

# 6 Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía

---

AUTORES RESPONSABLES: Alfonso Aguirre Muñoz • Roberto Mendoza Alfaro

COAUTORES: Hugo Arredondo Ponce Bernal • Laura Arriaga Cabrera • Ernesto Campos González • Salvador Contreras-Balderas<sup>†</sup> • Manuel Elías Gutiérrez • Francisco J. Espinosa García • Idelfonso Fernández Salas • Lucio Galaviz Silva • Francisco J. García de León • David Lazcano Villarreal • Maricela Martínez Jiménez • María Esther Meave del Castillo • Rodrigo A. Medellín • Edna Naranjo García • María Teresa Olivera Carrasco • Mayra Pérez Sandi • Gabino Rodríguez Almaraz • Guillermo Salgado Maldonado • Araceli Samaniego Herrera • Eduardo Suárez Morales • Heike Vibrans • José Antonio Zertuche González

AUTORES DE RECUADROS: 6.1, Virginia Cornett, Porfirio Álvarez • 6.2, Luciana Luna Mendoza, Alfonso Aguirre Muñoz, Araceli Samaniego Herrera, Marlenne Rodríguez Malagón • 6.3, Roberto Mendoza Alfaro, Salvador Contreras-Balderas<sup>†</sup>

REVISORES: Fernando Gavito Pérez • Carlos Guadarrama • Óscar M. Ramírez Flores

---

## CONTENIDO

- 6.1 Introducción / 279
- 6.2 Especies invasoras en ecosistemas terrestres / 280
  - 6.2.1 Resumen histórico / 281
    - *De los primeros pobladores a los conquistadores* / 281
    - *Situación actual* / 281
- 6.3 Impactos de la flora y la fauna introducidas / 283
  - 6.3.1 Impacto biológico y ecológico / 283
  - 6.3.2 Flora terrestre exótica en México / 285
    - *Invertebrados* / 285
    - *Vertebrados* / 286
  - 6.3.3 Impacto económico y social / 286
  - 6.3.4 Prevención, control y erradicación / 287
    - *Prevención* / 287
    - *¿Control o erradicación?* / 287
    - *Técnicas de control y erradicación de plantas exóticas* / 289
    - *Técnicas de control y erradicación de mamíferos exóticos* / 289

---

Aguirre Muñoz, A., R. Mendoza Alfaro *et al.* 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 277-318.

- 6.4 Especies invasoras en ecosistemas acuáticos / 296
  - 6.4.1 El virus del síndrome de la mancha blanca / 297
    - Posibles vías de introducción a México / 297
    - Impacto económico, biológico y social / 297
  - 6.4.2 Virus del oeste del Nilo / 297
    - Posibles vías de introducción a México / 297
    - Impacto económico, biológico y social / 298
  - 6.4.3 Helmintos parásitos en peces de agua dulce en México / 298
    - Principales vías de introducción / 298
    - Impacto ecológico, económico y social / 298
  - 6.4.4 Zooplancton epicontinental exótico en México / 298
    - Principales vías de introducción / 298
  - 6.4.5 Plancton marino / 301
    - Impacto económico, biológico y social / 301
  - 6.4.6 Moluscos continentales / 302
    - Posibles vías de introducción a México e impactos / 302
  - 6.4.7 Crustáceos exóticos / 303
    - Especies invasoras actuales y potenciales / 303
  - 6.4.8 Peces de agua dulce / 303
    - Especies en riesgo / 303
    - Especies exóticas e invasoras en México / 304
    - Vías de introducción / 304
    - Especies icticas de cultivo actual y potencial / 304
    - Impacto biológico, ecológico, económico y social / 304
  - 6.4.9 Anfibios y reptiles exóticos / 304
    - Vías de introducción e impactos / 305
  - 6.4.10 Macroalgas exóticas / 305
    - Vías de introducción / 305
    - Especies invasoras presentes en México / 305
  - 6.4.11 Malezas acuáticas exóticas / 307
    - Vías de introducción / 307
    - Impacto económico y ecológico / 307
    - Prevención / 308
    - Control / 308
    - Erradicación / 308
- 6.5 Marco legal y políticas públicas en México / 308
- 6.6 Actividades estratégicas / 309
- 6.7 Perspectivas / 309
- 6.8 Necesidades de investigación / 312

Referencias / 312

## Recuadros

Recuadro 6.1. Resumen de la normatividad sobre especies invasoras / 288

Recuadro 6.2. La fauna exótica en las islas del noroeste / 290

Recuadro 6.3. Estudio de caso: la invasión de los peces diablo / 306

## Resumen

Actualmente, en el país residen al menos 46 de las 100 especies invasoras más dañinas del mundo y están afectando los ecosistemas en todo el territorio nacional. Solo la suma de plantas vasculares y vertebrados invasores registrados en México es de 724 especies. Esta cifra sin duda es una subestimación debido a que los esfuerzos dirigidos a enfrentar este problema atienden solo las actividades productivas y no los ecosistemas naturales. En este capítulo se presenta una evaluación del estado actual de la invasión de especies exóticas; se ofrece un marco conceptual general, junto con definiciones básicas, y se hace una breve revisión histórica de los patrones de introducción de las

mismas. En particular se analizan las principales consecuencias de la flora y la fauna introducidas en los ecosistemas mexicanos, enlistando varias de las especies más peligrosas presentes en el país. Después se describen las técnicas disponibles para su control y erradicación, y se revisan algunos casos en el país, junto con el análisis del marco legal relacionado con la prevención, manejo y control de las especies invasoras. Finalmente, se analizan las lecciones aprendidas y se señalan las necesidades de investigación, de vinculación y con respecto a las estrategias apropiadas en los ámbitos regional y nacional.

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Entre las amenazas a la biodiversidad y a la conservación de los ecosistemas y sus servicios ambientales, las invasiones biológicas, junto con la destrucción del hábitat, representan los factores de riesgo más significativos, más extendidos y de mayor impacto (véase el capítulo 1 de este volumen). Aunque no todas las introducciones resultan viables, el número actual de especies introducidas establecidas sobrepasa por mucho la tasa natural de invasión, entendida como la migración de nuevas especies a las comunidades locales (Miller *et al.* 2002). Las especies exóticas invasoras que se han establecido son aquellas introducidas en un ecosistema fuera de su área de distribución natural y cuyas características les confieren la capacidad de colonizar, establecerse y seguir causando daños al ambiente. El impacto de las especies exóticas invasoras sobre los ecosistemas es inmenso. Su repercusión va más allá del daño a la biodiversidad. A menudo las invasiones implican pérdidas económicas cuantiosas y problemas sanitarios severos, por lo que se vuelven una amenaza directa para el bienestar humano. Estas especies, por la frecuencia e intensidad de los disturbios que ocasionan, alteran los ciclos biogeoquímicos, la estructura de los niveles tróficos y actúan como competidores, depredadores, parásitos o patógenos de las especies nativas, condicionando su supervivencia (Goldburg y Triplett 1997). Adicionalmente, la degradación de los ecosistemas vuelve a las especies nativas y a sus hábitats más vulnerables a los efectos de las especies invasoras.

A pesar de su lento despegue, el conocimiento en el campo de las invasiones biológicas ha tenido avances relevantes en los últimos años en el mundo. En los países

más desarrollados, el monto de los proyectos e inversiones en este campo se incrementa de manera vertiginosa. Comparativamente, los avances en México son limitados. La CONABIO estableció el Programa de Especies Invasoras, el cual ha ido creciendo en importancia. Con un enfoque estratégico y orientado al conocimiento para la toma de decisiones, recientemente se ha buscado determinar las prioridades nacionales en materia de especies invasoras (CONABIO *et al.* 2006). A pesar de estos avances, las acciones emprendidas hasta el momento, aisladas y muy puntuales, están lejos de configurarse como parte de una estrategia nacional. Las especies exóticas invasoras son organismos que causan, o tienen el potencial de causar, daños al ambiente, a la economía o a la salud. Hoy día, están consideradas como uno de los principales agentes de cambio ambiental en el planeta (Sala *et al.* 2000). Estas especies afectan la conservación de los ecosistemas, el crecimiento económico y el desarrollo sustentable del mismo. Es reconocido que en muchos casos las especies invasoras contribuyen a la inestabilidad económica y social. No obstante, la cuantificación de los impactos al ambiente y a la sociedad apenas empieza a ser establecida (véase más adelante el apartado sobre impactos económicos y sociales). Las afectaciones causadas por las especies invasoras son múltiples. Van desde el desempleo y la pérdida de productividad en diversas operaciones comerciales hasta daños en la infraestructura y cambios importantes en el suministro de agua y luz. Los impactos pasan por la degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, contaminación genética, contribución al aumento y severidad de desastres naturales, hasta la enfermedad y muerte de los organismos nativos.

## 6.2 ESPECIES INVASORAS EN ECOSISTEMAS TERRESTRES

A lo largo de todo el proceso de evolución, las barreras naturales —océanos, ríos, montañas y desiertos— han desempeñado el papel de factores limitantes de la distribución de las especies y los ecosistemas terrestres. Esto se hace evidente en el caso de la insularidad: las porciones emergidas de las islas contienen los ecosistemas terrestres más aislados, por lo que en ellas ha evolucionado una biota única, en general aislada de la continental. El ser humano, en unos cuantos siglos, ha trasladado y dispersado gran cantidad de especies a través de todas las barreras geográficas mayores.

