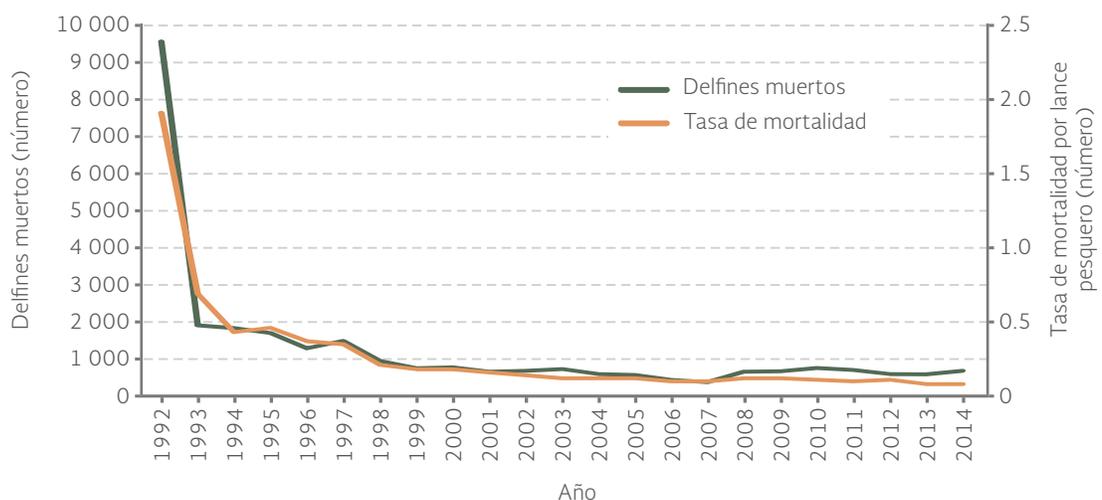
El aprovechamiento pesquero puede tener impactos no sólo en las especies objetivo, sino también sobre otras especies asociadas a ellas o que se encuentran presentes en los ecosistemas en los que se realizan las capturas. Este efecto, denominado “captura incidental”, se deriva básicamente de la falta de selectividad de las artes pesqueras, lo que produce que organismos de especies sin interés comercial (que pueden ser mamíferos, peces, reptiles e invertebrados) sean capturados y mueran sin ser aprovechados, afectando con ello sus poblaciones silvestres.

Uno de los casos más graves de captura incidental es el de la mortalidad de delfines asociada a la pesquería del atún. En México desde 1991 esta pesquería ha estado sujeta a supervisión, con el objeto de asegurar la reducción de la captura incidental de estos mamíferos (Conapesca, 2004; Conapesca, 2011). Para ello se instrumentaron dos programas de monitoreo que han reducido significativamente su mortalidad: mientras que en 1992 murieron 9 562 animales, en 2014 esta cifra bajó a 680 (Figura 6.35; Cuadro D2_PESCA04_02; IB 6.4.1-6), de tal forma que la tasa de mortalidad disminuyó de 1.91 a 0.08 delfines muertos por lance pesquero en ese período.



En México, la pesca incidental también era una de las principales causas de mortalidad entre las tortugas marinas. Las pesquerías que producían mayor impacto negativo eran las de camarón, la de tiburón y, en menor medida, la pesca de atún con redes de enmalle en el país y palangre en el Golfo de México (Márquez-Millán et al., 2014). Para atender esta problemática el gobierno federal - a través de diferentes instituciones como la Semarnat, Profepa, Conabio, Sagarpa, Conapesca y otras - ha puesto en marcha programas cuyo objetivo es la protección, conservación y recuperación

Figura 6.35 | Muerte incidental de delfines por la pesquería del atún en México, 1992 - 2014



Fuente: Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Sagarpa, Conapesca. México. Mayo de 2015.

de las poblaciones de las tortugas marinas. En este sentido, de forma histórica, en el marco de los programas binacionales Mexus-Golfo y Mexus-Pacífico, el personal del Programa Nacional de Investigación en Tortugas Marinas participó desde 1977 hasta 2001 en reuniones para establecer y regular el uso de los dispositivos excluidores de tortugas (DET)³⁶ en las redes camaroneras, así como en otros aspectos de la captura incidental de tortugas marinas. Así mismo, se participó en la consulta técnica sobre la problemática de la captura del camarón y su impacto sobre las poblaciones de tortugas marinas, realizada en Panamá en 1991 y auspiciada por la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA).

A partir del 1 de abril de 1993 se decretó el uso de los DET en la costa atlántica mexicana (DOF, 1993) y desde el primero de abril de 1996 en el Pacífico (DOF, 1996). Para adaptar estos artefactos a las necesidades de los pescadores mexicanos, se realizaron seminarios y talleres en los que participaron la Semarnat y el Instituto Nacional de Pesca. En años recientes se organizó un programa de observadores a bordo de algunas embarcaciones para evaluar el uso de estos instrumentos, así como sistemas de rastreo satelital para determinar las áreas de pesca. En 2010 se pretendía cubrir 50% de los viajes con 60 observadores (Márquez-Millán *et al.*, 2014).

Investigadores del Instituto Nacional de Pesca han experimentado también con diferentes tipos de anzuelos y carnadas para reducir la captura incidental de tortugas; algunos resultados han mostrado que los anzuelos circulares permiten liberar a las tortugas con daños mínimos (a diferencia de los rectos) debido a que no se enganchan en la garganta de los animales (Santana-Hernández y Valdez 2004). Desde el año 2000 se ha realizado talleres auspiciados por la Conapesca, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (siglas en inglés: NMFS) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (siglas en inglés: NOAA) de los Estados Unidos y la Semarnat para fomentar el uso de anzuelos circulares en las flotas palangreras³⁷ de tiburón y otros peces pelágicos mayores.

De acuerdo al Informe de Actividades de Profepa (2015) y en relación a los DET, en los meses de enero a abril de 2015 se certificaron³⁸ 17 embarcaciones que corresponden a la temporada de pesca de camarón 2014-2015. Para la temporada de pesca 2015-2016, la cual inició el 15 de agosto de 2015 en el Golfo de México y el 9 de septiembre en el Océano Pacífico, se habían certificado 1 148 embarcaciones camaroneras.

No obstante los esfuerzos del gobierno federal y de la sociedad civil para conservar y proteger a las tortugas marinas, algunos estudios muestran que la pesca a pequeña escala³⁹ hoy en día es una de las principales causas de mortalidad incidental de tortugas marinas en México (Peckham *et al.*, 2007) y en otras partes del mundo (Wallace *et al.*, 2013).

³⁶ Los DET son aditamentos que se incluyen en las redes de arrastre de camarón de la flota mexicana mayor, su propósito es que cualquier ejemplar de tortuga marina que pudiese entrar en alguna de las redes tenga la posibilidad de liberarse y no morir por ahogamiento. La construcción y uso de los DET esta descrita en la NOM-061-PESC-2006; corresponde a Profepa su verificación y certificación.

³⁷ Esta técnica es utilizada para capturar peces pelágicos mayores (tiburones, atunes y picudos, entre otros) y es común que algunas tortugas de talla pequeña o en estado juvenil (se ha observado en especies como *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas*) se enganchen en los anzuelos y se ahoguen, o queden tan lastimadas que la probabilidad de que sobrevivan es mínima (Santana-Hernández y Valdez, 2004).

³⁸ La certificación consiste en la verificación del cumplimiento de las especificaciones descritas en la NOM-061-PESC-2006 en todas las embarcaciones camaroneras y la expedición de un certificado por embarcación que haya cumplido con la legislación vigente.

³⁹ La pesca a pequeña escala incluye la pesca artesanal, tradicional y de subsistencia. Este tipo de pesca ocurre en aguas de la costa, principalmente en países en vías de desarrollo. No se tiene un registro exacto de la cantidad de embarcaciones o de la captura por operación. Hasta el año 2000 se tenía un estimado de que alrededor del 99% de los pescadores del mundo (aproximadamente 51 millones) practicaban este tipo de pesca (ver Peckham *et al.*, 2007).

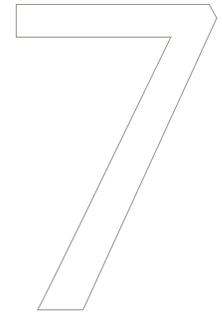
- Barba, H.L.E. *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Santiago de Cali, Colombia. 2002.
- Cofepris, Secretaría de Salud. Normas oficiales mexicanas, agua. www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/NormasPorTema/Agua.aspx. Cofepris. México. 2015.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 1998*. Conagua, Semarnat. México. 1998-2011.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2011*. Conagua, Semarnat. México. 2011a.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2011*. Conagua, Semarnat. México. 2011b.
- Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México. Edición 2012*. Conagua, Semarnat. México. 2012.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2012-2013*. Conagua, Semarnat. México. 2012-2013.
- Conagua, Semarnat. *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón*. Conagua, Semarnat. México. 2013.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2014*. Conagua, Semarnat. México. 2014a.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2014*. Conagua, Semarnat. México. 2014b.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015a.
- Conagua, Semarnat, SINA. www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60. Conagua, Semarnat, SINA. México. 2015b.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año Agrícola 2013-2014*. Conagua, Semarnat. México. 2015c.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015d.
- Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015e.
- Conapesca. *Programa de Ordenamiento Pesquero del Atún Aleta Amarilla en el Pacífico Mexicano*. Sagarpa. Conapesca. México. 2011.
- Conapesca. Sagarpa. *La pesca y acuicultura en cifras 2013*. Conapesca. México. 2014.
- Conapesca. Sagarpa. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*. Mazatlán. Conapesca. Sagarpa. México. 2004.
- Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE), Conapesca, Sagarpa. México. Mayo de 2015.
- DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos*. DOF. México. 1993 (31 de diciembre).
- DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1996, Por la que se establece el uso obligatorio de dispositivos excluidores de tortugas marinas en redes de arrastre durante las operaciones de pesca del camarón en el Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California*. DOF. México. 1996 (28 de agosto).
- DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento*. DOF. México. 2007a (14 de enero).
- DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-061-PESC-2006, Especificaciones técnicas de los excluidores de tortugas marinas utilizados por la flota de arrastre camaronera en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos*. DOF. México. 2007b (22 de enero).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación*. DOF. México. 2010 (diciembre de 2010).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación*. DOF. México. 2012 (24 de agosto).
- Duffy, J.E. *El futuro de los recursos pesqueros marinos*. Actionbioscience.org. 2010. Disponible en: www.actionbioscience.org/esp/ambiente/duffy.html. Fecha de consulta: noviembre de 2015.

- EEA. *Europe's Environment: the Third Assessment*. Copenhagen. 2003.
- FAO. *El estado mundial de la pesca y acuicultura 2014*. ONU Roma. 2014. Disponible en: www.fao.org/3/a-i3720s.pdf. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008*. FAO. Roma. 2009.
- FAO. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. ONU. Roma. 2012. Disponible en: www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- FAO. *Fish stock assessment manual*. FAO. Roma. 2003. Disponible en: www.fao.org/3/a-x8498e.pdf.
- FAO. *Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable no 8*. FAO. Roma. 2000.
- FAO. *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. FAO. España. 1971. Disponible en: www.fao.org/docrep/x5685s/x5685s00.htm.
- FAO-Aquastat. Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. 2015. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm. Fecha de consulta: febrero de 2016.
- Fischer, J., J. Jorgensen, H. Josupeit, D. Kalikoski y C.M. Lucas (Eds.). *Fischer's Knowledge and The Ecosystem Approach to Fisheries. Applications, experiences and lessons in Latin America*. FAO. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 591. Roma. 2015.
- FNUAP. *El estado de la población mundial 2001*. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente. FNUAP. 2001.
- Galindo, I. *Dinámica de población y desarrollo sustentable*. En: Toledo, G. y M. Leal (Eds.). *Destrucción del hábitat*. UNAM-Programa Universitario del Medio Ambiente. México. 1998.
- Godo, 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.
- Gómez S., L.R. Páez y A. Flores-Díaz. *Comportamiento de los sólidos en suspensión y sedimentales en cuerpos de agua: búsqueda de métodos aplicables al monitoreo comunitario*. En: *Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. UNAM, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental I. México. 2013.
- Groombridge, B. y M. D. Jenkins. *World Atlas of Biodiversity*. UNEP-WCMC. University of California Press. USA. 2002.
- ICOLD. Comité Mexicano de Grandes Presas. 2015. www.icold-cigb.org/GB/ICOLD/icold.asp. Fecha de consulta noviembre 2015.
- IMTA, Conagua, Semarnat. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de planta potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. IMTA, Conagua, Semarnat. México. 2007.
- INEGI. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie V (2011), escala 1:250 000*. INEGI. México. 2013.
- INEGI. PIB y Cuentas Nacionales. PIB trimestral Tabulados. INEGI. México. 2015. Disponible en: www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabdirecto.aspx?c=33704. Fecha de consulta: octubre de 2015.
- INEGI. *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 Estados Unidos Mexicanos*. INEGI. México. 2015a.
- INEGI. Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015. INEGI. México. 2015b. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/. Fecha de consulta: enero de 2016.
- INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. INEGI. México. 2015c. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibt/. Fecha de consulta: julio de 2015.
- Jiménez, C.B., J.C. Durán, J.M. Méndez y C. Calidad. En: Jiménez C., M.L. Torregrosa y L. Aboites (Eds.). *El Agua en México: cauces y encauces*. AMC, Conagua. México. 2010.
- Larrea-Murrell, J.A, M.M. Rojas-Badía, B. Romeu-Álvarez, N.M. Rojas-Hernández y M. Heydrich-Pérez. *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura*. *CENIC Ciencias Biológicas* 44(3): 24-34. 2013.
- Laureano-Nieves, K. *La calidad ambiental en las playas de Manzanillo, Colima*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. 2005.

- Márquez-Millán, R., M. del C. Jiménez-Quiroz, C. Peñaflores-Salazar y J. Díaz-Flores. Programa Nacional de Investigación de Tortugas Marinas. INP-Conapesca (Eds.). En: Márquez-Millán, R. y M. Garduño-Dionate. Tortugas Marinas. INP. México. 2014.
- OMS. Programas y proyectos. Agua, saneamiento y salud. Disponible en: www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/. Fecha de consulta: febrero de 2016.
- Pauly, D., R. Froese y V. Christensen. How pervasive is 'Fishing down marine food webs': response to Caddy *et al.* *Science* 282:1383. 1998.
- Peckham, S.H, D.M. Diaz, A. Walli, G. Ruiz, L.B. Crowder y W.J. Nichols. Small-Scale Fisheries Bycatch Jeopardizes Endangered Pacific Loggerhead Turtles. *PLoS ONE* 2(10). 2007. e1041. doi:10.1371/journal.pone.0001041
- Peters, E.; J. Campoy F. y K. Flessa (Eds.). *Ciénega de Santa Clara. Comprehensive Monitoring Program*. Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología, México. 2009.
- PNUMA, GEMS. *Program Water Quality Outlook. PNUMA Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Programa del Agua, Instituto Nacional de Investigación sobre el Agua*. Canadá. 2007.
- Puscaddu, A., S. Bianchelli, J. Martín, P. Puig, A. Palanques, P. Masqué y R. Danovaro. Chronic and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(24): 8861-8886. 2014.
- Santana-Hernández, H y J. Valdéz. Efectos sobre la selectividad y eficiencia de los palangres de deriva, obtenidos mediante la experimentación con tres tipos de anzuelo y dos tipos de carnada. Informe técnico (Documento interno). Instituto Nacional de la Pesca. México. 2004.
- SE. NMX-AA-030/1-SCFI-2012. *Análisis de agua – Medición de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba - Parte 1 – Método de reflujo abierto - (cancela a la NMX-AA-030-SCF-2001)*. México. 2012.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México Edición 2012*. Semarnat. México. 2013.
- Shah, T. 2005. Groundwater and Human Development: Challenges and Opportunities in Livelihoods and Environment. *Water, Science & Technology*, 51(8): 27-37.
- UNDP, UNEP, WB y WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. 2000.
- UNICEF, WHO. *Progress on sanitation and drinking water. 2015 update and MDG assessment*. USA. 2015.
- Vázquez, L.C. *Administración pesquera y desarrollo sustentable en México. Comercio Exterior*. México. 1998.
- Wallace, B.P., C.Y. Kot, A.D. DiMatteo, T. Lee, L.B. Crowder y R.L. Lewison. Impacts of fisheries bycatch on marine turtle populations worldwide: toward conservation and research priorities. *Ecosphere* 4(3): 1-49. 2013. <http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00388.1>.
- Wong, I. y G. Barrera. Niveles de contaminación microbiológica en el Golfo de México. En: Botello, A.V., J.L. Rojas, J. Benítez y D. Zárate (Eds.). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5*. Universidad Autónoma de Campeche. México. 1996.
- WWAP. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. 2015.



Residuos



La producción y el consumo de bienes y servicios generan inevitablemente algún tipo de residuos. Éstos pueden ser sólidos (ya sea de naturaleza orgánica o inorgánica), líquidos (que incluyen a los que se vierten disueltos como parte de las aguas residuales) y los que escapan en forma de gases. Todos ellos, en función de su composición, tasa de generación y manejo pueden tener efectos muy diversos en la población y el ambiente. En algunos casos, sus efectos pueden ser graves, sobre todo cuando involucran compuestos tóxicos que se manejan de manera inadecuada o se vierten de manera accidental (ver el recuadro **Consecuencias ambientales y en la salud de la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos**).

La importancia del tema de la generación y manejo de los residuos no involucra sólo los efectos ambientales y de salud pública derivados de su generación y manejo. También está implícito, desde otro ángulo, el uso de los recursos naturales. La gestión integral de los residuos, además de procurar reducir su generación y conseguir su adecuada disposición final, también puede dar como resultado colateral la reducción, tanto de la extracción de recursos (evitando su agotamiento), como de energía y agua que se utilizan para producirlos, así como la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. Todo ello se acompaña de importantes beneficios económicos, sociales y ambientales.