Por su historia evolutiva y por su relativo o total aislamiento, las especies nativas y endémicas coexisten, interactúan y sobreviven junto con las otras especies del mismo ecosistema, en equilibrios dinámicos y complejos, procesos evolutivos de muy largo aliento. Esto no es así con especies con las que no han tenido contacto. Las especies introducidas súbitamente pueden encontrarse en una condición de gran ventaja frente a las nativas. Es decir, los mecanismos de defensa de las nativas —de comportamiento, mecánicos o bioquímicos— son limitados o están del todo ausentes para enfrentar a las especies introducidas (Primack 2002). En muy poco tiempo puede provocarse una extinción (p. ej., por depredación) o degradarse un hábitat por completo (p. ej., por sobrepastoreo). Este problema se agrava por la amplitud e intensidad del proceso de movilización de especies por parte de los humanos, que no tiene precedente en la escala geológica. Las introducciones, tanto intencionales como accidentales, que ha realizado nuestra civilización son enormes. Los momentos más intensos han ocurrido primeramente durante el descubrimiento y la colonización de América y, el más reciente, con la globalización en marcha. El término introducción significa que la especie ha sido transportada por humanos deliberada o accidentalmente a través de barreras geográficas mayores. Elton (1958) ya se refería a este transporte como una de las mayores conmociones históricas de la flora y fauna mundiales. Desde fines del siglo XIX, cuando los conejos importados comenzaron a causar estragos en la vegetación de Australia, quedó claro que las especies introducidas eran potencialmente dañinas (Enserink 1999). Actualmente, las especies invasoras son tema relevante para la ciencia y el manejo de los recursos naturales.

En los ámbitos científico y de política pública hay aún cuestiones básicas por resolver, incluyendo la consisten-

cia de terminología y conceptos básicos (Espinosa-García *et al.* 2004; Sax *et al.* 2005). Los términos “especies invasoras”, “introducidas”, “exóticas”, “no nativas”, “no indígenas”, entre otros, se usan indistintamente con frecuencia. El común denominador es que todos se refieren a especies que se encuentran fuera de su área de distribución natural. En México esta definición se aplica oficialmente para el concepto de especie introducida o exótica (DOF 2000). En cuanto al término “especie invasora”, la Semarnat (2001) la define como “aquella que alcanza un tamaño poblacional capaz de desplazar o eliminar a otras especies dentro de un hábitat o ecosistema, alterando la estructura, composición y funcionalidad de este. Las especies invasoras pueden ser exóticas o nativas”. De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (actualmente Unión Mundial para la Naturaleza), una especie invasora es aquella especie exótica o trasladada que ha sido introducida accidental o intencionalmente fuera de su distribución natural, y que tiene la capacidad de colonizar, invadir y persistir, y su introducción y dispersión amenazan la diversidad biológica, causando daños al ambiente, a la economía y a la salud humana. Las especies invasoras son introducidas por el hombre de manera intencional o accidental en nuevas áreas geográficas. En cada invasión pueden reconocerse tres fases: introducción, establecimiento y expansión. Luego de que se establecen, tienen el potencial de proliferar y diseminarse en detrimento de los intereses humanos, los ecosistemas y su biodiversidad. En el ámbito más amplio de la bibliografía en idioma español no se ha llegado a un consenso respecto al uso de estos términos. Las definiciones pueden variar dependiendo del autor. La UICN realizó un análisis detallado de los nombres y calificativos usados en inglés y propone una estandarización de conceptos para mejorar los marcos legales relacionados con el manejo y control de estas especies (Shine *et al.* 2000). Las vías de introducción de las especies invasoras son múltiples y variadas, debido, entre otros factores, a la deficiencia en la vigilancia de los sistemas fronterizos y la falta de medidas de prevención y control en estos. La globalización y el incremento en la eficacia del transporte —terrestre, aéreo y acuático— han propiciado la entrada masiva, intencional o accidental, de especies no nativas a los ecosistemas. No se pueden soslayar las vías de dispersión natural, como el caso de los ríos, cuyo movimiento entre cuencas es libre, o las corrientes marinas que facilitan el movimiento sin control de miles de especies, y la vía aérea para el caso de las aves.

### 6.2.1 Resumen histórico

#### De los primeros pobladores a los conquistadores

Desde los inicios de la domesticación de especies, la humanidad ha acarreado flora y fauna doméstica en cada nueva colonización. Conforme las civilizaciones se dispersan, el número de especies exóticas introducidas crece. Las introducciones intencionales tienen que ver con propósitos de aprovechamiento y ornamentales. Las accidentales incluyen semillas, insectos y roedores, transportados con otros productos. A partir del siglo XVI, con el descubrimiento de América, la tasa de introducciones se disparó (Primack 2002). Las plantas introducidas que dan sustento, fibras, medicinas, albergue y solaz a la humanidad son proporcionalmente pocas. Sin embargo, han sido introducidas en casi todas las regiones del planeta (Pimentel 2002). Vertebrados pequeños y grandes fueron transportados en barcos con diversos propósitos, desde asegurar carne fresca a los navegantes en tránsito hasta intentos por abastecer la industria textil y otras. Los barcos fueron y siguen siendo una de las principales vías de introducción no intencional (O'Connor y Eason 2000). La "aclimatación de las sociedades" en el siglo XIX pasó por poblar América y Australia con plantas, aves y mamíferos europeos (Enserink 1999). De esta manera, la mayoría de las especies exóticas de mamíferos arribaron en el periodo posterior a la colonización europea (Shine *et al.* 2000; Blackburn *et al.* 2004). Blackburn *et al.* (2004) mostraron que la extinción de aves endémicas de las islas oceánicas se correlaciona estadísticamente de manera directa con el número de especies de mamíferos depredadores introducidos después de la llegada de los europeos.

#### Situación actual

La globalización actual facilita el movimiento y la introducción de especies (Shine *et al.* 2000). Las travesías aéreas intercontinentales toman unas horas. Miles de barcos inmensos zarpan a diario cruzando los océanos. Así, la aceleración del comercio, el transporte y el turismo internacional incrementan el flujo de especies domésticas y silvestres. Mientras la globalización puede ser el "mantra" de la nueva economía, para el ambiente puede resultar desastroso (Enserink 1999; Perrings *et al.* 2005). La normatividad que rige las citadas actividades es muy limitada. A eso se suma la falta de conocimiento general sobre las consecuencias y una escasa aplicación de las leyes existentes, lo que provoca frecuentes "escapes" de las

áreas donde se planeaba confinar a la especie introducida. Al mismo tiempo, numerosas introducciones controladas han estado acompañadas de introducciones accidentales, además de enfermedades y parásitos.

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) intercepta en las fronteras de ese país alrededor de 3 000 plagas potenciales cada año (Enserink 1999), aunque es obvio que muchas otras pasan inadvertidas. Un caso extremo es el estado de Florida, donde una de cada tres o cuatro especies de plantas es exótica (Enserink 1999). Y aun con algunas especies exóticas, cuya presencia en primera instancia pareciera inocua o hasta útil, la posibilidad de que se vuelvan dañinas a largo plazo debería ser considerada seriamente (Villaseñor y Espinosa-García 2004). En México, tanto la información (p. ej., referente a vías de introducción, listados y distribución) como las acciones realizadas para mitigar los daños de las especies exóticas (prevención, control y erradicación) son insuficientes. Respecto al panorama mundial, al cotejar con la lista de las "100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo", compilada por la UICN, al menos 46 de las especies de esta lista mundial se encuentran en nuestro país, 36 exóticas y 10 nativas que han sido reportadas como invasoras en otras partes del mundo (cuadro 6.1). No solo debe atenderse el caso de las especies traídas de otros continentes. También las especies extraídas de una región de un país resultarán exóticas (y potencialmente invasoras) al llevarse a otra región biogeográfica del mismo. En el caso de las invasoras, aunque sean de la misma región pueden llegar a tener efectos tan perjudiciales como las especies importadas desde sitios muy lejanos. Un ejemplo de ello es la boa (*Boa constrictor*), especie nativa de la Península de Yucatán y que fue introducida en Isla Cozumel en 1971 para la filmación de una película. Martínez-Morales y Cuarón (1999) indican que actualmente la boa tiene una población abundante y de amplia distribución en la isla, lo que podría estar afectando a varias especies de reptiles, aves y mamíferos nativos. Las consecuencias ecológicas de esta introducción aún se desconocen.