Los residuos se definen formalmente como los materiales o productos que se desechan ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contienen en recipientes o depósitos, y que necesitan estar sujetos a tratamiento o disposición final con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003). Se clasifican de acuerdo a sus características y orígenes en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los residuos sólidos urbanos¹ son aquéllos que se producen en las casas habitación como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, residuos de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques, o residuos

¹ 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).

Recuadro | Consecuencias ambientales y en la salud de la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos

El incremento de la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) está directamente relacionado con el aumento poblacional y el estilo de vida actual, los cuales definen, por lo general, un mayor consumo de bienes y servicios (Giusti, 2009). Esta tendencia hace necesario prestar gran atención a los temas relacionados con la recolección, manejo y disposición final de los residuos. En este sentido, uno de los temas más relevantes es el que tiene que ver con su adecuado confinamiento, con la finalidad de evitar que los sitios en los que se depositan los RSU se conviertan en focos de contaminación o infección, y se asegure que no serán dispersados (Semarnat, 2006; Regadío, 2015). Entre los factores de riesgo que deben considerarse se encuentran:

Generación de biogases

Los sitios de confinamiento de RSU son importantes generadores de biogases, algunos de los cuales también son gases de efecto invernadero (GEI). Los que se producen en mayor proporción son el metano (CH_4) y el bióxido de carbono (CO_2), mientras que los que se producen en cantidades muy pequeñas son el nitrógeno (N_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2), y en cantidades traza, monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH_3), hidrocarburos aromáticos y cíclicos y un grupo de gases conocidos como compuestos orgánicos volátiles (COV). Todos ellos generan problemas ambientales de diversa índole, que van desde olores desagradables hasta la contribución al aumento de la temperatura global. Además, varios de esos gases (por ejemplo, el NH_4 , el CO y el CO_2) tienen un efecto directo nocivo sobre la salud humana (Kiss y Encarnación, 2006).

Liberación de sustancias agotadoras de ozono (SAO)

Las sustancias agotadoras de ozono (SAO) son compuestos que afectan la capa de ozono y contribuyen a su destrucción; entre ellos se encuentran los clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y los halones, por mencionar los más importantes. Los SAO se utilizan para fabricar gases refrigerantes utilizados en los refrigeradores y aires acondicionados, por ejemplo, pero también se utilizan en espumantes y aerosoles. Cuando los envases vacíos o los aparatos electrodomésticos que los contienen son descartados de manera inadecuada, los SAO que contienen se liberan a la atmósfera y afectan a la capa de ozono (Molina y Rowland, 1974; UNEP, 2012).

Contaminación de los suelos y de los cuerpos de agua

Muchos RSU generan líquidos durante su proceso de descomposición, los cuales se conocen con el nombre de lixiviados. Su composición puede ser muy diversa, y está directamente relacionada con la naturaleza de los residuos de los que provienen; de esta manera, los desechos orgánicos producirán lixiviados de características muy diferentes a aquellos que se generan por la fuga de los materiales con que se elaboran las pilas, por ejemplo. Ya sea que se trate de lixiviados de origen orgánico o no, su composición y cantidad suele representar un

riesgo de contaminación para el suelo y los cuerpos de agua adyacentes, tanto superficiales como subterráneos, y pueden provocar problemas de toxicidad, eutrofización y acidificación, por lo que evitar su flujo superficial e infiltración es de suma importancia (Allen, 2001; Torres *et al.*, 2011).

Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades

Los RSU acumulados actúan como fuente de recursos y de refugio para diversos grupos de organismos, los cuales pueden llegar a ser nocivos para el ser humano al irrumpir en las zonas habitacionales y ser fuente directa de infecciones o al ser vectores de los organismos que las provocan. Los insectos, tales como moscas, cucarachas, pulgas y mosquitos pueden ser vectores de enfermedades como diarrea, tifoidea, paludismo, giardiasis y dengue. Las ratas pueden diseminar peste, tifus y leptospirosis y las aves toxoplasmosis, por lo que el tratamiento de los residuos debe considerar la reducción de este tipo de organismos (Jaramillo, 2002; Marateo, 2013; Hernández-Rejón, 2014).

Referencias:

Allen, A. Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology* 60: 3-19. 2001.

Giusti, L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management* 29: 2227-2239. 2009.

Hernández-Rejón, E.M. Sustentabilidad y calidad de vida urbana. *Revista de Comunicación de la SEECI* 159-169. 2014.

Hernández Niño, J., A. Hernández Molano y V. Tello Castro. Seroprevalencia de leptospirosis en perros callejeros y personas de alto riesgo ocupacional en la ciudad de Tunja. s/a.

Jaramillo, J. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Colombia. CEPIS, Organización Panamericana de la Salud, OMS. 2002.

Kiss, K.G. y G. Encarnación. Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica* 79: 39-51. 2006.

Marateo, G., P. Grilli, N. Bouzas, R. Jensen, V. Ferretti, M. Juárez y G. Soave. Uso de hábitat por aves en rellenos sanitarios del noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ecología Austral* 23: 2002-208. 2013.

Molina, M., F.S. Rowland. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction ozone. *Nature* 249: 810-812. 1974.

Regadío, M., A.I. Ruiz, M. Rodríguez-Rastrero, J. Cuevas. A containment and attenuating layers: An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management* 46: 408-419. 2015.

Semarnat. *Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. Semarnat. México. 2006.

Torres Corral, S., B. Barrientos Becerra, M.C. Hernández Berriel, *et al.* Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, estado de México. En: Ojeda Benítez, S., S.E. Cruz-Sotelo, P. Taboada González, *et al.* (Coord.). *Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía*. Memorias 4o. Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 4o. Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos. México. 2011.

UNEP. *Protecting our atmosphere for generations to come. 25 years of the Montreal Protocol*. UNEP. 2012.

orgánicos); los que provienen también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias y los resultantes de lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF, 2003).

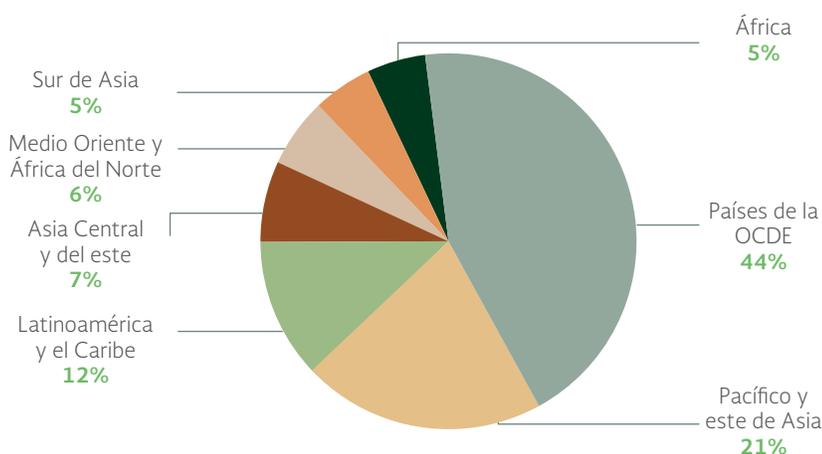
GENERACIÓN

En 2012 la producción mundial de residuos sólidos urbanos se calculó en alrededor de 1 300 millones de toneladas diarias, y se estima que podría crecer hasta los 2 200 millones en el año 2025 (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012). La generación global de RSU muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinada, en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana. En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE; Figura 7.1). En el caso de Latinoamérica y el Caribe, contribuyeron con el 12% del total, detrás de los países que integran las regiones del Pacífico y del este de Asia.

En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de t, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (10.24 millones de t más generadas en ese período; Figura 7.2). Si se expresa por habitante, alcanzó 1.2 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año.

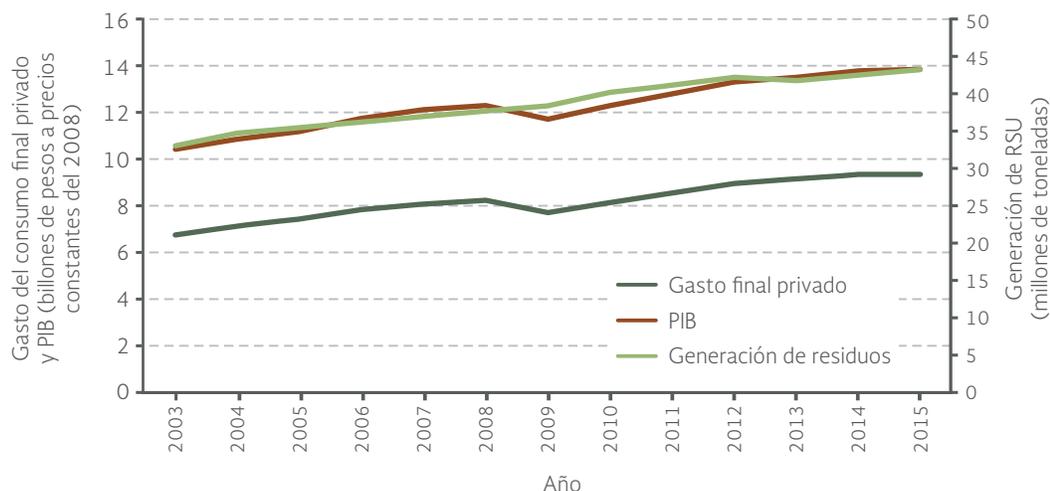
El aumento en la generación de residuos sólidos urbanos puede explicarse como resultado de múltiples factores, reconociéndose entre los más importantes el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo de la población,

Figura 7.1 | Generación global de residuos por región, 2010



Fuente: Hoorweg, D. y P. Bhada-Tata. Waste generation. In: *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series.* World Bank. Washington, D.C. 2012. Disponible en: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

Figura 7.2 | Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado en México, 2003 - 2015



Fuentes:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.
 INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Banco de Información Económica*. INEGI. México. 2015. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/. Fecha de consulta: diciembre de 2015.
 Presidencia de la República. *Tercer Informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico*. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. México. 2015.

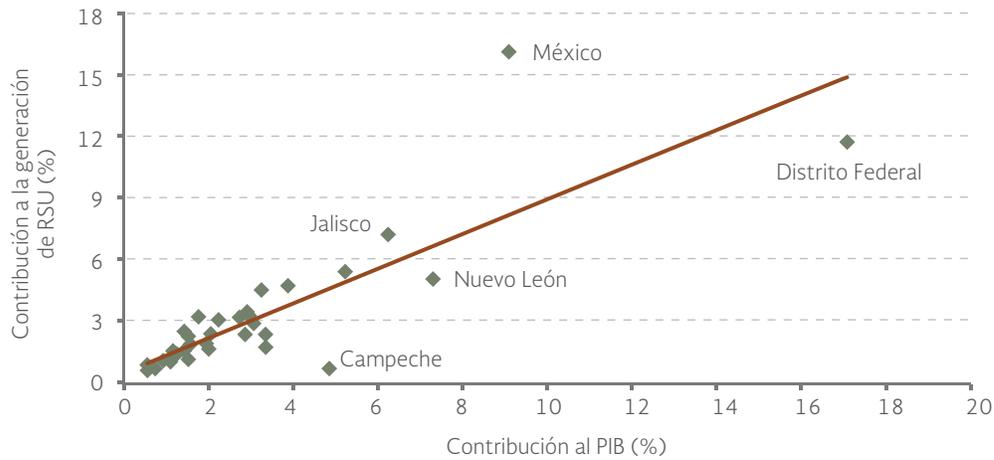
entre otras. En México, como en el caso de muchos otros países, el crecimiento de la generación marcha a la par del gasto del consumo final privado² y el PIB nacional (Figura 7.2). Puesto en términos sencillos, esta relación que se ha observado también en otras regiones del mundo, se traduce en que a mayores niveles de consumo se produce un mayor volumen de residuos. En el caso mexicano, entre 2003 y 2015, el producto interno bruto (PIB) y la generación de residuos crecieron prácticamente a la misma tasa (alrededor de 2.77% anual).

Esta misma relación puede encontrarse a nivel de entidad federativa: aquellas que contribuyeron mayormente al PIB nacional también lo hicieron al volumen nacional de RSU (Figura 7.3). No obstante, en algunos casos la contribución a la producción total nacional de RSU de algunas entidades se desvía notablemente de la tendencia general, como en el caso del estado de México (que produce más residuos respecto a la tendencia) o Campeche (que produce menos de lo esperado). Esto se explica básicamente por la alta contribución al PIB del estado de México debida a su importante actividad industrial y a su alta población; mientras que en el caso de Campeche, su comportamiento se debe a su intensa actividad petrolera y a su baja población.

Las diferencias en la distribución de la población sobre el territorio provocan que la generación de residuos varíe geográficamente: los mayores volúmenes se producen en las zonas con mayor concentración de población. De acuerdo con la regionalización de la Sedesol, en 2012 la región Centro concentró el 51% de la generación de RSU, le siguió la región Frontera Norte con 16.4%

² El consumo final privado es el valor total de todas las compras en bienes y servicios de consumo, individuales y colectivos, realizados por los hogares residentes, las instituciones sin fines de lucro residentes y el gobierno federal. Incluye los bienes duraderos y bienes y servicios no duraderos, tanto el gasto en el mercado interior, como las compras netas directas en el mercado exterior (INEGI, 2012). ESTA CITA NO ESTÁ AL FINAL

Figura 7.3 | Contribución al PIB y a la generación de RSU por entidad federativa, 2012



Fuentes:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.
 INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Banco de Información Económica. INEGI. México. 2015. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/>. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

y el Distrito Federal con el 11.8% (Mapa 7.1; Cuadro D3_RSM01_01). Dentro de las regiones, entre 1997 y 2012 el patrón de generación ha sido muy heterogéneo: en la región Frontera Norte aumentó 214%, en la zona Centro 53%, en la Sur 49% y en el Distrito Federal aumentó 20%. La única región que mostró una reducción del 25% en ese periodo fue la Norte, al pasar de 6 a 4.5 millones de toneladas de RSU.

Mapa 7.1 | Generación de RSU por región, 2012



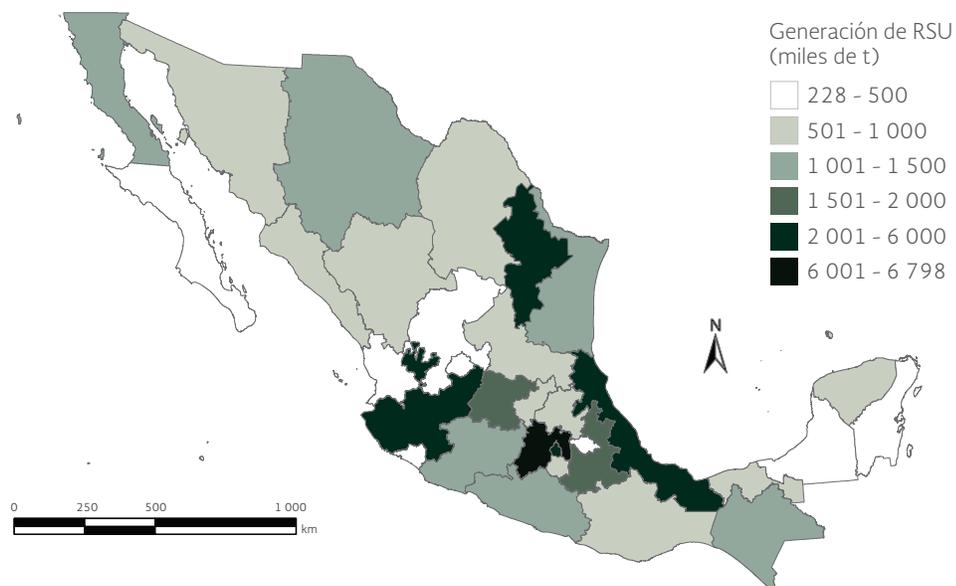
Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2013.

Si se clasifica a las entidades federativas por el volumen de RSU producidos, cinco concentraron el 45.7% en 2012: el estado de México (6.7 millones de t; 16.1% del total nacional), el Distrito Federal (4.9 millones de t; 11.8%), Jalisco (3.1 millones de t; 7.2%), Veracruz (2.3 millones de t; 5.5%) y Nuevo León (2.2 millones de t; 5.1%); mientras que las que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit (347 mil t; 0.82%), Tlaxcala (339 mil t; 0.81%), Campeche (272 mil t; 0.65%), Baja California Sur (259 mil t; 0.62%) y Colima (228 mil t; 0.5%; Mapa 7.2; Cuadro D3_RSM01_04).

La generación de residuos está íntimamente ligada al proceso de urbanización. En general se reconoce que éste se acompaña por un mayor incremento del poder adquisitivo de la población que conlleva a estándares de vida con altos niveles de consumo de bienes y servicios, lo que produce un mayor volumen de residuos. Por el contrario, en las comunidades pequeñas o rurales, los habitantes basan principalmente su consumo en productos menos manufacturados que, por lo general, carecen de materiales que terminan como residuos (como las envolturas, por ejemplo).

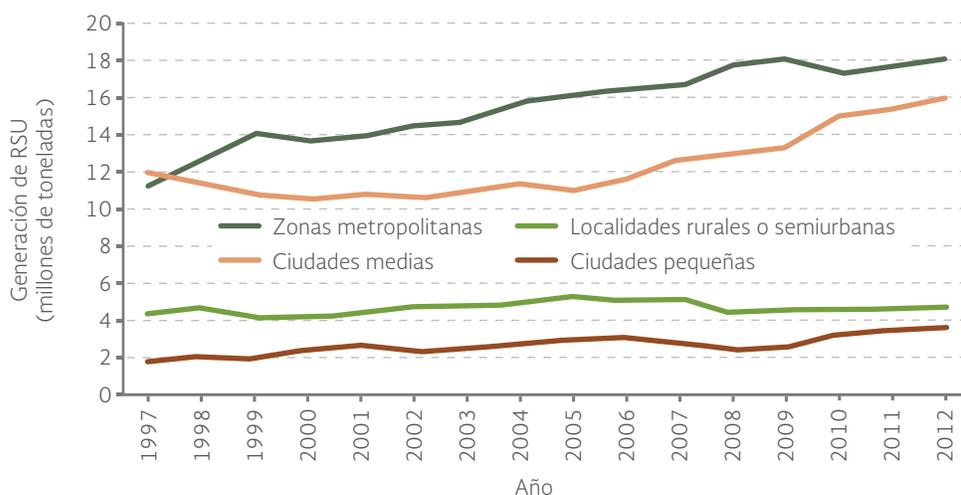
La evolución de la generación de residuos por tipo de localidad entre 1997 y 2012 muestra que las ciudades pequeñas fueron las que, en términos porcentuales, incrementaron mayormente sus volúmenes de generación de residuos (pasaron de 1.9 a más de 3.5 millones de t, es decir, un incremento de 84%), seguidas por las zonas metropolitanas (de 11.2 a 18 millones de t; 61%) y las ciudades medias (de 11.8 a 15.8 millones de t; 34%); las localidades rurales o semiurbanas fueron las que menor crecimiento porcentual registraron, al pasar de 4.4 a 4.7 millones de toneladas (7%; Figura 7.4; Cuadro D3_RSM01_02).