El problema de las especies exóticas invasoras es tan grave —una de las mayores preocupaciones para la conservación mundial— que es objeto de esfuerzos de cooperación internacional como el Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP por sus siglas en inglés). En Europa, la Convención de Berna llamó a implementar un control estricto y a aplicar programas de erradicación de las especies ya introducidas (Genovesi 2005). En lo que respecta a nuestro continente, la Comisión de Cooperación

**Cuadro 6.1** Situación en México respecto a 100 de las especies invasoras más dañinas del mundo

Organismo	Especie	Organismo	Especie
<b>MICROORGANISMOS</b>			
Cogollo racimoso del banano	"Banana bunchy top"	Pino resinero	<i>Pinus pinaster</i>
Malaria aviar	<i>Plasmodium relictum</i>	▶ Salicaria púrpura	<i>Lythrum salicaria</i>
▶ Peste bovina	Virus rinderpest	Shoebuttón ardisia	<i>Ardisia elliptica</i>
<b>HONGOS</b>		▶ Siam	<i>Chromolaena odorata*</i>
▶ Afanomicosis	<i>Aphanomyces astac</i>	▶ Tamarisco	<i>Tamarix ramosissima</i>
Chanero del castaño	<i>Cryphonectria parasitica</i>	Tojo	<i>Ulex europaeus</i>
Grafiosis del olmo	<i>Ophiostoma ulmi</i>	Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>
▶ Podredumbre de raíz	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Wedelia	<i>Sphagnetica trilobata</i>
▶ Quitridiomycosis cutánea	<i>Batrachochytrium dendrobatidis</i>	<b>INVERTEBRADOS ACUÁTICOS</b>	
<b>PLANTAS ACUÁTICAS</b>		Almeja asiática	<i>Potamocorbula amurensis</i>
▶ Alga wakame	<i>Undaria pinnatifida</i>	Cangrejo chino	<i>Eriocheir sinensis</i>
Caulerpa	<i>Caulerpa taxifolia</i>	Cangrejo de mar común	<i>Carcinus maenas</i>
Espartina	<i>Spartina anglica</i>	Caracol manzana dorado	<i>Pomacea canaliculata</i>
▶ Jacinto de agua	<i>Eichhornia crassipes</i>	Ctenóforo americano	<i>Mnemiopsis leidyi</i>
<b>PLANTAS TERRESTRES</b>		Estrella de mar japonesa	<i>Asterias amurensis</i>
Acacia negra	<i>Acacia mearnsii</i>	Mejillón	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
Acacia pálida	<i>Leucaena leucocephala</i>	Mejillón cebra	<i>Dreissena polymorpha</i>
Árbol de la pimienta	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pulga espinosa de anzuelo	<i>Cercopagis pengoi</i>
Árbol de la quinina	<i>Cinchona pubescens</i>	<b>INVERTEBRADOS TERRESTRES</b>	
▶ Arroyuda	<i>Cecropia peltata*</i>	Áfido del ciprés	<i>Cinara cupressi</i>
▶ Caña común	<i>Arundo donax</i>	Avispa común	<i>Vespula vulgaris</i>
Carpinchera mimosa	<i>Mimosa pigra</i>	Caracol gigante africano	<i>Achatina fulica</i>
Carrizo marciego	<i>Imperata cylindrica</i>	Caracol lobo	<i>Euglandina rosea</i>
▶ Cayeputi australiano	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Escarabajo asiático de cuerno largo	<i>Anoplophora glabripennis</i>
▶ Chumbera	<i>Opuntia stricta*</i>	Escarabajo de khapra	<i>Trogoderma granarium</i>
▶ Clidemia	<i>Clidemia hirta</i>	▶ Hormiga argentina	<i>Linepithema humile</i>
Edichio	<i>Hedychium gardnerianum</i>	Hormiga icona	<i>Pheidole megacephala</i>
▶ Falopia japonesa	<i>Fallopia japonica</i>	Hormiga loca	<i>Anoplolepis gracilipes</i>
Faya	<i>Myrica faya</i>	▶ Hormiga roja de fuego	<i>Solenopsis invicta</i>
Frambueso amarillo	<i>Rubus ellipticus</i>	Oruga peluda	<i>Lymantria dispar</i>
▶ Guaco mikania	<i>Mikania micrantha*</i>	▶ Mosca blanca del tabaco	<i>Bemisia tabaci</i>
Guayabo fresero	<i>Psidium cattleianum</i>	Mosquito de la malaria	<i>Anopheles quadrimaculatus</i>
Hiptage	<i>Hiptage benghalensis</i>	Mosquito tigre asiático	<i>Aedes albopictus</i>
▶ Kudzú	<i>Pueraria lobata</i>	▶ Pequeña hormiga de fuego	<i>Wasmannia auropunctata</i>
▶ Lantana	<i>Lantana camara*</i>	Planaria terrestre	<i>Platydemus manokwari</i>
▶ Lechetrezna frondosa	<i>Euphorbia esula</i>	Termita subterránea de Formosa	<i>Coptotermes formosanus shiraki</i>
Ligustro	<i>Ligustrum robustum</i>	<b>ANFIBIOS</b>	
▶ Mezquite	<i>Prosopis glandulosa*</i>	Coquí común	<i>Eleutherodactylus coqui</i>
▶ Miconia	<i>Miconia calvescens*</i>	▶ Rana toro	<i>Rana catesbeiana</i>
		▶ Sapo gigante	<i>Bufo marinus*</i>



Cuadro 6.1 [concluye]

Organismo	Especie	Organismo	Especie
<b>PECES</b>		<b>MAMÍFEROS</b>	
▶ Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	▶ Ardilla gris americana	<i>Sciurus carolinensis</i>
▶ Gambusia	<i>Gambusia affinis</i>	Armiño	<i>Mustela erminea</i>
▶ Perca americana	<i>Micropterus salmoides*</i>	▶ Cabra	<i>Capra hircus</i>
Perca del Nilo	<i>Lates niloticus</i>	Ciervo	<i>Cervus elaphus</i>
Pez gato andador	<i>Clarias batrachus</i>	▶ Coipú	<i>Myocastor coypus</i>
▶ Tilapia de Mozambique	<i>Oreochromis mossambicus</i>	▶ Conejo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
▶ Trucha arco iris	<i>Oncorhynchus mykiss*</i>	▶ Gato doméstico	<i>Felis catus</i>
▶ Trucha común	<i>Salmo trutta</i>	▶ Jabalí	<i>Sus scrofa</i>
<b>AVES</b>		Macaco cangrejero	<i>Macaca fascicularis</i>
Bulbul café	<i>Pycnonotus cafer</i>	Mangosta javanesa	<i>Herpestes javanicus</i>
▶ Estornino pinto	<i>Sturnus vulgaris</i>	▶ Rata negra	<i>Rattus rattus</i>
Miná común	<i>Acridotheres tristis</i>	▶ Ratón doméstico	<i>Mus musculus</i>
<b>REPTILES</b>		Zarigüeya australiana	<i>Trichosurus vulpecula</i>
Culebra arbórea café	<i>Boiga irregularis</i>	▶ Zorro	<i>Vulpes vulpes</i>
▶ Galápagos de Florida	<i>Trachemys scripta</i>		

Fuente: modificado de Lowe *et al.* (2004.)

\* Especies de México invasoras en otras partes del mundo.

Nota: las especies precedidas del signo ▶ (46) están presentes en el país.

Ambiental y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC), la Alianza para la Seguridad y Prosperidad de América del Norte (ASPN), la Organización Marítima Internacional (OMI) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), del que México es signatario, han definido el tema de las especies invasoras como prioritario.

### 6.3 IMPACTOS DE LA FLORA Y LA FAUNA INTRODUCIDAS

#### 6.3.1 Impacto biológico y ecológico

Las especies exóticas perjudican los servicios ambientales y por consiguiente el bienestar humano. Se ha demostrado que las especies exóticas son responsables de un elevadísimo número de extinciones y de muchos otros daños ambientales catastróficos, que se expresan de manera exacerbada en las islas (Wilson *et al.* 1992; Pimentel 2002; Primack 2002; Veitch y Clout 2002; Bolen y Robinson 2003; Courchamp *et al.* 2003; véase el capítulo 10 del volumen I). Aguirre-Muñoz *et al.* (2008) y Samaniego-Herrera *et al.* (2008) documentan el caso de las islas de México. Czech y Krausmann (1997) señalan los efectos

de las especies exóticas invasoras como la causa primordial de amenaza para las especies nativas de Estados Unidos. En México se han realizado solo algunos análisis detallados al respecto, como el de las islas, y a la fecha se ha registrado ya la extinción de 22 especies de vertebrados nativos por depredación o competencia por parte de mamíferos exóticos invasores (cuadro 6.2).

Por otro lado, las plantas exóticas invasoras, por ejemplo *Bromus tectorum* (Steward y Hull 1949; Mack 1981), han degradado millones de hectáreas de áreas naturales en todo el mundo. Sin embargo, las autoridades en materia agrícola en general sobrevaloran los beneficios económicos de los cultivos importados y minimizan los efectos negativos sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas propios.