Mapa 7.2 | Generación de RSU por entidad federativa, 2012



Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

Figura 7.4 | Generación de RSU por tipo de localidad¹, 1997 - 2012



Nota:

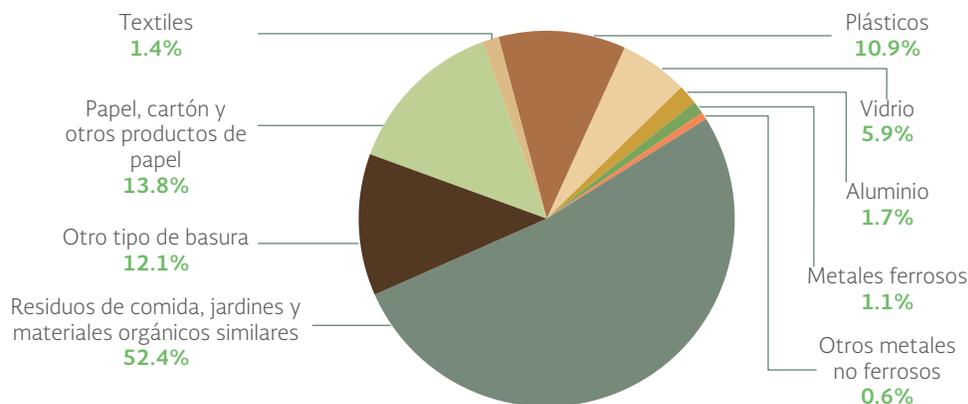
¹ Para la Sedesol, las zonas metropolitanas son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a 1 000 000 de habitantes. Las ciudades medias corresponden a todas aquellas que formaron parte del "Programa 100 ciudades" y las incluidas en los planes estratégicos de los gobiernos 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. 2013.

En general, la predominancia de residuos orgánicos o inorgánicos se asocia a la condición económica de la población: en los países con menores ingresos dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son principalmente inorgánicos, con una cantidad importante de productos manufacturados (Acurio *et al.*, 1997). México está migrando hacia una composición con una menor predominancia de residuos orgánicos: en la década de los años 50, el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que en 2012 esta cifra se redujo a 52.4% (Figura 7.5; Cuadro D3_RSM01_03). Componentes importantes de los residuos que se producen en el país son también el papel y sus derivados (13.8%) y los plásticos (10.9%).

Figura 7.5 | Composición de los RSU en México, 2012



Fuente:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS

Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, el manejo adecuado de los residuos en las etapas que siguen a su generación permite mitigar los impactos negativos sobre el ambiente, la salud y reducir la presión sobre los recursos naturales.

El reuso y el reciclaje de materiales son fundamentales para reducir la presión sobre los ecosistemas y otras fuentes de recursos de las que se extraen. Paralelamente disminuye tanto el uso de energía y de agua necesarios para su extracción y procesamiento, como la necesidad de espacio para disponer finalmente los residuos. Desde el punto de vista económico, un menor volumen de residuos que requieren de disposición final reduce los costos de operación; según estimaciones de la OCDE, el monto destinado al manejo y tratamiento de residuos en los países miembro asciende a cerca de un tercio de los recursos financieros que destina el sector público para el abatimiento y control de la contaminación (OECD, 2014; ver el recuadro **Los RSU en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales** en el **Informe 2012**; Semarnat, 2013).

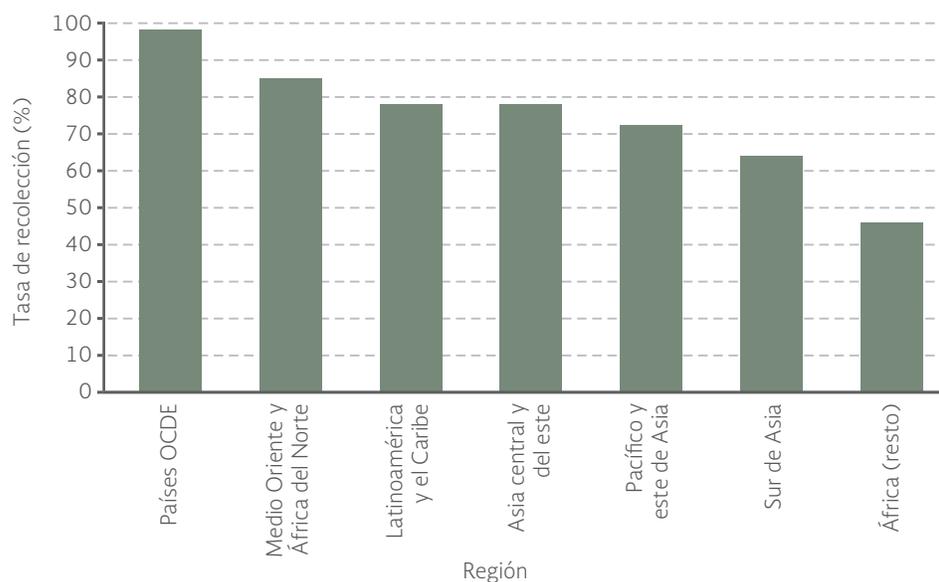
Recolección

La recolección es un servicio público que comprende la colecta de los RSU en el sitio donde se producen (usualmente las casas, las industrias, los comercios o los edificios públicos) y su traslado hasta el sitio donde se tratan o disponen. Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, tiene una relevancia fundamental, además de que los residuos que se colectan (al menos una parte de ellos) pueden ser recuperados o dispuestos adecuadamente. En contraste, aquellos que no se recolectan pueden permanecer en los sitios de generación o diseminarse, ocasionando efectos negativos, tales como: obstruir desagües y cursos de agua (con potenciales riesgos de inundaciones), contaminar los cuerpos de agua y los suelos, deteriorar el paisaje o convertirse en fuente de enfermedades potenciales a la población, entre otros (UN-HABITAT, 2010).

El nivel de recolección de los residuos difiere entre países y regiones. Por lo general, los países de ingresos altos recolectan un porcentaje mayor de los residuos generados (alrededor de 98%) que las economías de bajos ingresos (41%; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). En los países de la OCDE, la colecta de residuos promedia alrededor del 98% de la generación, mientras que en África esta cifra alcanza 46% (Figura 7.6). En el caso de Latinoamérica y el Caribe, la recolección se encuentra alrededor del 78%. En México, en 2012 la recolección ascendía al 93.4% de los residuos generados, esto es, 8.8 unidades porcentuales por arriba de su valor en 1998 (Figura 7.7; **ICV 5.2.3**; **Cuadro D3_RSM01_03**). 

Entre entidades federativas existen diferencias en la capacidad de recolección. En 2012, los seis estados con el mayor volumen de recolección de RSU fueron Aguascalientes (98.9% del volumen generado), Baja California (97.7%), Nuevo León (97.7%), Oaxaca (97.1%), Baja California Sur y Distrito Federal (ambos con 97%). Por el contrario, los estados con los menores valores fueron Colima (82.1%), estado de México (88.0%), Hidalgo (89.3%) y Nayarit (90.0%; Mapa 7.3; **Cuadro D3_RSM01_05**).

Figura 7.6 | Nivel de recolección global de RSU por región, 2012

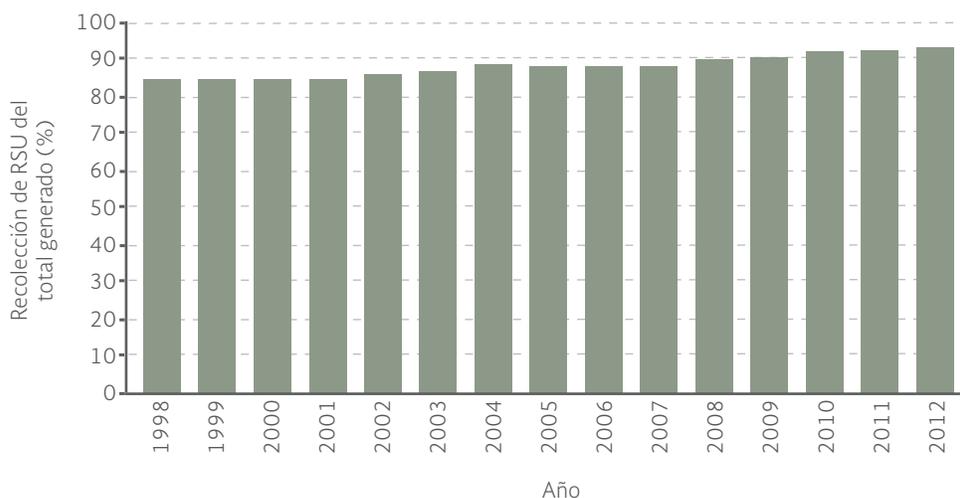


Fuente:

Hoornweg, D. y P. Bhada-Tata. Waste generation. In: *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series.* World Bank. Washington, D.C. 2012. Disponible en: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>. Fecha de consulta: diciembre de 2015.

Frecuentemente la capacidad de recolección difiere entre localidades: usualmente las zonas metropolitanas cuentan con una mayor infraestructura y presupuesto para la gestión de los residuos que las localidades rurales, por lo que su capacidad de recolección es también mayor. En 2012, 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**).

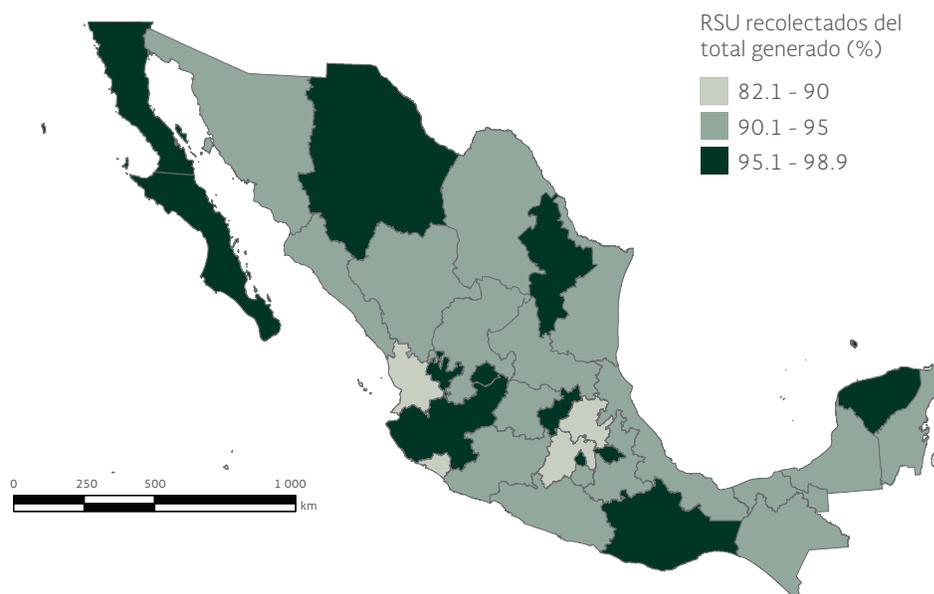
Figura 7.7 | Recolección de RSU a nivel nacional, 1998 - 2012



Fuente:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

Mapa 7.3 | Recolección de RSU por entidad federativa, 2012



Fuente:
Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

A nivel nacional, el 95.6% de los municipios³ cuentan con servicio de recolección, y sólo Oaxaca presenta un número importante de entidades sin este servicio: 87 municipios; lo que representa el 3.5% de los municipios a nivel nacional y el 15% de los municipios de ese estado (CNGMD; INEGI, 2013).

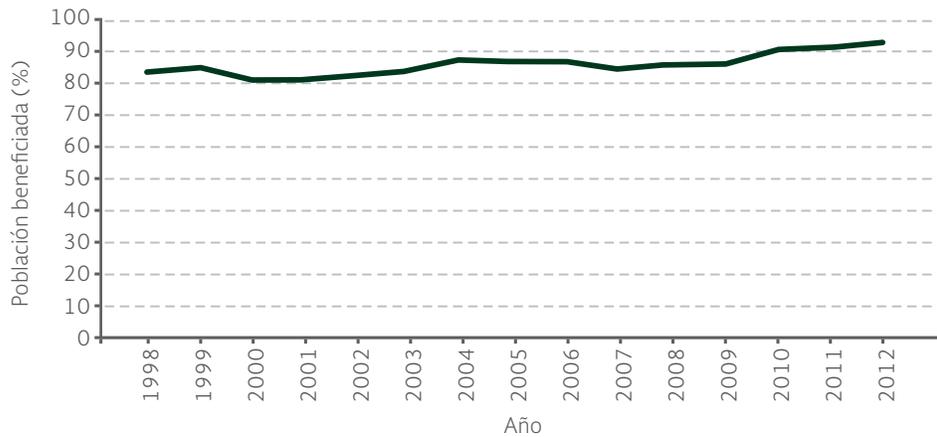
En cuanto a la población beneficiada con este servicio, se incrementó de 83.4 a 92.7% entre 1998 y el año 2012 (Figura 7.8; **ICV CSE 5.2.3**; **Cuadro D3_RSM01_05**). En este último año los estados con mayor porcentaje de población con acceso a la recolección de residuos fueron Aguascalientes (99.1% de la población), Baja California Sur (98.7%), Querétaro (97.8), Nuevo León (97.4) y Oaxaca (97.3%). Los estados con menor población con acceso a este servicio fueron Nayarit (89.4%), estado de México (85.7%) y Colima (82.3%; Mapa 7.4).

La separación de los residuos sólidos recolectados⁴ y su transporte hacia las zonas de disposición final puede tener múltiples ventajas para su manejo. Cuando los residuos se separan previamente a su recolección es posible aumentar la cantidad y la calidad de los materiales reciclables; en contraste, los que se recuperan a partir de residuos no separados tienden por lo general a estar contaminados, lo que reduce su valor en el mercado y su posible reciclaje.

³ En estas entidades, los siguientes municipios no proporcionaron información: Chamula, Chiapas; Tezoyuca y Tultepec, México; Boca del Río y Yanga, Veracruz.

⁴ La recolección selectiva se refiere a la recolección de los residuos sólidos de manera separada en orgánicos, inorgánicos y de manejo especial (GDF, 2010).

Figura 7.8 | Población con acceso a recolección de RSU a nivel nacional, 1998 - 2012

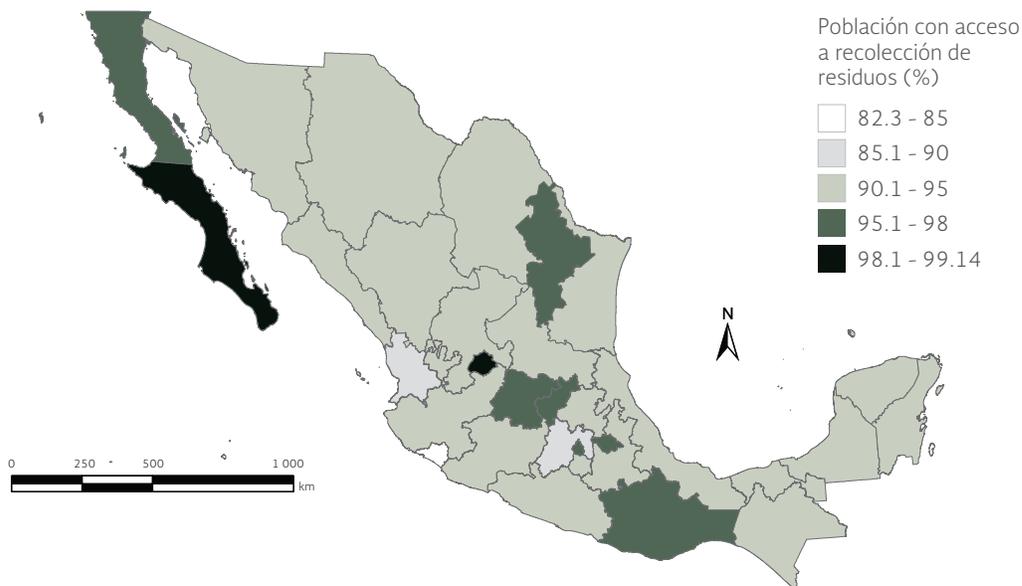


Fuentes:

Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. 2012.
 Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

De acuerdo a la información del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD; INEGI, 2013), hasta 2010 sólo 11% de la recolección de desechos en el país era selectiva; las entidades que colectaron de esta forma el mayor volumen de sus residuos fueron Querétaro (57% del volumen producido en la entidad), Jalisco (40%) y Nuevo León (30%). En ese mismo año, 12 entidades federativas no realizaban recolección de este tipo.