De los análisis realizados por Mooney y Hobbs (2000), Van Driesche y Van Driesche (2000) y Todd (2001) sobre los impactos principales de las especies exóticas a escala global, *grosso modo* se puede distinguir entre impactos directos e indirectos. Entre los directos se cuentan la depredación, la competencia, la alteración de hábitats y los daños físicos y químicos al suelo. Por otro lado, los impactos indirectos —introducción de semillas, propágulos, enfermedades, endo y ectoparásitos y desequilibrio

**Cuadro 6.2** Vertebrados terrestres de México extintos por causa de especies exóticas invasoras

Especie	Nombre común	Estatus taxonómico	Referencia
<b>PECES</b>			
<i>Notropis orca</i>	Carpa de El Paso	Especie endémica de México	Ceballos (1993)
<b>REPTILES</b>			
<i>Apalone ater</i>	Tortuga de caparazón blando de Cuatrociénegas	Especie endémica de Cuatrociénegas, Coahuila	Ceballos (1993)
<b>AVES</b>			
<i>Oceanodroma macrodactyla</i>	Petrel de Guadalupe	Especie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Caracara lutosa</i>	Caracara de Guadalupe	Subespecie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Zenaida graysoni</i>	Paloma de Socorro	Especie endémica de Isla Socorro	Jehl y Parkes (1983)
<i>Micrathene whitneyi graysoni</i>	Tecolote enano de Socorro	Subespecie endémica de Isla Socorro	Jehl y Parkes (1983)
<i>Colaptes auratus rufipileus</i>	Carpintero	Subespecie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Thryomanes bewickii brevicauda</i>	Saltapared de Guadalupe	Subespecie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Regulus calendula obsurus</i>	Reyezuelo sencillo de Guadalupe	Subespecie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Pipilo maculatus consobrinus</i>	Toqui pinto de Guadalupe	Subespecie endémica de Isla Guadalupe	Jehl y Everett (1985)
<i>Aimophila ruficeps sanctorum</i>	Zacatonero	Subespecie endémica de Isla Todos Santos	McChesney y Tershy (1998)
<i>Quiscalus palustris</i>	Zanate del Lerma	Especie endémica de México	Ceballos et al. (2002)
<i>Carpodacus mexicanus mcgregori</i>	Pinzón mexicano	Subespecie endémica de Isla San Benito	Boswall (1978)
<b>MAMÍFEROS</b>			
<i>Chaetodipus baileyi fornicatus</i>	Ratón de abazones	Subespecie endémica de Isla Monserrat	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)
<i>Neotoma anthonyi</i>	Rata cambalachera de Todos Santos	Especie endémica de Isla Todos Santos	Mellink (1992b)
<i>Neotoma bunkerii</i>	Rata de campo de Coronados	Especie endémica de las islas Coronados	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)
<i>Neotoma martinensis</i>	Rata cambalachera de San Martín	Especie endémica de Isla San Martín	Mellink (1992a)
<i>Neotoma varia</i>	Rata de Turner	Especie endémica de Isla Turner	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)
<i>Oryzomys nelsoni</i>	Rata arrocera de Tres Marías	Especie endémica de Isla María Madre	Wilson (1991)
<i>Peromyscus guardia harbitsoni</i>	Ratón de Ángel de la Guarda	Subespecie endémica de Isla Granito	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)
<i>Peromyscus guardia mejiae</i>	Ratón de Mejía	Subespecie endémica de Isla Mejía	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)
<i>Peromyscus maniculatus cineritius</i>	Ratón de San Roque	Subespecie endémica de Isla San Roque	Álvarez-Castañeda y Patton (1999)
<i>Peromyscus pembertoni</i>	Ratón de San Pedro Nolasco	Especie endémica de San Pedro Nolasco	Álvarez-Castañeda y Ortega-Rubio (2003)



en las redes tróficas— también ocasionan cambios dramáticos en las comunidades y en los ecosistemas.

### 6.3.2 Flora terrestre exótica en México

En 2007, la CONABIO publicó una lista de 665 especies invasoras en México (IMTA *et al.* 2007). De estas, 23 fueron identificadas como prioritarias de acuerdo con tres criterios: *a*] crecen en ambientes naturales, *b*] son malezas ambientales nocivas en otros países y *c*] es viable su erradicación, contención o mitigación (CONABIO *et al.* 2006). En lo que respecta a plantas fanerógamas, Villaseñor y Espinosa-García (2004) publicaron una lista de 618 especies exóticas presentes en el país. Señalan que la proporción de estas especies (2.7%) es baja si se compara con la gran riqueza de especies nativas (22 968), y en coincidencia con escalas espaciales menores (Van Devender *et al.* 1997). Sin embargo, el listado nacional únicamente incluye registros de plantas exóticas en zonas no perturbadas, por lo que especies registradas como introducidas o cultivadas, pero sin evidencia de haber escapado a hábitats naturales, no son consideradas. Esto, aunado a la creciente actividad comercial y turística y a estrategias de prevención inadecuadas, indica que el número de plantas exóticas establecidas en los ecosistemas naturales del país crece cada año. En las zonas más pobladas la tasa de introducción es mayor. Espinosa-García *et al.* (2004) encontraron una correlación positiva entre el tamaño de la población humana o del disturbio causado por humanos y el número de especies de plantas exóticas.

Un caso notable en México es el del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*), una especie originaria del sureste de Asia y del este de África que es usada como forraje en muchos países (Sanderson *et al.* 1999). Durante las décadas de los treinta y cuarenta fue introducido en Estados Unidos y México para mejorar los forrajes de las zonas de pastoreo. En poco tiempo, los pastos buffel se dispersaron de forma inusitada y ahora cubren más de un millón de hectáreas, tan solo en Sonora (Van Devender *et al.* 1997; Arriaga *et al.* 2000). Estos pastizales representan una amenaza para la biodiversidad debido a que son promovidos a partir de la remoción de la cubierta vegetal original y a que invaden y transforman hábitats naturales (Búrquez *et al.* 2002; Arriaga *et al.* 2004).

El género *Tamarix*, que incluye árboles y arbustos introducidos del este de Europa (Gaskin y Schaal 2002), se ha usado por décadas para la fijación de dunas, formación de barreras rompevientos y reforestación de hábitats áridos y semisalinos. Ampliamente distribuido en las zonas

templadas del país, incluyendo áreas naturales, este género está incrementando la salinidad del suelo debido a que absorbe sales de las capas profundas. Además, tiene efectos alelopáticos y tiende al crecimiento malezoide dado que también se propaga vegetativamente a partir de raíces. Además, es capaz de invadir ambientes diversos provocando decrementos importantes en la diversidad de los bosques riparios (Zimmerman 1997). Mack *et al.* (2000), entre otros, señalan una opción a la erradicación llana: una estrategia de manejo del ecosistema a largo plazo. En el mismo sentido, Nagler *et al.* (2005) sugieren como una opción viable la restauración pasiva ante la invasión de *Tamarix*, más que la erradicación de esta invasora.

En las costas del país, el mal llamado pino de mar o pino salado (*Casuarina* spp.) está causando problemas muy serios en los humedales y manglares. El género *Casuarina* es originario de Oceanía y Asia. Varias especies de *Casuarina* fueron introducidas con fines de aprovechamiento, pero el proyecto se abandonó muy pronto. Se encontró que la madera es quebradiza y muy susceptible a las termitas. La pulpa para papel es de baja calidad y por su concentración de taninos es poco recomendable para forraje (Morton 1980). Actualmente hay poblaciones densas de casuarinas en las costas del Golfo de México y el Mar Caribe, así como en algunos puntos aislados continentales. En la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an se realizó en 1995 un programa de erradicación de casuarinas.

### Invertebrados

Los insectos invasores están afectando no solo la biodiversidad, sino que ocasionan graves pérdidas de recursos agrícolas y forestales. Algunas de las especies presentes en los bosques de Norteamérica y que constituyen un riesgo para México están enlistadas en las bases de datos del sistema de información de plagas forestales para Norteamérica <[www.spfnic.fs.fed.us/exfor](http://www.spfnic.fs.fed.us/exfor)>. *Agrilus planipennis* y *Sirex noctilio* afectan respectivamente a los pinos (*Pinus* spp.) y fresnos (*Fraxinus* spp.) en Estados Unidos, y si han llegado a México representan un importante riesgo económico y ecológico (CONABIO *et al.* 2006).

Entre las especies más peligrosas para México —por los efectos desastrosos que han causado en otros países— están la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) y el cactófago *Hypogeococcus festerianus* (IMTA *et al.* 2007). La palomilla del nopal es originaria de Sudamérica y fue utilizada como control biológico de *Opuntia* spp. en Australia y Sudáfrica. En México, *C. cactorum* fue detectada en agosto de 2006 en Isla Mujeres, y en Isla

Contoy, en el Caribe, en mayo de 2007 (Senasica 2008). Evitar su penetración y dispersión al territorio continental debe ser una prioridad nacional, ya que de lo contrario habría un enorme impacto sobre la ecología de las abundantes zonas áridas del país, donde el género *Opuntia* es pieza clave. Se estima que para algunas de las especies de cactus de este género, la invasión de la palomilla podría incluso significar la extinción (Zimmermann *et al.* 2000; Soberón *et al.* 2001; Zimmermann *et al.* 2004; Zimmermann y Pérez-Sandi 2006) y afectaría diversas especies de vertebrados e invertebrados que dependen de los nopales. Asimismo, tendría serias consecuencias en toda la economía nacional que depende del aprovechamiento del nopal y la tuna, además de las consecuencias sobre nuestras profundas tradiciones culinarias y culturales. Aunque la Sagarpa declaró erradicado el brote en Isla Mujeres en septiembre de 2008 (NAPPO 2008) y se ha comenzado a tomar medidas preventivas para controlar la infestación de *C. cactorum*, se requiere implementar un sistema de alerta temprana y de respuesta inmediata en diversos estados de la República mexicana.

### Vertebrados

Los impactos más severos ocasionados por vertebrados tienen que ver con los mamíferos exóticos sobre las poblaciones de aves y mamíferos nativos. Un ejemplo es el trabajo de Atkinson y Atkinson (2000), el cual trata sobre las 14 especies de vertebrados terrestres más dañinas en las islas del Pacífico. De ellas, 12 son mamíferos: cuatro roedores, cuatro carnívoros y cuatro herbívoros de distintos órdenes (las dos restantes son un anfibio y un reptil). Los mamíferos exóticos representan una de las causas principales de las extirpaciones y extinciones de aves alrededor del mundo (Blackburn *et al.* 2004). México tiene un avance notable en restauración de islas por medio de la erradicación de vertebrados introducidos (Samaniego-Herrera *et al.* 2008). Se han erradicado a la fecha 40 poblaciones de vertebrados exóticos —gatos ferales, cabras, ratas, cerdos, etc.— de 27 islas del noroeste de México. La información sobre programas de control y erradicación de fauna exótica en México es notablemente escasa para un país megadiverso. En 2007 la CONABIO reportaba 56 especies de vertebrados invasores: 10 especies de anfibios y reptiles, 30 de aves y 16 de mamíferos (CONABIO 2007b). Álvarez-Romero *et al.* (2008) realizaron una revisión del grupo de los mamíferos exóticos para el país y reportan un total de 58 especies. Entre los impactos negativos de estas especies se cuentan la extirpación de do-

cenos de colonias de aves marinas y la extinción de 22 especies de vertebrados nativos (cuadro 6.2). Se puede prever que de no actuar en forma inmediata estas listas seguirán creciendo (cuadro 6.3).

### 6.3.3 Impacto económico y social

Pimentel *et al.* (2000) y Pimentel *et al.* (2005) calcularon las pérdidas anuales (en dólares) debidas a especies exóticas invasoras en cinco países: Estados Unidos, 120 000 millones —aspecto analizado antes por el Congreso de ese país (Simberloff 1996)—; Sudáfrica, 7 000 millones; Reino Unido, 12 000 millones; Brasil, 50 millones, e India, 117 000 millones. En Australia, las pérdidas económicas atribuidas a las cabras ferales suman 25 millones de dólares al año (Parkes *et al.* 1996). Simberloff (1996) menciona que los costos económicos y el daño a la salud humana por patógenos y parásitos introducidos no se han estimado formalmente, pero deben ser enormes.

El mosquito tigre (*Aedes albopictus*), introducido en los años ochenta de Japón a Estados Unidos, ataca más hospederos que ninguna otra especie (incluyendo reptiles, aves y mamíferos), y puede transmitir diversas enfermedades, entre las que se cuentan la encefalitis, la fiebre amarilla y el dengue. En México no existen estimaciones generales de pérdidas económicas relacionadas con especies exóticas. El costo debe ser significativo a juzgar por las estimaciones de otros países (Espinosa-García 2003). A los costos derivados del efecto y manejo de las especies ya introducidas es necesario sumar los gastos referentes a la prevención, detección y erradicación temprana, siempre menores que el control, la mitigación o la erradicación.

**Cuadro 6.3** Resumen del número de especies nativas y exóticas invasoras presentes en México

Taxa	Especies nativas en México (endémicas)	Especies exóticas invasoras en México	Referencia
Plantas	22 800 (9 300)	665	Conabio 2007a, b
Anfibios	361 (174)	2	Flores-Villela y Gerez 1994
Reptiles	804 (368)	8	Flores-Villela y Canseco 2004.
Aves	1 060 (111)	30	Conabio 2007a, b
Mamíferos	522 (157)	16	Conabio 2007a, b; Ceballos 1999

### 6.3.4 Prevención, control y erradicación

#### Prevención

Una de las mejores acciones para enfrentar el grave problema de la introducción de especies es la prevención. Esta acción es más costeable, económica y ambientalmente amigable que cualquier medida de remediación aplicada para combatir una introducción (Shine *et al.* 2000). Considerando la severidad de los daños, se deben crear, promover y aplicar medidas locales e internacionales para prevenir la introducción de nuevas especies, o su reintroducción en ciertos casos. Las acciones preventivas son diferentes si se trata de introducciones intencionales o accidentales. Las introducciones intencionales pueden prevenirse mediante prohibiciones totales, parciales o condicionadas. La previsión de introducciones accidentales debe identificar los principales vectores y establecer sistemas de revisiones y cuarentenas. Por último, y no menos importante, la educación ambiental de todos los sectores —educación básica, opinión pública, academia, gobiernos y comunidades locales— es un requisito indispensable para que cualquier regulación funcione. Esto es particularmente cierto para los países menos desarrollados, como México, donde la normatividad a este respecto es pobre y los recursos para vigilancia son escasos (véase recuadro 6.1). Es indispensable un programa de difusión nacional, para el público en general, que promueva códigos de conducta voluntarios orientados a prevenir la introducción de especies.

#### ¿Control o erradicación?

Dada la crisis por la que atraviesa la biodiversidad actual, las acciones de conservación son indispensables pero, en muchos casos, insuficientes debido al grado de deterioro. La restauración ecológica se ha reconocido como un deber de la humanidad, sobre todo en los casos en que los ecosistemas se encuentran sumamente alterados. Entre los diversos instrumentos para la restauración ecológica están el control y la erradicación de especies exóticas. El control implica limitar la abundancia de la población problema, por medio de un esfuerzo constante y sostenido a largo plazo. La erradicación persigue la eliminación total de la población y concentra el esfuerzo en un periodo definido. Después de una erradicación es esencial implementar programas permanentes enfocados a prevenir nuevas invasiones. Así, tanto los programas de control como de erradicación deben seguir cuatro fases esencia-

les: 1] definición del problema, 2] elaboración del programa, 3] implementación del programa, 4] evaluación y monitoreo. Debido a que muchas especies introducidas suelen dispersarse rápidamente, la erradicación solo resulta económica y ecológicamente viable en ciertas situaciones, como en el caso de introducciones recientes. El caso de las islas y los oasis representa una excelente oportunidad para llevar a cabo en forma eficaz erradicaciones de especies exóticas invasoras y evitar con ello cientos de extinciones de flora y fauna nativas.

La opinión pública es cada vez más importante en el desarrollo y éxito de los programas de control y erradicación de especies exóticas. Cuando es favorable, contribuye al éxito en el largo plazo, ya que el riesgo de reintroducciones se minimiza. Por el contrario, la oposición de ciertos grupos radicales ha obstaculizado algunas campañas de erradicación (Donlan y Comendant 2003; Lowe *et al.* 2004; Genovesi 2005). Tal es el caso de algunos grupos de protección de los animales que, contradictoriamente, prefieren defender la existencia de vertebrados exóticos a pesar de su impacto, muchas veces irreversible, a la fauna y flora nativas, y por ende al capital natural nacional.

Se reconoce en todo el mundo que la erradicación de especies exóticas es una herramienta clave para la conservación de la biodiversidad, y que mientras menos la utilizemos mayores serán los efectos negativos irreversibles acumulados (Byers *et al.* 2002). Las principales barreras que impiden o dificultan una aplicación a gran escala de esta estrategia son: *a*] la ausencia de medidas oportunas —como complemento inevitable del principio precautorio cuando el daño ha sido hecho— por parte de los tomadores de decisiones; *b*] los marcos legales inadecuados; *c*] La falta de personal especializado en investigación de avanzada y en trabajo aplicado de campo, y *d*] la falta de un financiamiento integral. A pesar de las limitaciones de todo tipo, el caso de las islas de México es un proceso en marcha de erradicación exitosa de especies introducidas, que destaca en el mundo (Aguirre Muñoz *et al.* 2005, 2008). De acuerdo con Genovesi y Shine (2003), para prevenir y dar respuestas eficientes, las políticas nacionales deben: *a*] promover la educación ambiental como instrumento que facilite el involucramiento y la participación de las comunidades locales en los proyectos de erradicación; *b*] revisar la legislación para asegurar que el estatus de las especies exóticas sea compatible con las medidas de mitigación; *c*] involucrar en la problemática a las diferentes dependencias gubernamentales, para hacer más eficientes los procedimientos de autorización y

**RECUADRO 6.1** RESUMEN DE LA NORMATIVIDAD SOBRE ESPECIES INVASORAS

Virginia Cornett • Porfirio Álvarez

## PANORAMA DE LA REGULACIÓN

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) reconoce en la *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*, publicada en 2000, de acuerdo con el compromiso contraído como signatario del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), que es necesario enfrentar el problema de las especies exóticas para proteger y conservar la biodiversidad de México. Las acciones prioritarias propuestas fueron las siguientes: *a*] desarrollar un inventario de las especies exóticas terrestres y acuáticas presentes en el territorio mexicano; *b*] establecer un programa nacional de control o erradicación de especies exóticas; *c*] establecer disposiciones legales, administrativas y políticas que regulen la translocación y el movimiento de especies; *d*] imponer la obligatoriedad de hacer evaluaciones técnicas y científicas del impacto ambiental, previas a la autorización para la translocación e introducción de especies, y *e*] crear un comité dictaminador permanente con la responsabilidad específica de resolver los asuntos relativos a las especies exóticas y a la translocación de especies.