Mapa 7.4 | Población con acceso a recolección de RSU por entidad federativa, 2012



Fuentes:

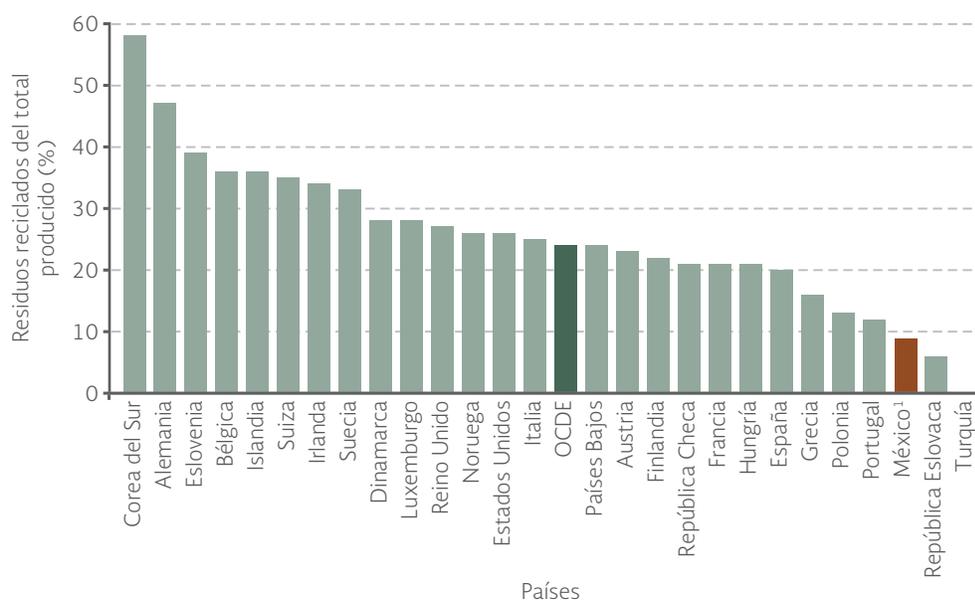
Conapo. *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. Conapo. México. 2012.
 Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

El reciclaje pretende convertir algunos de los materiales que componen los residuos (entre los más importantes están el papel y cartón, el vidrio, algunos metales y el PET) en materiales reusables en los procesos productivos. Desde el punto de vista de la gestión de los residuos, el reciclaje tiene la ventaja de reducir el volumen de materiales que requieren ser recolectados, transportados y dispuestos en sitios adecuados⁵.

La revalorización de los residuos también disminuye el consumo de materias primas, electricidad y agua, entre otros insumos, que serían necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales. Por ejemplo, obtener aluminio a partir de aluminio reciclado requiere 95% menos energía que producirlo de materiales puros (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

El volumen de materiales reciclados en México es reducido: en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% del volumen de los residuos generados (INECC, 2012). Esta cifra resulta baja cuando se compara con lo reportado para los países que forman parte de la OCDE, que en promedio reciclaron en ese mismo año alrededor del 24% de sus residuos, con algunos países con porcentajes cercanos o mayores al 50%, como en el caso de Corea del Sur y Alemania (58 y 47%, respectivamente; OCDE 2016; Figura 7.9).

Figura 7.9 | Reciclaje de RSU en países de la OCDE, 2012



Nota:

¹ Los datos para México están tomados del *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos* (INECC, 2012).

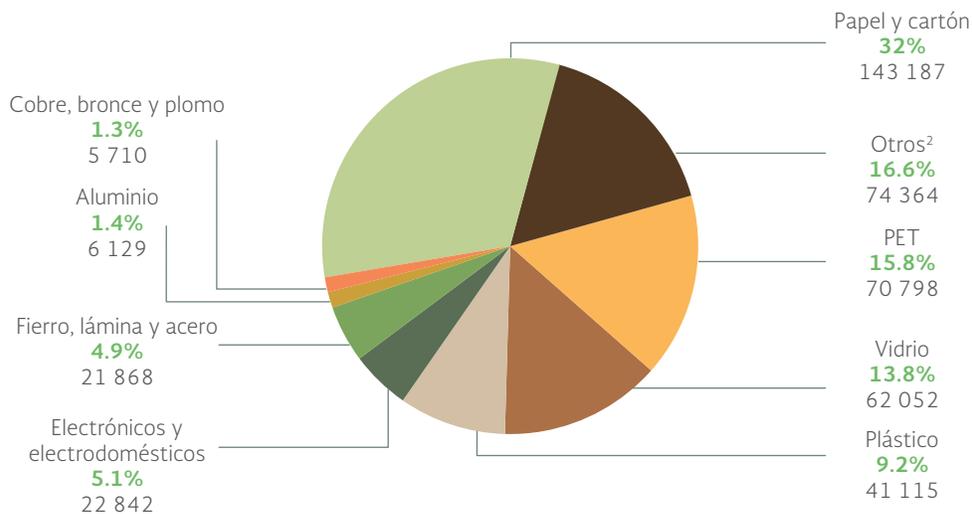
Fuentes:

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. INECC, Semarnat. México. 2012.

OECD. *Environment*. Dataset: Municipal Waste, Generation and Treatment. OECD. 2016. Disponible en: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW>. Fecha de consulta: enero de 2016.

⁵ En muchos países en desarrollo, incluido México, una proporción importante del volumen de materiales susceptibles de reciclaje se separa previamente a su recolección.

Figura 7.10 | Composición de los RSU recolectados valorizables¹, 2012



Notas:

¹ La cantidad de residuos se expresa en kg/día.

² Otros: incluye pañales desechables, residuos finos, etc.

Fuentes:

INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 (CNGMD), Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. INEGI. México. Agosto 2013.
 INEGI. Medio Ambiente. Asentamientos y Actividades Humanas. Residuos Sólidos Urbanos. INEGI. México. Disponible en: www3.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21385. Fecha de consulta: septiembre 2015.

Según el CNGMD (INEGI, 2013), del volumen total reciclado en el país en 2012, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (32%), seguido por el PET (15.8%), vidrio (13.8%), plásticos (9.2%), metales (7.6%) y los electrónicos y electrodomésticos (5.1%; Figura 7.10; **IB 4-5; Cuadro D3_RSM01_15**). Si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2012 fueron los metales (39%), el vidrio (23.5%) y el papel (14.7%). De los plásticos y textiles desechados sólo se recicla alrededor del 0.5% de cada uno de ellos.

Disposición final

La disposición final de los residuos tiene que ver con su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su diseminación y las posibles afectaciones a los ecosistemas y a la salud de la población. La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 define 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.

En México, la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos son los rellenos sanitarios. De acuerdo a lo establecido en la LGPGIR, este tipo de infraestructura debe incorporar obras de ingeniería particulares y métodos que permitan el control de la fuga de lixiviados y el adecuado manejo de los biogases generados. En 2013, a nivel nacional la disposición final en rellenos sanitarios y sitios controlados alcanzó poco más del 74.5% del

volumen de RSU generado, lo que representa un incremento de alrededor del 82.7% con respecto al año 1997, en el cual se disponía cerca del 40.7% de los residuos. Mientras tanto, de los residuos generados, el 21% se depositó en sitios no controlados y el 5% restante fue reciclado (Figura 7.11).

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 2012 el 90% de las zonas metropolitanas disponían sus residuos en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que tan solo el 4.5% en las localidades rurales o semiurbanas lo hacía del mismo modo (Figura 7.12).

En la actualidad todas las entidades, excepto el Distrito Federal, cuentan con rellenos sanitarios para disponer sus residuos. Los residuos del Distrito Federal se disponen en cuatro rellenos sanitarios en el estado de México: La Cañada, Cuautitlán, El Milagro y Tepoztlán; y uno más en el estado de Morelos, en Cuautla. Las entidades que tienen más rellenos sanitarios son el estado de México (28), Jalisco (27), Veracruz y Chihuahua (con 18 cada uno) y Guanajuato (17; Mapa 7.5; Cuadro D3_RSM01_07_D).

En cuanto al volumen dispuesto en los rellenos sanitarios por nivel de entidad federativa, el Distrito Federal, Aguascalientes y Quintana Roo dispusieron la totalidad de sus residuos en rellenos sanitarios en 2012. En contraste, Oaxaca, Tabasco, Hidalgo y Chiapas dispusieron menos del 43% de sus residuos en dichos sitios ese mismo año (Cuadro D3_RSM01_09_D).

Figura 7.11 | Disposición final de los RSU del total generado¹ en México, 1997 - 2013



Nota:

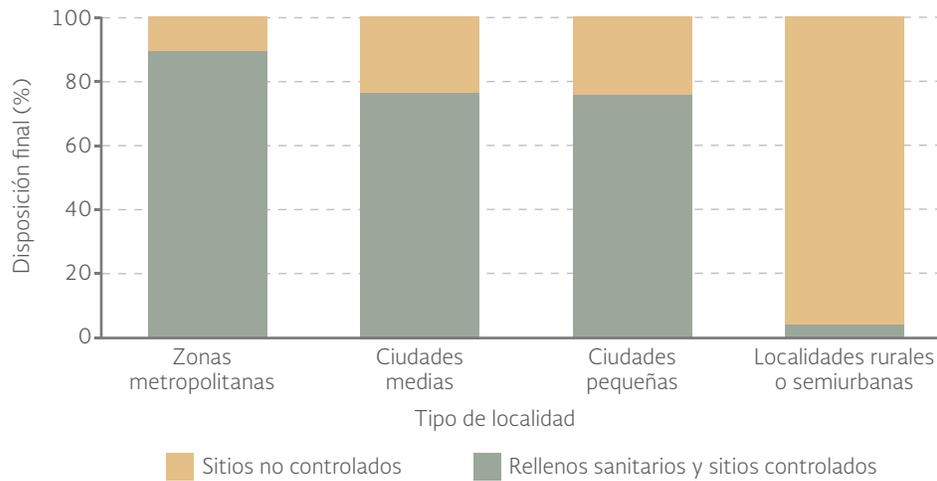
¹ La suma de los porcentajes no alcanza el 100% debido a que una pequeña proporción de los residuos es reciclada antes de ser dispuesta.

Fuentes:

Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México 2013.

INEGI. Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2015. INEGI. México. 2015.

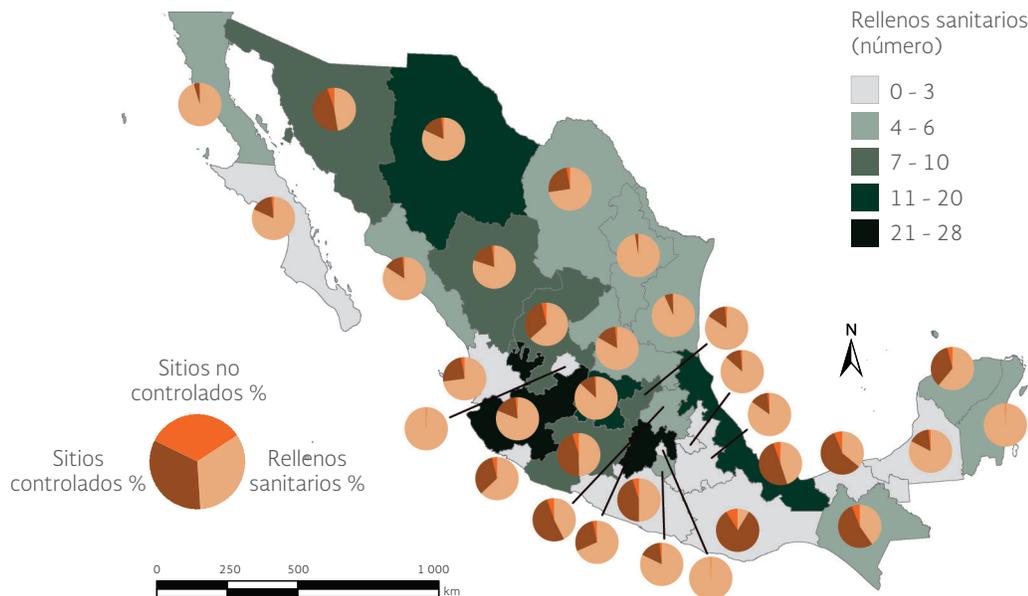
Figura 7.12 Disposición final de los RSU en rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados por tipo de localidad¹ en México, 2012



Nota:
¹ Para la Sedesol, las zonas metropolitanas son las ciudades integradas por más de un municipio con una población mayor a un millón de habitantes. Las ciudades medias son todas aquellas que forman 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 mil habitantes y no incluidas en las denominadas 100 ciudades y, finalmente, las localidades rurales o semiurbanas con una población menor a 15 mil habitantes.

Fuente:
 Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, Sedesol. México. 2013.

Mapa 7.5 Disposición final de RSU en rellenos sanitarios, sitios controlados y no controlados, y número de rellenos sanitarios por entidad federativa¹, 2012



Nota:
¹ El Distrito Federal no cuenta con ningún relleno sanitario en su territorio, y sus residuos se disponen en cuatro sitios en el estado de México: La Cañada, Cuautitlán, El Milagro y Tepoztlán; y uno más en el estado de Morelos, en Cuautla.

Fuente:
 INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013 (CNGMD). Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. INEGI. México. Junio de 2014.

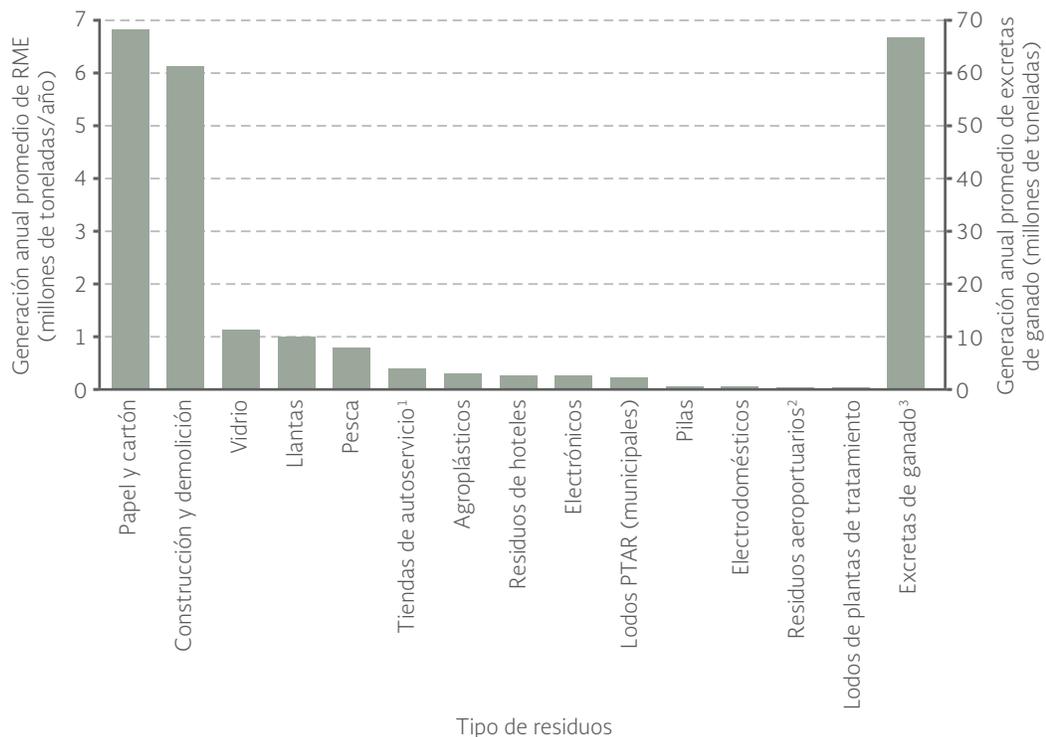
RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL

Los residuos de manejo especial (RME) son los materiales que se generan en los procesos productivos o de servicios y que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o residuos peligrosos (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, LGPGIR; DOF, 2003; INECC, 2012).

La información sobre la generación y manejo de este tipo de residuos es limitada y se restringe a unos cuantos tipos de estos residuos. Los datos más actualizados sobre la generación y manejo de algunos RME en el país fueron publicados en el 2012 como parte del Diagnóstico Básico para la Gestión de los Residuos (INECC, 2012; ver el recuadro [Origen de los residuos de manejo especial](#) en el [Informe 2012](#); Semarnat, 2013).

En la Figura 7.13 se muestra la generación de RME en nuestro país durante el periodo 2006-2012. Entre esas fechas, los volúmenes más altos de RME correspondieron a las excretas de ganado porcino y bovino lechero (66.71 millones de t), seguido por papel y cartón (6.82 millones de t), y en tercer lugar los residuos de la construcción y demolición (6.11 millones de t).

Figura 7.13 | Generación anual promedio de RME en México, 2006 - 2012



Notas:

¹ Los residuos de las tiendas de autoservicio sólo incluyen a Walmart.

² Los residuos aeroportuarios sólo incluyen los producidos en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

³ Las excretas corresponden a ganado porcino y bovino lechero.

Fuente:

INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012*. INECC, Semarnat. México. 2012.

Las categorías con los menores aportes de RME fueron los residuos aeroportuarios (8 040 t, y que corresponden tan sólo al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México), los electrodomésticos (21 660 t), las pilas (33 980 t) y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (232 t; INECC, 2012).

De acuerdo al Diagnóstico, del volumen total de RME generado por los aeropuertos⁶ se dispuso adecuadamente el 67.4%; de igual modo ocurrió con el 32% de los residuos producidos por las tiendas de autoservicio, el 11% de los residuos de papel y cartón, y el 98.5% de los residuos de hoteles (INECC, 2012). Además, también se aprovechó cierto porcentaje del volumen de estos RME: en el caso de las tiendas de autoservicio se aprovechó el 68% del total producido, el 49% del papel y del cartón y el 32% de los residuos aeroportuarios. Para más información sobre otros RME, ver los recuadros [Los residuos de aparatos electrodomésticos](#) y [La problemática de las pilas](#) en el [Informe 2012](#) (Semarnat, 2013).

RESIDUOS PELIGROSOS

La vida diaria está rodeada de una diversidad de sustancias químicas que permiten muchas de las comodidades en la vida moderna. A nivel mundial hasta junio de 2015, las sustancias químicas identificadas sumaban más de 100 millones (esto es, alrededor de 33 millones más que en julio de 2012; CAS, 2016; ver el recuadro [Las sustancias químicas en números](#) en el [Informe 2012](#) (Semarnat, 2013), con propósitos tan diversos como servir de base para la fabricación de nuevos materiales, medicamentos, plaguicidas, o bien como intermediarios de múltiples procesos industriales. Aunque de muchas de ellas se sabe que resultan inertes o inocuas para el ser humano o el ambiente, de una alta proporción aún se desconoce si tienen efectos adversos y de otros se reconoce que pueden resultar particularmente peligrosos cuando se vierten al ambiente accidentalmente o su manejo no se realiza conforme a ciertos protocolos.