Hasta la fecha, y a ocho años de la publicación de la *Estrategia nacional*, solamente existen algunos pasos encaminados a cumplir con los incisos *a*] y *d*], por medio de los esfuerzos de la CONABIO y la Semarnat con otros órganos, como la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), para desarrollar un inventario de especies invasoras en México, estudiar las vías de introducción de las mismas y definir lineamientos para un análisis de riesgo. Con estos procesos esenciales en marcha, es importante ahora establecer las políticas y reglas para la prevención y el control de la introducción de especies invasoras. En relación con esta segunda etapa, el Tercer Informe Nacional de México a la CDB presentado en 2006 concluye lo siguiente: “Existen pocos avances en la materia, ya que es incipiente el avance en sistemas para prevenir y controlar especies invasoras; lo anterior se debe a una desatención por parte de los sectores involucrados, y es necesario incrementar los recursos financieros, la investigación y tecnología”.

## NORMATIVIDAD ACTUAL

En el marco internacional, México es signatario de la mayoría de los instrumentos que contienen alguna aplicación respecto a las especies invasoras. Estos tratados internacionales imponen

responsabilidades a sus signatarios. La CDB, por ejemplo, en su artículo 8 inciso h, establece que cada parte contratante “impedirá que se introduzcan, controlará o erradicará las especies exóticas que amenacen a ecosistemas, hábitats o especies”.

En el contexto regional, México es miembro de la Organización Norteamericana para la Protección de las Plantas (NAPPO), que establece estándares fitosanitarios regionales para la exportación e importación de plantas; de la CCA, que está trabajando con la CONABIO y la Sagarpa en los aspectos antes mencionados, y de la Alianza para la Seguridad y la Prosperidad de América del Norte, que tiene en su agenda “combatir la propagación de especies invasoras tanto en aguas costeras como en aguas dulces”.

Con base en lo anterior, se puede ver que México ha suscrito compromisos importantes en relación con la regulación de especies invasoras en el marco internacional y regional. Sin embargo, este marco, en general, establece ciertas guías y estándares que requieren una implementación nacional, y dicha implementación supone un reto más para México. En los últimos años se han llevado a cabo foros binacionales (entre México y Estados Unidos) y nacionales para definir la agenda y la coordinación institucional, pero el gobierno todavía no ha llegado al punto de emitir una estrategia o un plan nacional para especies invasoras, no ha desarrollado la legislación ni asignado responsabilidades.

Por otro lado, sí existe en México un marco bien establecido para el manejo de plagas de plantas y animales mediante normas fitosanitarias y zoonosanitarias. La Sagarpa, por conducto del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), es la encargada de aplicar estas normas. En general, hay poca atención por parte de dichos órganos a las llamadas especies invasoras, fuera de ciertas plagas, ya identificadas y normadas, de animales y plantas relacionados con la agricultura y la ganadería.

Finalmente, la Semarnat, por medio de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) y de la Dirección General de Inspección de Vida Silvestre (DGCIVS), es la responsable de vigilar el cumplimiento de la normatividad aplicable al manejo y aprovechamiento de la vida silvestre. Para ello, opera un programa de inspección en puertos, aeropuertos internacionales y puntos fronterizos. Asimismo, la Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas, de la Semarnat, en su sección sobre ecosistemas y biodiversidad, propone objetivos estratégicos y tácticos específicos para controlar las especies invasoras. Ello

hace pensar que existe una infraestructura reglamentaria que se puede extender para cubrir un concepto más amplio de especies invasoras, una vez que se establezcan la política y el marco legal, y se implemente la capacitación a funcionarios, no solamente de la Profepa sino también de la Sagarpa, la Secretaría de Economía y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre otros sectores.

Se requiere ahora una revisión detallada de la legislación y una delimitación de responsabilidades para encontrar los vacíos regulatorios y desarrollar una estrategia nacional para corregirlos y manejar el problema de las especies invasoras de

manera adecuada. El plan de acción de dicha estrategia tendrá que determinar, como primer paso, qué tipo de institución vigilará la política y la aplicación de las leyes, ya sea una nueva autoridad o un órgano de coordinación entre los sectores involucrados, y si se debe crear una nueva ley marco o simplemente complementar las leyes y reglamentos existentes. Finalmente, será esencial desarrollar las normas oficiales mexicanas que regulen en particular las especies invasoras.

En el <sup>CD</sup>3 incluimos un cuadro-resumen de los instrumentos legales y de normatividad existentes en México para atender el problema de las especies invasoras.

que se tomen en consideración casos de emergencia donde las acciones de erradicación sean urgentes; *d*] establecer formas de obtención, análisis y flujo de la información concerniente a especies exóticas, incluyendo claves de identificación por grupos taxonómicos; *e*] implementar sistemas de prevención y alerta temprana; *f*] preparar planes de contingencia específicos por taxa, y *g*] gestionar el equipo, financiamiento y entrenamiento adecuado para responder tanto a introducciones recientes como a necesidades de erradicación postergadas (véase recuadro 6.2).

### Técnicas de control y erradicación de plantas exóticas

Las opciones para el control y la erradicación de plantas exóticas son variadas e incluyen las siguientes: *a*] remoción manual o mecánica, *b*] facilitación de especies nativas competidoras, *c*] control biológico, *d*] herbicidas, *e*] quemas prescritas y controladas y *f*] solarización (técnica de desinfección del suelo que aprovecha la radiación solar). Cada método tiene ventajas y desventajas. Con frecuencia, la estrategia más eficaz es la combinación de diversos métodos y técnicas. Bossard *et al.* (2000) describen con detalle cada método y hacen recomendaciones específicas sobre las mejores formas de controlar cada una de las 78 especies exóticas invasoras más dañinas en California. Otros trabajos importantes sobre impactos y control de plantas invasoras son los realizados por Weber (2003), Coombs *et al.* (2004) e Inderjit (2005). En México existen listados regionales (Van Devender *et al.* 1997), listados nacionales de malezas (Villaseñor y Espinosa-García 1998) y de plantas fanerógamas exóticas (Villaseñor y Espinosa-García 2004). No obstante, hacen faltan manuales sobre identificación y control. Sin contar las áreas agrícolas, los esfuerzos de control de plantas exóti-

cas en el país se limitan a unas pocas remociones locales. La mayor parte de la literatura especializada en malezas de México se ocupa de su control químico, desde una perspectiva netamente agrícola, por lo que otros aspectos importantes para su control en áreas naturales (florística, ecología o biología) están poco desarrollados. El *Catálogo de las malezas de México* (Villaseñor y Espinosa-García 1998) contiene información sobre el estatus en cada entidad federativa. Recientemente, a partir de la actualización y revisión de estos datos, se ha comenzado a comparar y a analizar los patrones de distribución de las especies nativas y exóticas (Espinosa-García *et al.* 2004).

### Técnicas de control y erradicación de mamíferos exóticos

Hay especies exóticas invasoras en todos los grupos taxonómicos de animales. Los mamíferos atraen interés especial por los severos impactos ocasionados a la biodiversidad mundial. En cuanto al éxito de su control o erradicación, el conocimiento de la biología de la especie problema es fundamental. Se ha enfatizado la importancia del conocimiento acerca del comportamiento social (MacDonald *et al.* 1999) y alimentario (Berdoy y MacDonald 1991). En la mayoría de los países los esfuerzos de investigación y de control aplicados se limitan a la fauna que afecta directamente la agricultura y la ganadería, ignorándose en la mayoría de los casos a la vida silvestre, capital natural de incalculable valor para toda nación. En general, aún no se integra como paradigma universal una visión más ecosistémica u holística en cuanto al efecto de las especies introducidas en el funcionamiento y los procesos ecológicos de los ecosistemas, sobre todo en aquellos frágiles. Es apenas en las últimas décadas que han comenzado a desarrollarse técnicas para el control y erradicación

**RECUADRO 6.2** LA FAUNA EXÓTICA EN LAS ISLAS DEL NOROESTE

Luciana Luna Mendoza • Alfonso Aguirre Muñoz • Araceli Samaniego Herrera • Marlenne Rodríguez Malagón

Los ecosistemas insulares son de importancia crítica para la biodiversidad del planeta. Representan no más de 3% de la superficie terrestre, pero albergan de 15 a 20 por ciento del total de plantas, reptiles y aves. Las más de 500 islas principales e islotes de México son el hogar de más de 200 vertebrados endémicos y 110 plantas endémicas. Constituyen el área de reproducción de tortugas, aves y mamíferos marinos. Además, las aguas adyacentes a las islas son también ricas en cuanto a productividad biológica, y de gran valor económico y social para el país.