El crecimiento acelerado de la actividad industrial en muchos países, el mal manejo de muchas sustancias químicas y la disposición inadecuada de residuos tóxicos, ha incrementado la exposición de la población y los ecosistemas naturales a sustancias potencialmente tóxicas. En 2012 se calculaba que en tan sólo 49 países clasificados como de ingreso bajo y medio, alrededor de 125 millones de personas estaban expuestos a la contaminación por residuos tóxicos (Blacksmith Institute y Green Cross, 2012).

En México, los llamados residuos peligrosos (RP), se definen como aquellos que poseen al menos una de las llamadas características CRETIB, es decir, pueden ser: corrosivos (C), reactivos (R), explosivos (E), tóxicos (T), inflamables (I) y biológico-infecciosos (B). También se consideran peligrosos los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan contenido o sido contaminados con RP, según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003). La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (DOF, 2006) establece el procedimiento de identificación, las características y la clasificación de los residuos peligrosos.

⁶ Los residuos de manejo especial reportados para los aeropuertos sólo consideran a los generados por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

En la Tabla 7.1 se muestra el volumen acumulado de RP generados en el país durante el periodo 2004-2014 y el número de empresas que los generaban. Tanto el volumen como el número de empresas se obtienen a partir de los registros y la información que brindan las empresas inscritas en el Padrón de Generadores de Residuos Peligrosos (PGRP) a la Semarnat. De acuerdo al PGRP, entre 2004 y 2014 las 93 355 empresas inscritas generaron 2.19 millones de toneladas. Es importante tomar en cuenta que esta cifra no corresponde al volumen total de RP generados en el país en ese periodo, debido básicamente a que dicho padrón no incluye a la totalidad de las empresas que los producen en el territorio (**Cuadro D3_RESIDUOP01_01**).

Una parte importante de la generación de RP se concentra en las zonas industriales del país. Del total de empresas, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) concentró 14 559 (15.6% del total), los otros cuatro estados que le siguen en número de empresas son Jalisco (9 079, 9.7%), Baja California (5 858, 6.3%), estado de México (5 120, 5.5%) y Michoacán (4 696, 5%). Estas entidades produjeron 756 310 toneladas de residuos, lo que representa el 34.5% de los RP generados en dicho periodo. Las entidades con un menor número de empresas generadoras fueron Quintana Roo (949, 1.02% del total de empresas), Zacatecas (931, 1%), Nayarit (807, 0.86%) y Tlaxcala (614 empresas, 0.66%; Mapa 7.6; **Cuadro D3_RESIDUOP01_01**).

De acuerdo al volumen de RP que generan, las empresas se clasifican en micro, pequeños y grandes generadores⁷. Entre 2004 y 2014, 53 523 empresas se clasificaron como microgeneradores (57.3% del total de empresas; 12 600 t generadas y 0.6% de la generación nacional de RP); 33 130 empresas fueron pequeños generadores (35.5% de las empresas; 94 379 t generadas y 4.3% del total); y 6 702 empresas fueron grandes generadores (7.2% de las empresas; 2.08 millones de t generadas y 95.1% del total; Figura 7.14; **Cuadro D3_RESIDUOP01_01**).

Tabla 7.1 | Estimaciones de la generación de RP en México

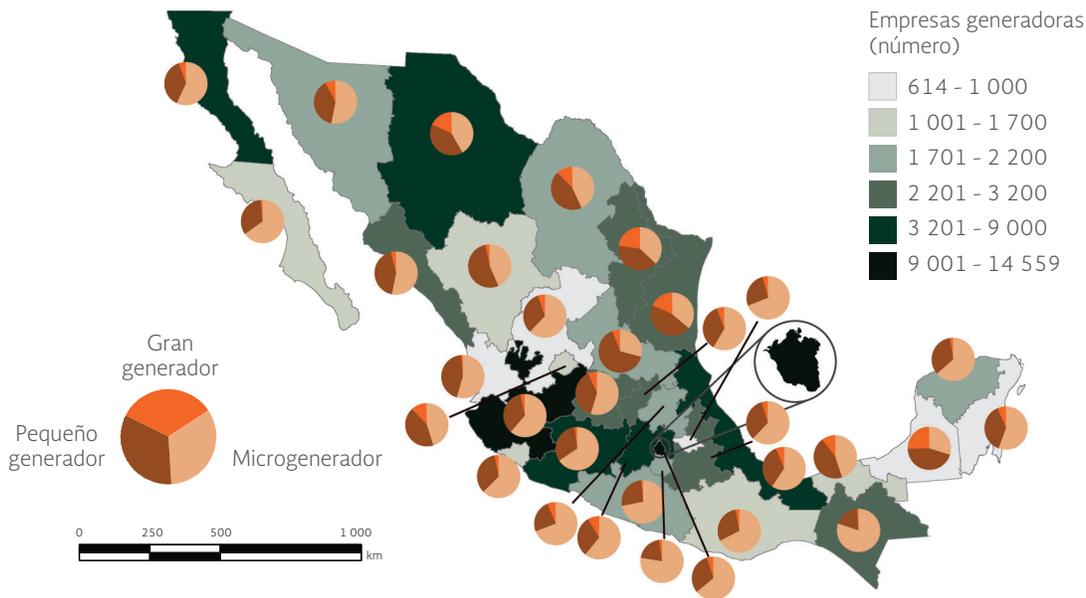
Periodo	Generación estimada (millones de toneladas acumuladas)	Número de empresas
2004 - 2009	1.70	52 784
2004 - 2011	1.92	68 733
2004 - 2012	1.96	75 562
2004 -2013	2.04	84 279
2004 - 2014	2.19	93 355

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

⁷ Microgenerador: establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta 400 kilogramos de residuos peligrosos anuales. Pequeño generador: persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a 400 kilogramos y menor a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año. Gran generador: persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año.

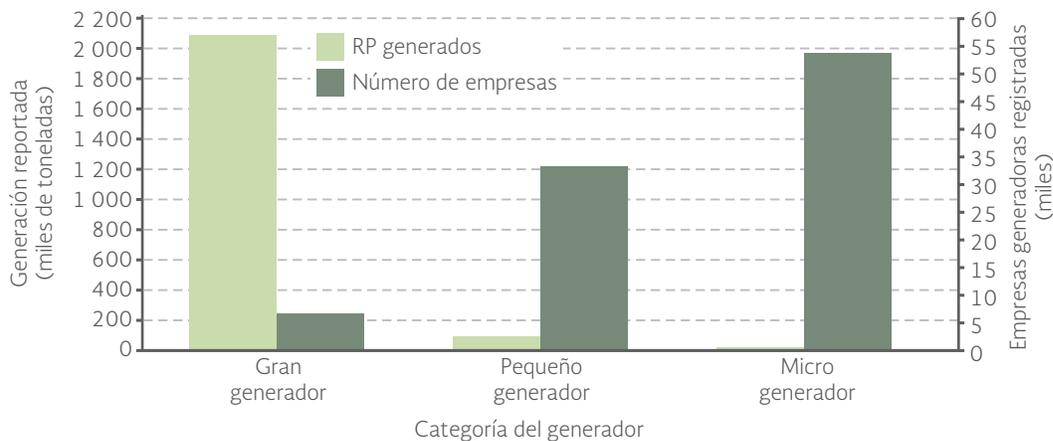
Mapa 7.6 | Empresas registradas en el PGRP según tipo, 2004 - 2014



Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

En cuanto a la distribución geográfica de los distintos tipos de generadores, el mayor porcentaje de los micro y pequeños generadores de RP se encontraron en la ZMVM (15.4%, es decir, 13 317 empresas), Jalisco (10.1%, 8 759) y Baja California (6.4%, 5 541 empresas). En el caso de los grandes generadores, las empresas se concentraron en la ZMVM (1 242 empresas, 18.5%) y en los estados de Chihuahua (784 empresas, 11.7%) y Nuevo León (726 empresas; 10.8%; Mapa 7.6).

Figura 7.14 | Generación de RP de acuerdo a la categoría de generador, según el PGRP, 2004 - 2014

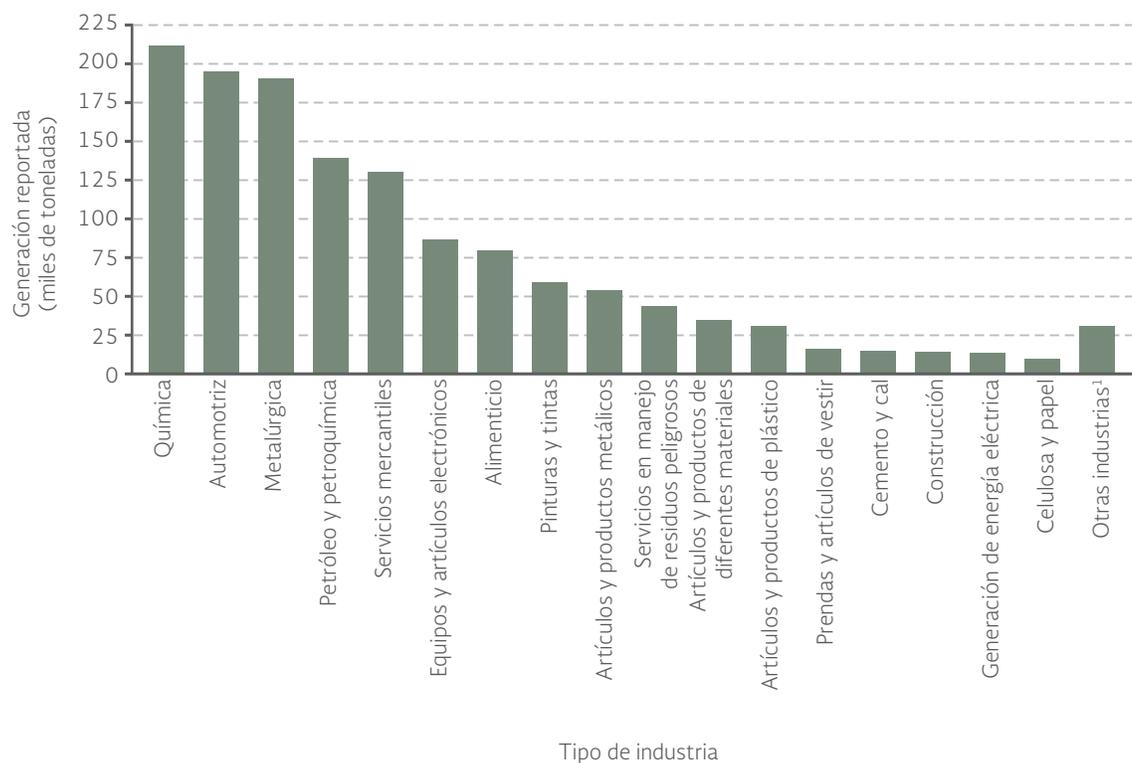


Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosa, Semarnat. México. Abril de 2015.

Respecto al tipo de industrias generadoras, en el periodo 2004-2014, las que contribuyeron con un mayor volumen de RP fueron la industria química (211 886 t, 15.7% del total generado), la automotriz (195 101 t; 14.4%), la metalúrgica (190 229 t; 14.1%) y la de petróleo y petroquímica (138 957 t; 10.3% del total producido; Figura 7.15; Cuadro D3_RESIDUOP01_22).

Si se observa la generación de RP por entidad federativa en el período 2004-2014, la ZMVM fue la mayor productora con 598 343 toneladas (27.3% del volumen total del país); le siguieron Chihuahua con 347 287 toneladas (15.8%), Campeche con 213 406 (9.7%), Tamaulipas con 157 436 (7.2%) y Tabasco con 140 199 toneladas (6.4%; Mapa 7.7; Cuadro D3_RESIDUOP01_01). Por otro lado, las cinco entidades que reportaron menores volúmenes de RP generados fueron Oaxaca (2 787; 0.13%), Tlaxcala (2 443; 0.11%), Chiapas (2 425; 0.11%), Nayarit (2 125; 0.1%) y Baja California Sur (1 746; 0.08%); en su conjunto, estas últimas entidades arrojan una suma porcentual del 0.53% del total nacional (Mapa 7.7).

Figura 7.15 | Generación de RP reportada por los principales tipos de industrias generadoras, 2004 - 2014



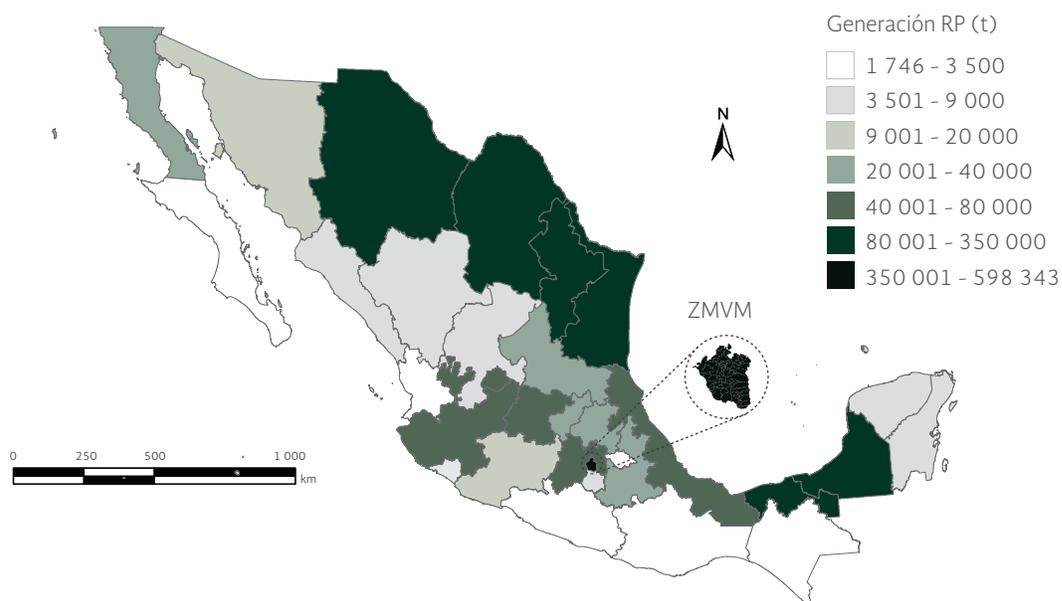
Nota:

¹ La categoría *Otras industrias* incluye los siguientes residuos: vidrios, textiles, madera y productos derivados, asbesto. Y los generados en las siguientes industrias: minera, marítima, de congelación, hielo y productos, agrícola, siderúrgica, explotación de bancos de materiales, acuicultura, comunicaciones, forestal y vida silvestre.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. 2014.

Mapa 7.7 | Generación de RP según el PGRP por entidad federativa, 2004 - 2014



Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. Semarnat. México. Abril 2015.

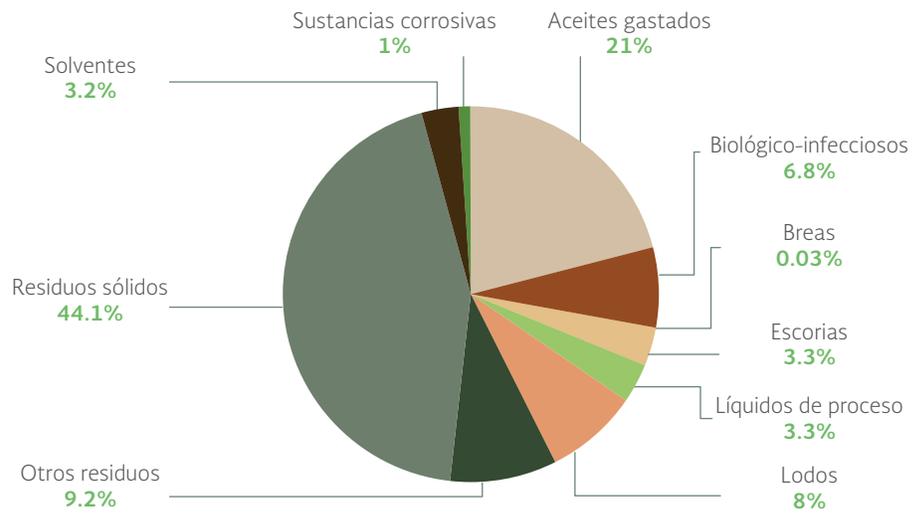
En el período 2004-2014 los volúmenes de RP generados en mayor cantidad correspondieron a los residuos sólidos (968 067 t, 44.1% del total generado), que incluyen a los residuos de mantenimiento automotriz, asbesto, telas, pieles, metales pesados, tortas de filtrado y otros sólidos. El siguiente tipo de residuo con mayor generación fueron los aceites gastados (460 277 t; 21%), los lodos (175 488 t; 8%) y los biológico-infecciosos (150 076; 6.8%). Los RP que menos se generaron fueron las breas (580 t, 0.03% del total generado), las sustancias corrosivas (21 623 t; 1%) y los solventes (69 741 t; 3.2%; Figura 7.16; Cuadro D3_RESIDUOP01_20).

Dentro de los distintos tipos de RP, los biológico-infecciosos (RP-BI) tienen gran importancia por los posibles riesgos que representan cuando su manejo resulta inadecuado. Incluyen a los que se producen en instalaciones que brindan servicios de atención a la salud y actividades relacionadas, y están compuestos por residuos anatómicos, cultivos y cepas de microorganismos, objetos punzocortantes, muestras patológicas y sangre. En el periodo 2004-2014, su volumen de generación fue de 150 076 toneladas, lo que representó el 6.8% del total de los RP generados a nivel nacional.

El mayor volumen de este tipo de residuos que se genera en el país correspondió entre 2004 y 2014 a residuos anatómicos (57.2%), el 20.3% fueron residuos patológicos, el 15.2% objetos punzocortantes, el 3.9% sangre y 3.3% fueron cultivos y cepas (Cuadro D3_RESIDUOP01_20).

Si se analiza la generación de este tipo de residuos por entidad federativa, cinco de ellas concentraron poco más del 87% del total nacional: la ZMVM (70 492 t; 47% del total), Tamaulipas (32 994 t; 22%), Guanajuato (13 405 t; 8.9%), Nuevo León (7 022 t; 4.7%) y Chihuahua (6 955 t; 4.6%; Mapa 7.8; Cuadro D3_RESIDUOP01_20).