**EL PROBLEMA DE LA FAUNA EXÓTICA EN LAS ISLAS**

En general, se cree que en los últimos 400 años entre 50 y 75 por ciento de las extinciones en el planeta se ha dado en islas. En el caso de las aves, se estima que 85% de las extinciones en tiempos históricos ha ocurrido en islas. Entre los mamíferos esta cifra es de 58% y en moluscos terrestres de 80%. En México, los mamíferos exóticos, especialmente gatos, ratas y cabras, han causado directa e indirectamente la extinción de decenas de especies de flora y fauna insular, así como la extirpación de numerosas colonias de aves marinas. Además de las 26 islas en las que ya se han erradicado especies exóticas, entre 2003 y 2006 se confirmó la presencia de al menos 16 especies de mamíferos exóticos en 27 islas del noroeste de México. De no actuar inmediatamente y con eficacia, las extinciones aumentarán pronto.

**LOGROS A LA FECHA**

Hay un consenso científico amplio en cuanto a que la erradicación de especies introducidas es clave para la conservación de la biodiversidad insular. La restauración de los ecosistemas insulares se está logrando en gran parte con base en programas de erradicación. En México, de 1994 a 2006, son ya 26 islas en las cuales se han erradicado 41 poblaciones de mamíferos exóticos (cuadro 6.4). Este esfuerzo ha protegido y facilitado la recuperación de la flora y fauna nativas, especialmente de las especies endémicas. La recuperación de los ecosistemas, validada con protocolos científicos, es crucial, e incluye el “redescubrimiento” de especies que, por presión de las introducidas, se consideraban extintas.

**PRESENTE Y FUTURO**

La Isla Guadalupe destaca por su alto grado de endemismos de flora y fauna terrestre y marina. Con la introducción de cabras durante el siglo XIX, la cobertura arbórea —pino, ciprés, encino y palma— se redujo de manera dramática: de más de 4 000 hectáreas quedan solo 85. Los gatos domésticos han causado la extinción de dos especies de aves y amenazan a otras poblaciones. La erradicación de cabras, iniciada en 2003, concluyó con éxito en 2007. Gracias a esto el número de plántulas de especies arbóreas pasó de cero en 2003 (que fue la constante en el último siglo) a más de 50 000 en 2007. La erradicación de gatos —que representa un reto mundial— está en fase de planeación. Para mitigar los impactos de los gatos se ha realizado un control puntual en las colonias de aves en los últimos años (véase el recuadro 4.11 del volumen III).

La experiencia práctica acumulada, aunada al desarrollo de nuevas tecnologías en otras latitudes y al apoyo de la sociedad y del gobierno, permitirá la formulación de un programa integral de erradicación de fauna introducida para las islas del país. Se impone un avance rápido en los aspectos legales y de financiamiento —ahora inexistente— hacia un esquema que favorezca la restauración insular en México. Con tales elementos resulta viable la implementación exitosa de acciones de restauración de especies y funciones ecológicas.

**Costos estimados de las erradicaciones efectuadas**

- Superficie del territorio insular en la que se han realizado erradicaciones de mamíferos exóticos: 50 500 hectáreas.
- Dólares invertidos (en promedio): 188 por hectárea.
- Colonias de aves marinas protegidas (35 taxa): 313.
- Dólares invertidos por colonia de anidación (en promedio): 17 000.
- Especies endémicas protegidas (vertebrados terrestres y marinos): 85.
- Dólares invertidos por especie endémica (en promedio): 35 000.

Es importante aclarar que estas estimaciones no incluyen el trabajo en Isla Guadalupe debido a que el proyecto está en fase de monitoreo de confirmación posterior a la erradicación de cabras. Al incluir Isla Guadalupe, los valores de superficie y de especies protegidas se incrementarán, mientras que los dólares invertidos disminuirán.

de fauna introducida enfocadas en la restauración ecológica. Atkinson y Atkinson (2000) presentaron una síntesis de los métodos de control y erradicación de cada una de las 14 especies de vertebrados terrestres que están dañando las islas del Pacífico. Courchamp *et al.* (2003) describen los métodos de control de mamíferos usados en islas y analizan sus ventajas y desventajas. En países como Australia y Nueva Zelanda, pioneros en la creación de agencias gubernamentales dedicadas al control y erradicación de especies invasoras, la experiencia de las últimas décadas ha llevado a la elaboración de guías nacionales de control de una serie de especies. La agencia australiana para la conservación de la naturaleza ha publicado guías sobre el manejo de caballos, conejos, zorras, cerdos, cabras y roedores exóticos.

Las técnicas y los programas de control de mamíferos deben adecuarse no solo a la especie, sino también a las particularidades ambientales y sociales de cada región. Para el control de mamíferos grandes —como cerdos, cabras y borregos— existen dos técnicas principales: trapeo y cacería. El trapeo consiste en la construcción de trampas grandes, tipo encierros, a las que es posible atraer o arrear manadas enteras. La cacería puede llevarse a cabo desde tierra o en helicóptero (esta última es indispensable cuando los animales viven en zonas escarpadas). La cacería con perros entrenados también es muy útil. El proyecto de restauración que actualmente se encuentra en marcha en la Isla Guadalupe, y que contempla la erradicación de cabras y gatos ferales, representa uno de los proyectos de restauración ecológica más ambiciosos de América Latina y el mundo. La erradicación de las cabras ferales, un total cercano a los 10 000 individuos, se terminó en febrero de 2007. Queda pendiente la erradicación de los gatos ferales. El valor de esa acción radica en la propia importancia ecológica de la isla, con gran cantidad de especies endémicas amenazadas (Aguirre Muñoz *et al.* 2005).

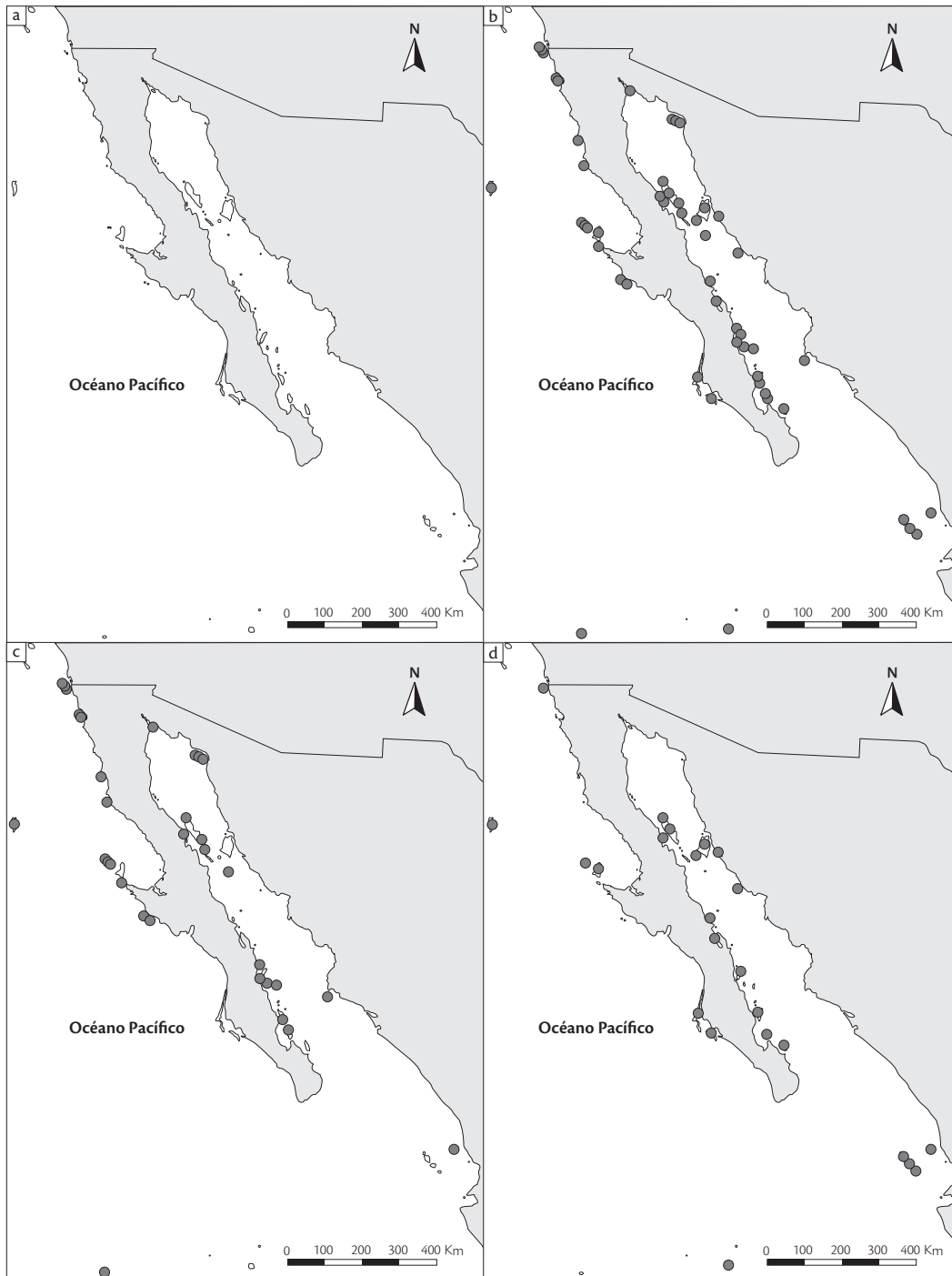
Para mamíferos medianos —conejos, gatos y mangostas, entre otros— las técnicas incluyen trapeo, cacería y agentes químicos y biológicos. El trapeo puede realizarse con trampas individuales de cebo colocadas en lugares estratégicos. La cacería puede combinar el uso de perros y armas. El control químico y biológico se refiere a la utilización de venenos y patógenos específicos, entre los cuales los virus han dado excelentes resultados, lo mismo que diversos venenos anticoagulantes de gran eficacia. El virus *Myxoma* y el virus hemorrágico (RHDV, por sus siglas en inglés), específicos del conejo europeo, han sido utilizados exitosamente en el control y erradicación

de esta especie (Williams *et al.* 1995; Kerr y Best 1998; Priddel *et al.* 2000). En México los gatos representan una de las mayores amenazas para la vida silvestre y son responsables de numerosas extinciones. Nogales *et al.* (2004) revisaron las técnicas utilizadas en la erradicación de gatos en 48 islas del mundo, 16 de estas mexicanas. Wood *et al.* (2002) describen las técnicas aplicadas para la erradicación exitosa de gatos en islas de México.