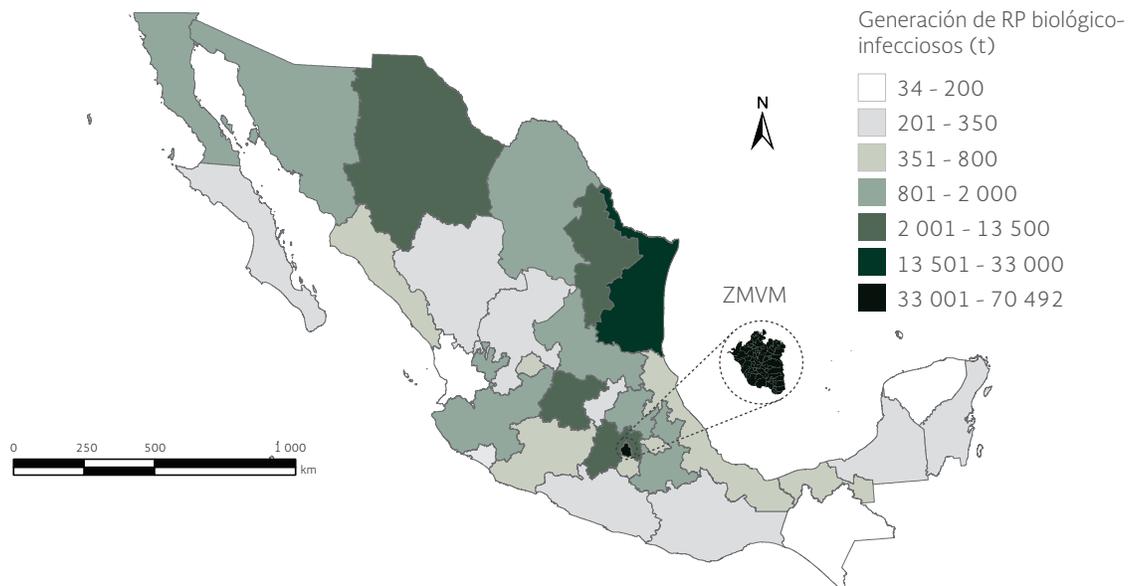
Figura 7.16 | Generación de residuos reportada al PGRP por tipo, 2004 - 2014



Nota:
La fuente original no desagrega los materiales que integran el grupo Otros residuos.

Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

Mapa 7.8 | Volumen de generación de RP biológico–infecciosos reportado al PGRP, 2004 - 2014



Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

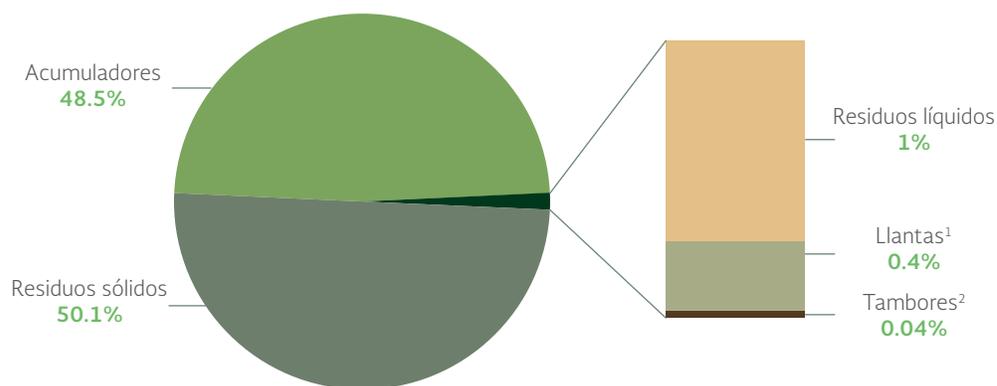
MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO

El movimiento transfronterizo de residuos peligrosos permite importar, exportar o trasladar estos materiales entre países con la finalidad de llevar a cabo el reciclaje, reprocesamiento o remanufactura de los materiales, o bien, permite su retorno a sus países de origen. Durante el periodo 1995-2014, se importaron 11.4 millones de toneladas de residuos peligrosos, de las cuales 5.7 millones correspondieron a residuos sólidos (50.1% del total generado), 5.5 millones de toneladas a acumuladores eléctricos usados (48.5%); 115 933 toneladas a residuos líquidos (1%); 41 994 toneladas a llantas (0.4%) y 4 019 toneladas a tambores (0.04%; Figura 7.17; Cuadro D3_RESIDUOP01_02).

En el período comprendido entre 1995 y 2014 se observó un incremento en la importación de RP para su reciclaje y reutilización, al pasar de poco más de 158 mil toneladas en 1995 a 1.38 millones de toneladas en 2014 (Figura 7.18). Los RP que retornaron a México entre 1996 y 2014 acumularon un total de 1.2 millones de toneladas, con un promedio anual de 63 654 toneladas.

En cuanto a las exportaciones de RP, durante el período comprendido entre 1995 y 2014, se alcanzó un total de 4.3 millones de toneladas, con un promedio anual de 222 424 toneladas. El mayor volumen de las exportaciones correspondió a los recortes de perforación de la industria petrolera⁸ (3.91 millones de toneladas; 91.1% del total exportado; Cuadros D3_RESIDUOP01_02; D3_RESIDUOP01_03 y D3_RESIDUOP01_04).

Figura 7.17 | Importación de RP por tipo, 1995 - 2014



Notas:

¹ Las llantas son materiales no considerados como residuos peligrosos; sin embargo, están sujetos a control ecológico. A partir del año 2001 no se autoriza su importación porque estos residuos ya no aparecen listados en el acuerdo que establece la clasificación de mercancías cuya importación está sujeta a regulación por parte de la Semarnat.

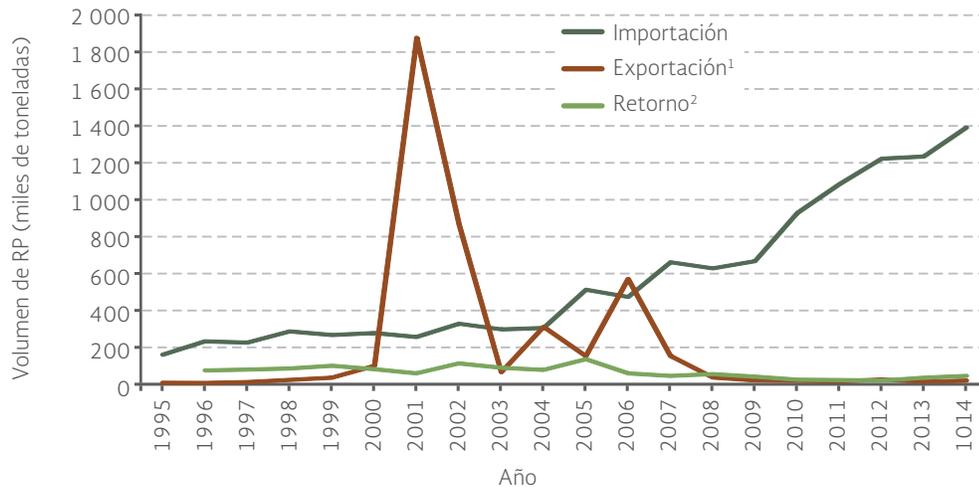
² Tambores: a partir de 2002 no se han emitido autorizaciones.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

⁸ Los datos sobre la exportación de recortes de perforación sólo cubren el período comprendido entre 1998 y 2007; a partir de ese último año Pemex dejó de reportar los valores de exportación para ese rubro.

Figura 7.18 | Movimiento transfronterizo de RP, 1995 - 2014



Notas:

¹ Se incluyen los recortes de perforación que se generaron durante el periodo de 1998-2007.

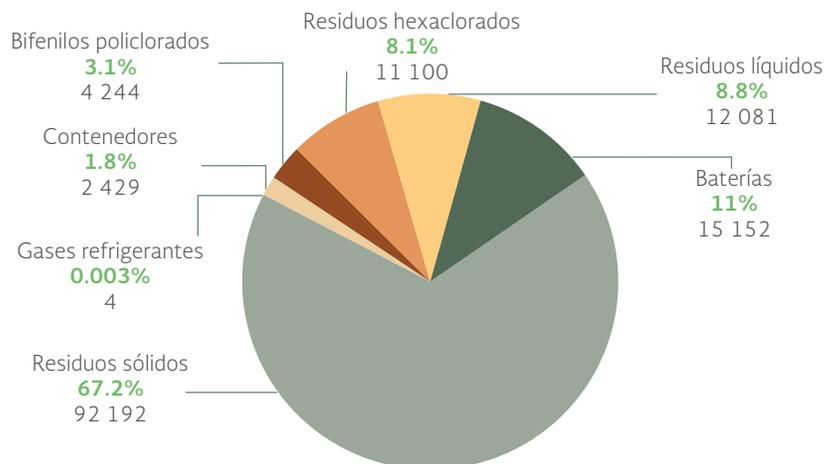
² El retorno de RP ocurre cuando se importan de manera temporal productos, equipos, maquinaria o cualquier otro insumo que será manufacturado, reciclado, reprocesado y que generan residuos peligrosos que deberían retornarse al país de origen.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

Si no se consideran los recortes de perforación, los RP con mayores volúmenes de exportación en el período que comprende de 2008 a 2014, fueron los residuos sólidos (92 192 t; 67.2%), las baterías (15 152 t; 11.04%) y los residuos líquidos (12 081 t; 8.8%; Figura 7.19; Cuadros D3_RESIDUOP01_02 y D3_RESIDUOP01_03).

Figura 7.19 | Exportación de RP¹ por tipo², 2008 - 2014



Notas:

¹ A partir de 2008 Pemex dejó de reportar los valores de exportación de los recortes de perforación.

² La cantidad de residuos se expresa en toneladas.

Fuente:

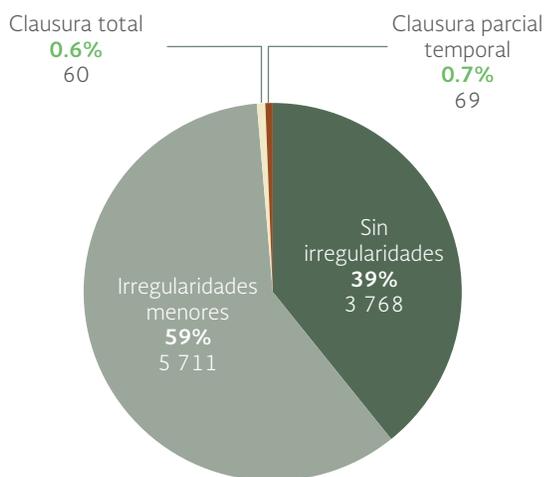
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

Al igual que en el caso de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, el manejo de los residuos peligrosos busca básicamente dos propósitos. Por un lado, reducir los riesgos del contacto de estas sustancias con el ser humano y el ambiente; por otro, recuperar los materiales que sean útiles (por medio del reciclaje y reutilización), prepararlos para reducir de su peligrosidad (ya sea por medio de su neutralización, incineración bajo condiciones controladas) y confinarlos en sitios adecuados para ello. Para mayores detalles sobre la infraestructura autorizada para la recolección y transportación de RP consultar el [Cuadro D3_RESIDUOPO1_17](#).

En México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) obliga a los generadores y gestores de RP a manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada (DOF, 2003). La encargada de verificar el cumplimiento de dicha ley es la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), esto por medio de la aplicación de programas de inspección y vigilancia.

En el periodo de enero de 2013 a diciembre de 2015, la Profepa realizó 9 608 visitas de inspección y verificación a las empresas generadoras de residuos peligrosos para comprobar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la legislación y normatividad aplicable. De estas visitas, en 3 768 casos (39.2%) no se encontraron irregularidades, en 5 711 (59.4%) se encontraron irregularidades menores y, debido a irregularidades graves, en 129 casos se impuso la clausura, siendo en 69 casos parcial temporal (0.7% del total de empresas verificadas) y en 60 total temporal (0.6%; Figura 7.20).

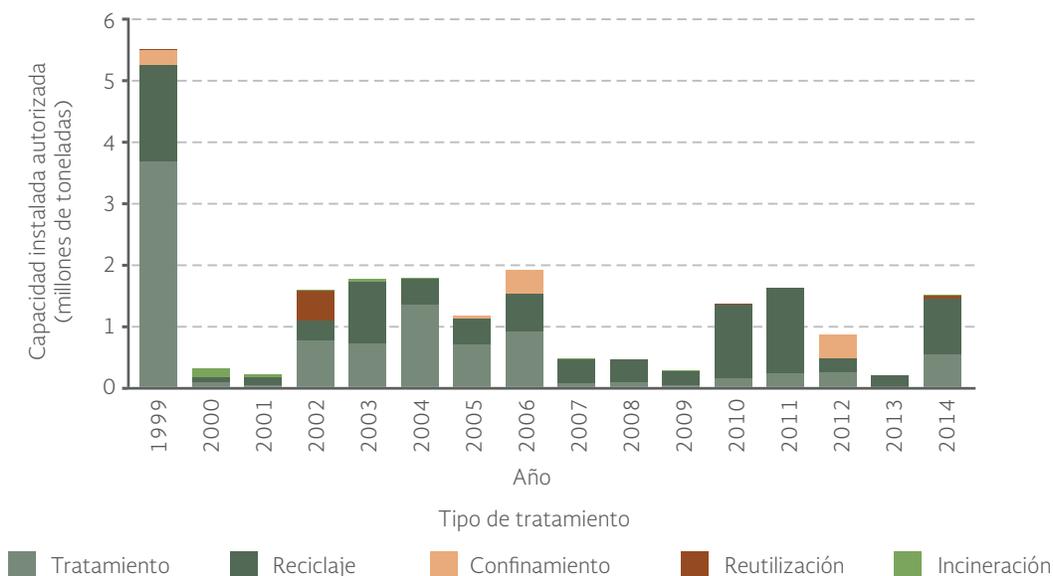
Figura 7.20 Resultado de las visitas a empresas generadoras de residuos peligrosos, 2013 - 2015



Fuente: Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

En el país, en el periodo 1999-2014, la capacidad instalada autorizada para el reciclaje, reutilización, tratamiento, incineración y confinamiento de RP fue de poco más de 21.07 millones de toneladas, de las cuales el 46.4% correspondió a tratamiento (9.8 millones de t); 45% a reciclaje (9.5 millones de t); 5% a confinamiento (1.04 millones de t), 2.5% a reutilización (536 845 t) y 1.1% a incineración (poco más de 229 019 t; Figura 7.21). De las categorías de manejo mencionadas anteriormente, en 2014, 61.1% correspondió a reciclaje (916 819 t), el 36.4% a tratamiento (546 584 t) y sólo el 0.04% a incineración (526 t; [Cuadro D3_RESIDUOP01_05_D](#)).

Figura 7.21 | Capacidad instalada autorizada para el reciclaje, reutilización, tratamiento, incineración y confinamiento de RP, 1999 - 2014



Fuente: Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

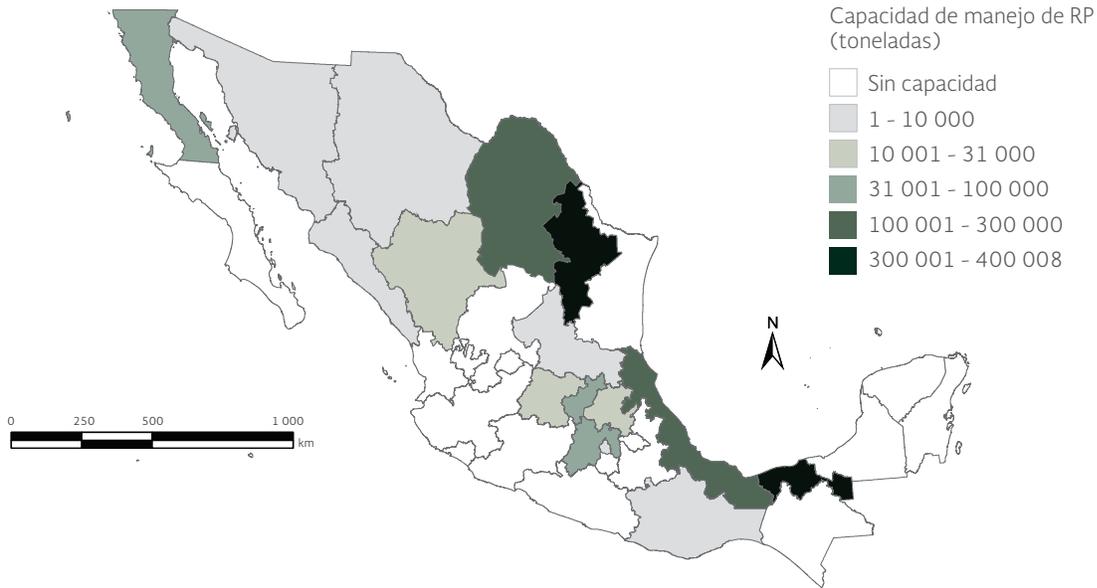
Respecto a la capacidad instalada por entidad federativa, en 2014 los estados con mayor capacidad fueron Tabasco (400 008 t; 27.3% del total), Nuevo León (342 324 t; 23.4%), Coahuila (290 200 t; 19.8%), Veracruz (197 604 t; 13.5%) y Baja California (89 472 t; 6.1%; Mapa 7.9; Cuadros D3_RESIDUOP01_07; D3_RESIDUOP01_08 y D3_RESIDUOP01_10_D).

En el periodo de enero de 2013 a diciembre de 2015, la Profepa realizó 1 701 visitas de inspección y verificación a las empresas que se dedican al transporte, recolección, manejo y disposición de residuos peligrosos (RP) para verificar el cumplimiento de la normatividad aplicable para su correcto manejo. En 523 de estas visitas (30.7%) no se encontraron irregularidades, en 1 150 (67.6%) se encontraron irregularidades menores y en 28 casos se encontraron irregularidades graves que ameritaron clausura, de éstos en 12 casos el cierre fue de tipo parcial temporal (0.7% del total de verificaciones) y en 16 casos fue de tipo total temporal (0.9%; Figura 7.22).

MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

En el año 2003 entró en vigor la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, cuyo objeto es establecer la clasificación de este tipo de residuos, así como las especificaciones para su manejo (DOF, 2003). Una de las medidas para asegurar el cumplimiento de esta norma son las visitas de inspección, en las cuales se identifican incumplimientos, se dictan medidas correctivas y se imponen clausuras en caso de presentarse irregularidades graves que representen un riesgo inminente al equilibrio ecológico, con repercusiones peligrosas para los ecosistemas o la salud pública.

Mapa 7.9 | Capacidad instalada autorizada¹ para el manejo de RP por entidad federativa, 2014



Nota:

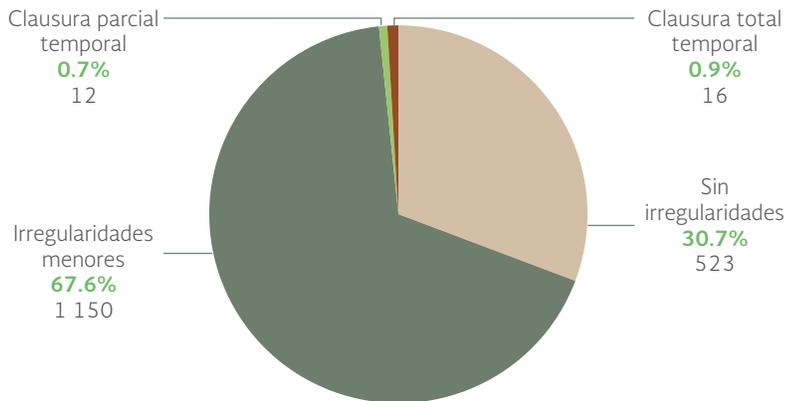
¹ Debido a que las instalaciones autorizadas para llevar a cabo el almacenamiento temporal de los residuos no reportan el volumen anual almacenado, aquí se reporta la capacidad instalada autorizada.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril de 2015.

Entre 2013 y 2014 se realizaron 789 visitas de inspección a estos establecimientos, los cuales comprenden unidades de servicios médicos y hospitalarios, incluyendo clínicas, laboratorios y centros de investigación. De estas visitas 200 (25%) presentaron total cumplimiento de la normatividad, 589 (75%) presentaron infracciones menores (Figura 7.23).

Figura 7.22 | Resultado de las visitas de inspección a empresas que manejan RP, 2013 - 2015



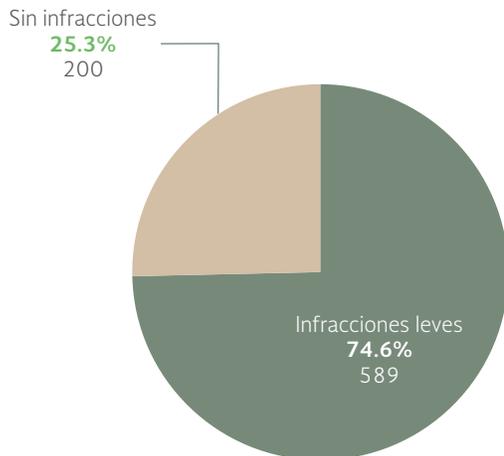
Nota:

¹ Estas inspecciones se realizan a unidades de servicios médicos y hospitalarios, incluyendo clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Fuente:

Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

Figura 7.23 | Resultado de las visitas de inspección en materia de RP biológico-infecciosos¹, 2001 - 2014



Nota:

¹ Estas inspecciones se realizan a unidades de servicios médicos y hospitalarios, incluyendo clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Fuente:

Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, DE MANEJO ESPECIAL Y PELIGROSOS

En México existen instrumentos legales que regulan la gestión integral de los residuos y que involucran a los generadores, a quienes los transportan y, finalmente, a quienes los procesan. Uno de estos instrumentos legales es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003), el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (cuya reciente versión está próxima a publicarse) y los programas estatales y municipales de Prevención y Gestión Integral de los Residuos (ver también el recuadro **Regulación ambiental para el manejo de los residuos en el país**).

Otro tipo de instrumentos para gestionar los residuos son los inventarios, que proporcionan información para la toma de decisiones en cuanto al manejo de los RP, además de recopilar e integrar información sobre los sitios en los que se hace acopio de este tipo de materiales, incluyendo aquellos que ya no operan o, incluso, son clandestinos. De acuerdo a la LGPGIR, los tres órdenes de gobierno deben elaborar, actualizar y difundir estos inventarios.

Los programas para la separación primaria permiten la separación de los RSU y los RME en orgánicos e inorgánicos, mientras que la separación secundaria facilita la recuperación de los residuos valorizables a partir de los residuos inorgánicos obtenidos en la primera fase de separación. Esta separación 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 debe ocurrir en los domicilios, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, así como en instituciones públicas y privadas, centros educativos y dependencias gubernamentales.

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 RSU, RME y RP, aprovechar aquellos susceptibles de reutilización, reciclado o de transformación en energía, o para tratar o confinar aquellos que no se pueden valorizar. En el manejo de los residuos están involucradas diversas instancias, cuyas atribuciones se resumen en la Tabla 7.2.

Recuadro | Regulación ambiental para el manejo de los residuos en el país

En materia de regulación para el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME) y peligrosos (RP), se tienen en el país diferentes lineamientos, tanto nacionales como internacionales, tales como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003), la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (DOF, 2000) y sus respectivos reglamentos, así como la Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (Semarnat, 2001). En el ámbito internacional se encuentran el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (DOF, 1990), el Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (DOF, 1988) y el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (DOF, 2002), por mencionar algunos de los más importantes.

Otras disposiciones regulatorias están contenidas en las normas que establecen las medidas para lograr un manejo seguro de los tres tipos de residuos. Entre las principales normas se encuentran:

Residuos sólidos urbanos y de manejo especial

- NOM-083-SEMARNAT-2003, 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

- NMX-AA-020-SCFI-2008, Residuos.-Determinación de compuestos orgánicos semivolátiles en producto de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) (DOF, 18-06-2008).
- NMX-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-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 coprocesan residuos peligrosos como combustible alterno).
- NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos (DOF, 23-06-2006).
- 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, 18-10-1993).
- 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-ECOL-1993 (DOF, 18-10-1993).
- 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-SEMARNAT-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-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).
- NOM-058-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (DOF, 10-12-1993).
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo (DOF, 17-02-2003).
- NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes (DOF, 01-10-2004).
- NOM-133-SEMARNAT-2015. Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs)-Especificaciones de manejo (DOF, 23-02-2016).
- NOM-138-SEMARNAT/SSA-2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación (DOF, 10-09-2013).
- 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-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, plata, selenio, talio y vanadio (DOF, 02-03-2007).
- NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros (DOF, 30-08-2011).
- NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo (DOF, 11-01-2013).

Referencias:

DOF. *Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono* (Montreal, Canadá, 16 de septiembre de 1987). 1988. Entrada en vigor para México: 1 de enero de 1989.

DOF. *Convenio de Basilea Sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación* (Basilea, Suiza. 22 de marzo de 1989). 1990. Entrada en vigor para México: 5 de mayo de 1992.

DOF. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental*. 2000. (Última reforma 31 de octubre de 2014).

DOF. *Convenio de Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes* (Estocolmo, Suecia, 23 de mayo del 2001). 2002. Entrada en vigor para México: 17 de mayo del 2004.

DOF. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México. 2003. (Última reforma 22 de mayo de 2015).

Semarnat. *Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. Semarnat. México. 2001.

Tabla 7.2 | Gestión de los residuos según instancia involucrada

<i>Instancia</i>	<i>Responsabilidad y funciones</i>
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 Sedatu)
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 Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu)	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 Gestión Integral de Residuos*. INE, Semarnat. México. 2006.

RIESGO AMBIENTAL

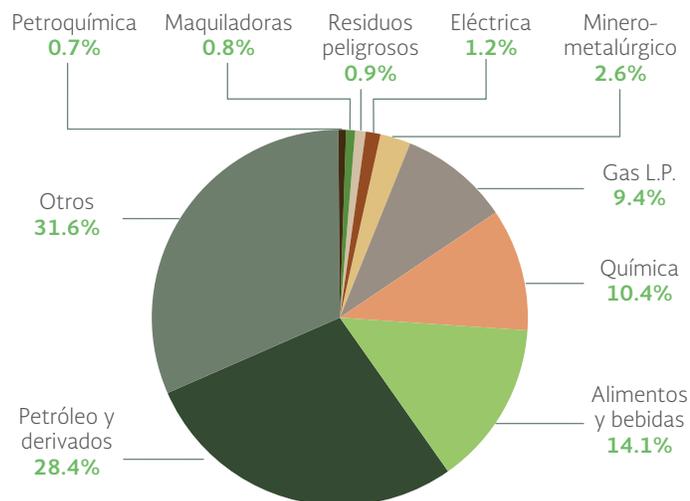
Para que una actividad sea considerada como altamente riesgosa (AAR) las sustancias químicas y la cantidad que se maneja deberán de estar incluidas en el Primer y Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992, respectivamente (DOF, 1990 y 1992). La evaluación del riesgo determina los posibles alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación. De esta forma, quienes realizan actividades industriales, comerciales o de servicios, consideradas altamente riesgosas, deberán formular y presentar ante la Semarnat un Estudio de Riesgo Ambiental (ERA) cuyo objetivo principal es identificar, jerarquizar y evaluar los riesgos del manejo de materiales peligrosos, anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias químicas peligrosas, de manera tal que éstas puedan prevenirse o mitigarse.

En el periodo comprendido entre 1992 y 2015, el sector que ingresó el mayor número de ERA fue el petrolero y sus derivados (2 948 estudios; 28.4% del total), seguido por el de alimentos y bebidas (1 463; 14.1%; Figura 7.24). Otro grupo de estudios que representa un porcentaje importante de los ingresados en el periodo son los clasificados como “Otros”, con 3 281 estudios (31.6% del total), e incluye a los relacionados con plantas de tratamiento de aguas residuales y las plantas potabilizadoras de agua que usan cloro gaseoso en los procesos; a las plantas que comercializan amoniaco anhidro (NH₃) como fertilizante; a las industrias formuladoras de agroquímicos, pesticidas, insecticidas y fertilizantes; las que producen hielo y que utilizan NH₃ como gas refrigerante; a aquellas que se dedican al cromado y niquelados de partes mecánicas; a las plantas armadoras automotrices que manejan solventes; y a los establecimientos que almacenan y comercializan grandes cantidades de sustancias químicas, entre otras (Figura 7.24).

Entre 2010 y 2014 se ingresaron 3 082 ERA en todo el país. El año con la mayor cantidad de ERA fue 2012, con 487 estudios (22.7% del total realizado en ese lapso de cinco años), mientras que el año con menos estudios de riesgo fue 2011, con 400 estudios (18.6%; Figura 7.25).

Respecto a los ERA ingresados por entidad federativa en el periodo comprendido entre 1992 y 2015, Tabasco ingresó el mayor número (1 057 estudios; 10.2% del total de estudios), seguido por Veracruz (836; 8%), el estado de México (797; 7.7%) y Tamaulipas (731; 7%); en contraste, los estados que menos estudios presentaron fueron Baja California Sur (54; 0.5%), Nayarit (71; 0.7%), Zacatecas (92; 0.9%) y Morelos (113 estudios, 1.1%; Mapa 7.10).

Figura 7.24 | Estudios de riesgo ambiental ingresados por tipo de industria, 1992 - 2015



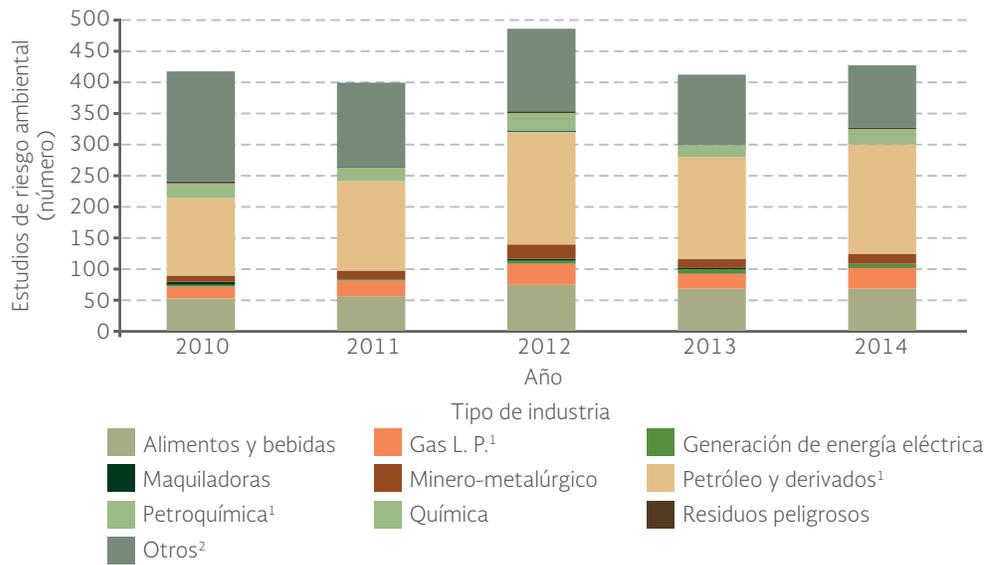
Nota:

A partir del 02 de marzo de 2015, la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), es responsable de la recepción y registro de los Estudios de Riesgo Ambiental del Sector Hidrocarburos.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Mayo 2015.

Figura 7.25 | Estudios de riesgo ambiental ingresados por tipo de industria, 2010 - 2014



Nota:

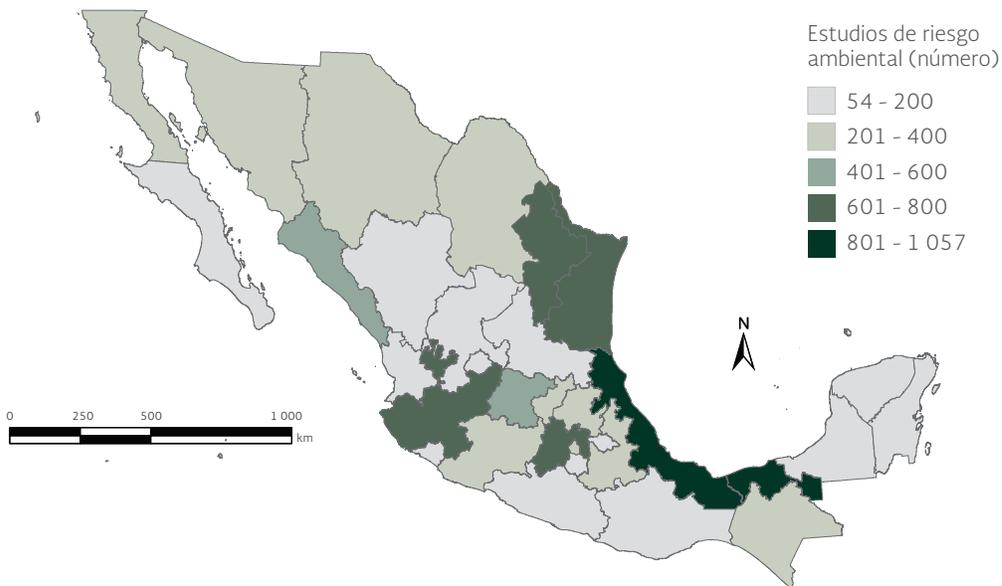
¹ A partir del 02 de marzo de 2015 la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), es responsable de la recepción y registro de los Estudios de Riesgo Ambiental del Sector Hidrocarburos (giros Petróleo y derivados, Gas L. P. y Petroquímica).

² La categoría *Otros*, en su mayoría, comprende plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas potabilizadoras de agua que usan cloro gas; plantas que comercializan amoníaco anhidro (NH₃) como fertilizante; plantas formuladoras de agroquímicos, pesticidas, insecticidas y fertilizantes; plantas productoras de hielo que utilizan NH₃ como gas refrigerante; plantas que se dedican al cromado y niquelados de partes mecánicas, plantas armadoras automotrices que manejan solventes; establecimientos que almacenan y comercializan grandes cantidades de sustancias químicas, etcétera.

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Mayo 2015.

Mapa 7.10 | Estudios de riesgo ambiental de plantas de operación¹ por entidad federativa, 1992 - 2015²



Notas:

¹ Son aquellas plantas que se encuentran en operación y que realizan actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosos.

² Los datos de 2015 son al mes de abril.

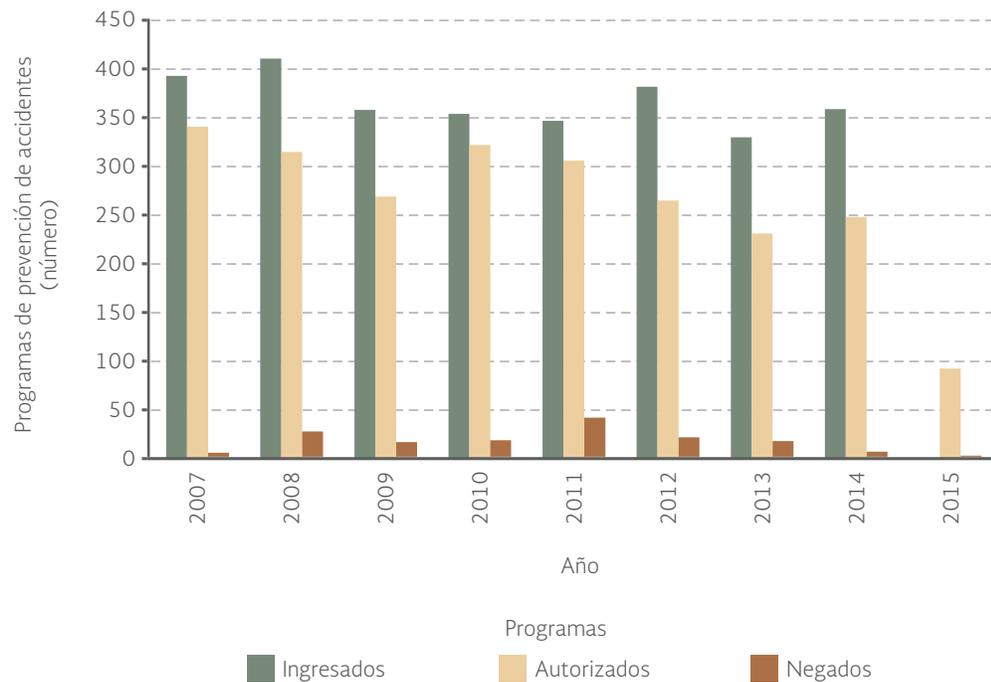
Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril de 2015.

PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

Los Programas para la Prevención de Accidentes (PPA) establecen las medidas preventivas, correctivas, de control, de mitigación y de atención en el caso 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 2015, de los 2 934 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), 2 389 (81.4%) fueron autorizados y 144 fueron negados (4.9%). El número de programas autorizados y negados no necesariamente es igual al número de programas ingresados, debido a que como resultado de la evaluación, para algunos programas se puede solicitar mayor información, otros pudieron desecharse por no entregar la información en el plazo establecido, se dieron de baja o se estableció que no son de competencia federal (Figura 7.26; Cuadro D3_RESIDUOP02_05).

Figura 7.26 | Programas de prevención de accidentes de plantas en operación según estado, 2007 - 2015



Notas:

¹ Los datos de 2015 son al mes de abril. La Información de 2014 y 2015 es preliminar.

² A partir del 02 de marzo de 2015 la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), es responsable de la recepción, registro, evaluación y resolución de los Programas para la Prevención de Accidentes del Sector Hidrocarburos (giros Petróleo y derivados, Gas L. P. y Petroquímica).

Fuente:

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. 2015.

SITIOS CONTAMINADOS

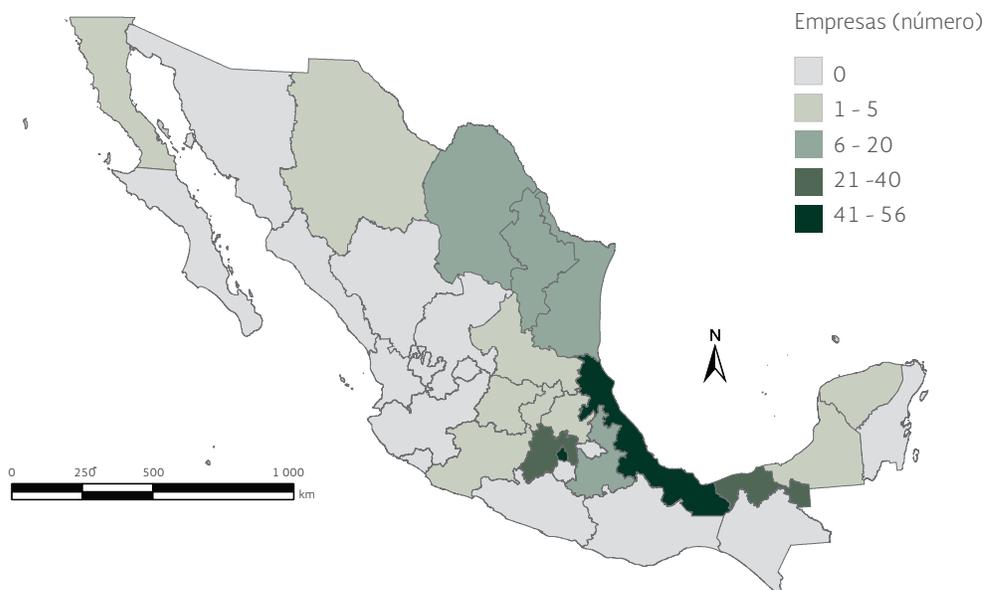
Un sitio contaminado es aquel lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha estado en contacto con materiales o residuos que, por sus cantidades y características pueden representar un riesgo para la salud humana, otros seres vivos y los bienes o propiedades de las personas (DOF, 2003).

Las causas que provocan la contaminación de un sitio son muy diversas. Algunas de las más comunes son la disposición inadecuada de RSU, RME y RP en terrenos baldíos, bodegas, almacenes y patios de las industrias; las fugas de materiales o RP de tanques y contenedores subterráneos, tuberías y ductos; la lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento y donde se desarrollan actividades productivas, o bien, de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto y por los derrames accidentales de sustancias químicas durante su transporte (Semarnat, 2013).

Se reconocen dos tipos de sitios contaminados: el primero se da en los sitios afectados 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, 2013).

En segundo lugar están los denominados pasivos ambientales, de grandes dimensiones y con obligación de remediación, con problemas causados por el uso industrial del suelo y el manejo

Mapa 7.11 | Empresas autorizadas para el tratamiento de suelos contaminados por entidad federativa, 2015



Fuente:
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

inadecuado de los RP y 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.

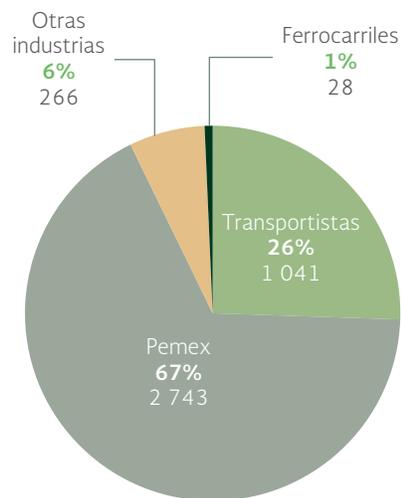
Con el fin de dar tratamiento a las emergencias y los pasivos ambientales, en 2015 el país contaba con 232 empresas autorizadas para el tratamiento de suelos contaminados, localizadas en 17 entidades (Mapa 7.11; Cuadro D3_SITIOS01_02), siendo el Distrito Federal y Veracruz las que cuentan con un mayor número de empresas (56 y 54, respectivamente).

EMERGENCIAS AMBIENTALES

Entre 2008 y 2015 se identificaron 4 078 sitios contaminados por emergencias ambientales, de este total, Pemex tuvo responsabilidad en 2 743 sitios (67.3%), los transportistas fueron los responsables en 1 041 sitios (25.5%), otras industrias provocaron emergencias en 266 sitios (6.5%) y los ferrocarriles generaron 28 (0.7% del total; Figura 7.27).

En el lapso comprendido entre 2010 y 2014 se contabilizaron un total de 3 082 emergencias ambientales, siendo los estados de Veracruz (391 emergencias) y Guanajuato (237) los que registraron el mayor número (12.7% y 11.7% del total nacional, respectivamente). Las entidades con menos emergencias ambientales fueron Colima (14 emergencias), Quintana Roo (14), Aguascalientes y Nayarit (16 en ambos casos, 0.5% del total nacional en cada caso; Mapa 7.12).

Figura 7.27 | Sitios contaminados por emergencias ambientales según responsables involucrados, 2008 - 2015



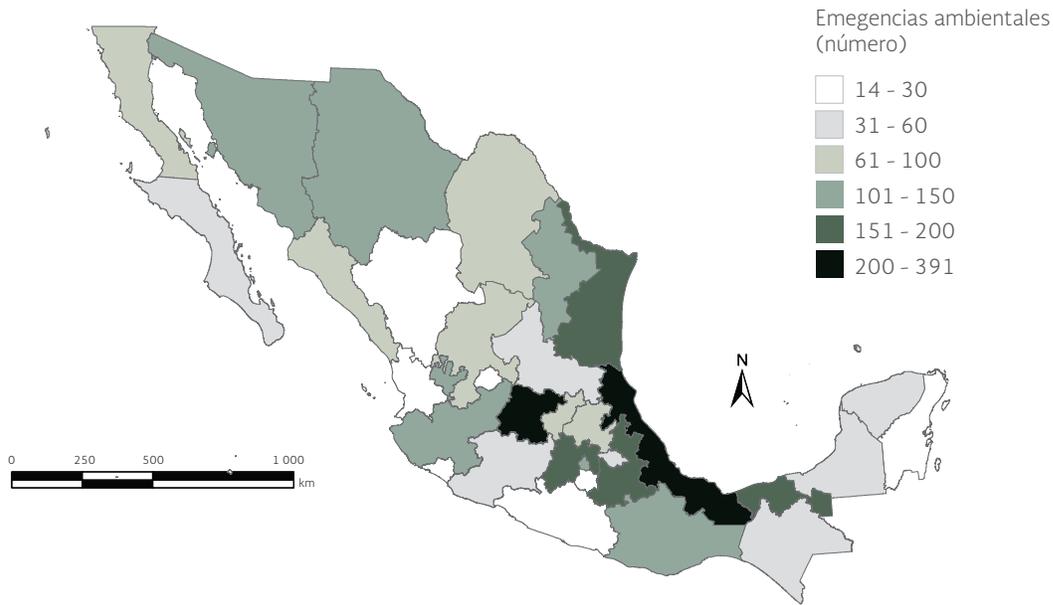
Nota:
La información de 2015 es al mes de abril. La Información de 2014 y 2015 es preliminar.

Fuente:
Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

Los contaminantes que estuvieron involucrados en el mayor número de emergencias ambientales en el periodo 2008-2015 fueron los hidrocarburos, con 1 175 emergencias (29.8% del total), la gasolina, con 1 057 (26.8%), el diésel con 554 (14.1%), el petróleo crudo con 461 emergencias (11.7%), el gas L. P. con 375 emergencias (9.5%); el gas natural 162 (4.1%) y el combustóleo en 159 casos (4%). Los dos primeros contaminantes estuvieron involucrados en el 56.6% de las contingencias ambientales registradas en ese periodo (Figura 7.28).

En el periodo de enero de 2013 a diciembre de 2015, la Profepa realizó 2 157 visitas de

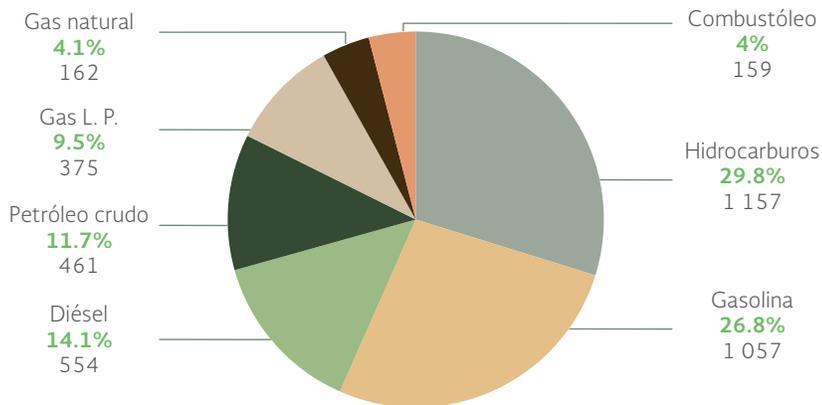
Mapa 7.12 | Emergencias ambientales por entidad federativa, 2010 - 2014



Fuente:
Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2015.

inspección y verificación para dar seguimiento a la ocurrencia de las emergencias ambientales donde hubo afectación al suelo. De estas visitas, en 454 (21%) no se encontraron irregularidades, en 1 691 (78.4%) se encontraron irregularidades menores y, por las irregularidades graves encontradas en 12 casos, se impuso la clausura parcial temporal 3 de ellos (0.14% del total de visitas realizadas) y la clausura total temporal en 9 (0.42%; Figura 7.29).

Figura 7.28 | Contaminantes involucrados en emergencias ambientales, 2008 - 2015

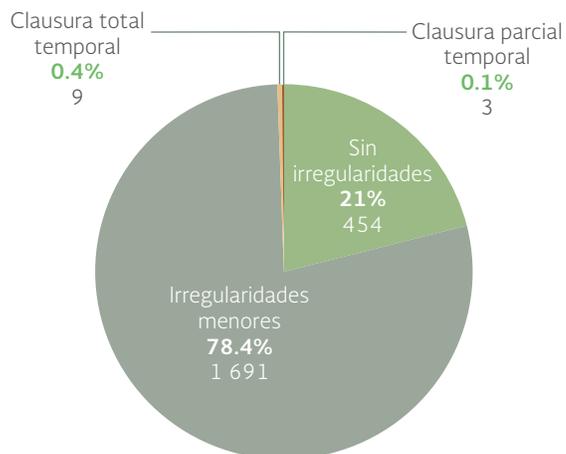


Fuente:
Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

PASIVOS AMBIENTALES

La Semarnat realiza la gestión de los pasivos ambientales, y una de las acciones que lleva a cabo es la evaluación de los programas de remediación de sitios contaminados, cuyo objetivo es definir las acciones necesarias para eliminar los impactos negativos al ambiente provocados por la contaminación con materiales o RP. Estos proyectos de remediación se llevan a cabo por la Semarnat con la participación de las estancias gubernamentales locales cuando es necesario. Con el objeto de conocer a nivel nacional los sitios contaminados considerados pasivos ambientales, la Secretaría ha implementado el Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO; Semarnat 2002).

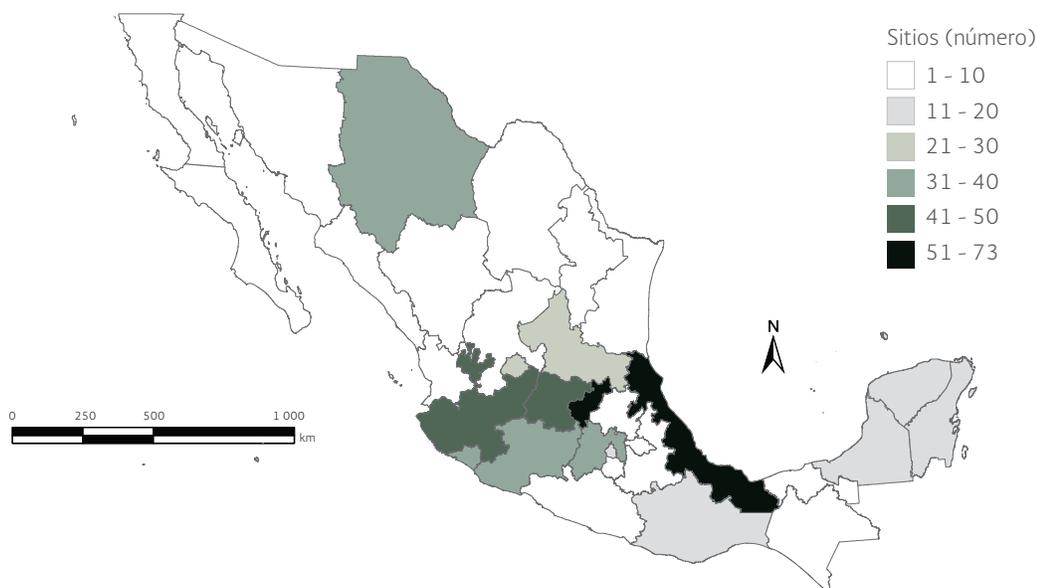
Figura 7.29 | Resultados de las visitas de seguimiento a emergencias ambientales, 2013 - 2015



Fuente: Subprocuraduría de Inspección Industrial, Profepa. México. Abril 2016.

Durante el año 2015, el SISCO registró 625 sitios considerados pasivos ambientales en el territorio nacional. Las entidades con mayor presencia de sitios identificados como pasivos ambientales o contaminados fueron Veracruz (73 sitios), Querétaro (58), Guanajuato (49), Jalisco (42) y Colima (40); mientras que las entidades que presentaron menos sitios fueron Tabasco (2), Baja California Sur, Hidalgo, Nayarit y Nuevo León (con 4 sitios en cada caso; Mapa 7.13 Cuadro D3_SITIOS03_01).

Mapa 7.13 | Sitios contaminados registrados con RP en el SISCO por entidad federativa, 2015



Nota: Los datos de 2015 son al mes de abril.

Fuente: Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, Semarnat. México. Abril 2015.

REFERENCIAS

- Acurio, G., A. Rossin, P.F. Texeira y F. Zepeda. *Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe*. BID, Organización Panamericana. Washington, D.C. 1997.
- Blacksmith Institute y Green Cross. *The World's Worst Pollution Problems: Assessing Health Risks at Hazardous Waste Sites*. Blacksmith Institute. New York. 2012.
- CAS. *Organic and inorganic substances to date*. CAS. Disponible en: www.cas.org/news/media-releases/100-millionth-substance. Fecha de consulta: febrero de 2016.
- DOF. *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas*. México. 1990 (28 de marzo).
- DOF. *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5o. Fracción X y 146 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 27 Fracción XXXII y 37 Fracciones XVI y XVII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas*. México. 1992 (4 de mayo).
- DOF. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. DOF. México. 2003 (8 de octubre).
- DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. DOF. México. 2006 (23 de junio).
- Hoorweg, D. y P. Bhada-Tata. *What a waste. A Global review of Solid Waste management*. Urban Development Series. Knowledge Papers No. 15. 2012.
- INECC, Semarnat. *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. INECC, Semarnat. México. 2012.
- INEGI. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 (CNGMD)*. INEGI. México. 2013.
- OECD. *OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing. 2014. Disponible en: www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/3013081epdf?expires=1459204364&id=id&accname=guest&checksum=6FCA13D595A51CDCBD05CE-042F03CBF4. Fecha de consulta: diciembre de 2015.
- OECD. *Environment. Dataset: Municipal Waste, Generation and Treatment*. OECD. 2016. Disponible en: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW>. Fecha de consulta: enero de 2016.
- Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2012*. Semarnat. México. 2013.
- UN-Habitat. *Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities*. UN-HABITAT, Earthscan. Malta. 2010.

Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.
Compendio de Estadísticas Ambientales.

Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y
de Crecimiento Verde. Edición 2015,
se terminó de imprimir en diciembre de 2016,
en Impresos Santiago S. A. de C. V.

Trigo 80-B Col. Granjas Esmeralda, Del. Iztapalapa
C.P. 09810 Ciudad de México.

El tiro consta de 500 ejemplares.

El contenido y la edición estuvieron a cargo de la Dirección General
de Estadística e Información Ambiental de la SEMARNAT.