Con mamíferos pequeños, como ratas y ratones, la técnica que ha resultado eficaz es la aplicación de venenos (Howald *et al.* 2007). Los rodenticidas se han aplicado en cebaderos especiales (en el suelo o elevados), mediante dispersión manual y dispersión aérea con helicópteros. Es muy importante determinar los riesgos potenciales para las especies nativas u otras que no son el objetivo. Donlan *et al.* (2003) describen un ejemplo de erradicación de ratas en México usando distintos venenos con métodos simples. Por otro lado, se han llevado a cabo las primeras erradicaciones de rata negra en las islas de San Pedro Mártir y Farallón de San Ignacio, en el Golfo de California, con la más moderna tecnología (Samaniego-Herrera *et al.* 2008). Se hizo por medio de dispersiones aéreas de precisión del rodenticida especial CI-25 de Bell. Se usa una cubeta de tipo agrícola, desarrollada ex profeso en Nueva Zelanda (Helicopters Otago) para erradicaciones, que va instalada en un helicóptero equipado con GPS diferencial y asistido por un sistema de información geográfica. Se trata de las primeras erradicaciones en su tipo en América Latina. La colaboración interinstitucional —barco de la Semar, y apoyo en gestión de Semarnat, Conanp y Segob— fue clave para el éxito del proyecto. Estas islas tienen enorme importancia como hábitat de aves marinas.

En México los programas de erradicación de especies exóticas completados con éxito hasta agosto de 2008 suman 57 erradicaciones en 32 sitios; seis más se encuentran en proceso y 48 aún están pendientes (cuadro 6.4, Fig. 6.1). Todos los programas fueron aplicados en islas y la especie erradicada en todos los casos fue un mamífero. El gato doméstico (*Felis catus*) fue el objetivo en 18 de los casos, lo que representó cerca de la mitad del total mundial de islas con gatos erradicados. Al igual que en casi todo el mundo, no se han realizado erradicaciones de invertebrados ni de organismos marinos.

Un elemento clave para el control y la erradicación de fauna mayor es la cacería a pie y desde helicóptero. Actualmente, la Ley Federal de Armas y Explosivos de la Secretaría de la Defensa Nacional (Sedena 2002) no contempla la caza de control o erradicación para la conservación,



**Figura 6.1** Especies introducidas y restauración de islas: **(a)** la gran mayoría de las islas de México están en el NW, que cuenta con más de 600; 383 (61%) a lo largo del Golfo de California y 241 (39%) en el Océano Pacífico (INEGI 2005); **(b)** 51 islas han tenido poblaciones de mamíferos introducidos —gatos, cabras, ratones, ratas, conejos, entre otros— y salvo una introducción reciente de ratón a San Benito Oeste, todas son anteriores a 1994; **(c)** de 1994 a 2007 se han erradicado 57 poblaciones de mamíferos introducidos en 32 islas, y **(d)** en 2008 quedaban 24 islas con al menos 50 poblaciones de especies introducidas. En seis de ellas los proyectos de restauración por medio de erradicaciones se encuentran en proceso. Véase el cuadro 6.4. Fuente: Grupo de Ecología y Conservación de Islas (GECI).



**Cuadro 6.4** Islas del noroeste de México con especies introducidas y estatus de erradicación (actualizado hasta agosto de 2008)

Isla	Especie	Nombre común	Estatus de erradicación
<b>Océano Pacífico</b>			
CORONADO NORTE	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
CORONADO MEDIO	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
CORONADO SUR	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico	En proceso
TODOS SANTOS NORTE	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Finalizada
TODOS SANTOS SUR	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
SAN MARTÍN	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
SAN JERÓNIMO	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Bos taurus</i>	Vaca	Finalizada
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Finalizada
	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Finalizada
	<i>Equus caballus</i>	Caballo	Finalizada
GUADALUPE	<i>Felis catus</i>	Gato	En proceso
	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico	Pendiente
	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Finalizada
	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Equus caballus</i>	Caballo	Finalizada
SAN BENITO OESTE	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
SAN BENITO MEDIO	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico	Pendiente
	<i>Rattus sp.</i>	Rata	Pendiente
	<i>Mustela vison</i>	Visón	Finalizada
SAN BENITO ESTE	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Finalizada
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Finalizada
CEDROS	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Finalizada
	<i>Ovis aries</i>	Borrego	Finalizada
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
NATIVIDAD	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo	Finalizada



Cuadro 6.4 [continúa]

Isla	Especie	Nombre común	Estatus de erradicación
SAN ROQUE	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
ASUNCIÓN	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Ammospermophilus leucurus</i>	Juancito	Pendiente
SANTA MARGARITA	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Equus asinus</i>	Burro	Pendiente
	<i>Equus caballus</i>	Caballo	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
MAGDALENA	<i>Equus asinus</i>	Burro	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico	Pendiente
	<i>Rattus rattus</i>	Rata	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
CLARIÓN	<i>Sus scrofa</i>	Cerdo	Finalizada
	<i>Ovis aries</i>	Borrego	Finalizada
	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo	Finalizada
	<i>Ovis aries</i>	Borrego	En proceso
<b>GOLFO DE CALIFORNIA</b>			
MONTAGUE	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
SAN JORGE OESTE	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
SAN JORGE ESTE	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
SAN JORGE	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
MEJÍA	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
GRANITO	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
ÁNGEL DE LA GUARDA	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
ESTANQUE	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
RASA	<i>Rattus norvegicus</i>	Rata café	Finalizada
	<i>Mus musculus</i>	Ratón doméstico	Finalizada
SAN PEDRO MÁRTIR	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
SAN ESTEBAN	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
	<i>Rattus norvegicus</i>	Rata café	Pendiente
	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
TIBURÓN	<i>Ovis canadensis mexicana</i>	Borrego cimarrón	Pendiente
	<i>Rattus sp.</i>	Rata	Pendiente
ALCATRAZ	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada



**Cuadro 6.4** [concluye]

<b>Isla</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus de erradicación</b>
PELÍCANO (ALCATRAZ)	<i>Mus musculus</i>	Ratón casero	Pendiente
CORONADO (SMITH)	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
CERRALVO	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
COYOTE (EL PARDITO)	<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
SAN PEDRO NOLASCO	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Pendiente
SAN MARCOS	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
DANZANTE	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
CORONADOS	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
CARMEN	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
	<i>Ovis canadiensis mexicana</i>	Borrego cimarrón	Pendiente
MONTSERRAT	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
SANTA CATALINA	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
FARALLÓN DE SAN IGNACIO	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Finalizada
	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
SAN JOSÉ	<i>Equus asinus</i>	Burro	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
SAN FRANCISQUITO	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Finalizada
	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
ESPÍRITU SANTO	<i>Capra hircus</i>	Cabra	En proceso
LA PARTIDA	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
ISABEL	<i>Felis catus</i>	Gato	Finalizada
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	En proceso
MARÍA MADRE	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	En proceso
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Pendiente
MARÍA MAGDALENA	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	Pendiente
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Pendiente
MARÍA CLEOFAS	<i>Capra hircus</i>	Cabra	Pendiente
	<i>Felis catus</i>	Gato	Pendiente
	<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	Pendiente

aunque esta tiene un gran potencial en nuestro país. Esa actividad se hace actualmente bajo la cobertura de cacería deportiva, al amparo de clubes de caza y tiro. Una revisión de esa ley y su reglamento debiera incorporar en forma integral —adquisición, registro, posesión, importación y uso de armas y municiones apropiadas y especiales—, y de manera privilegiada, la cacería de especies introducidas con motivos de conservación, reconociendo como usuarios a dependencias gubernamentales y organizaciones ambientalistas, con el indispensable involucramiento de las comunidades locales. La erradicación, como medida drástica para eliminar los efectos de las especies exóticas sobre la flora y fauna nativas, se ha utilizado como instrumento privilegiado de la conservación en algunos casos. No pueden obviarse las implicaciones ambientales, éticas, sociales y culturales, que son diversas. Para que la erradicación resulte una opción válida, es necesario ponderar los costos y beneficios de su aplicación. Así, programas de erradicación a gran escala pueden implicar un alto riesgo para especies no blanco. La utilización de insecticidas de amplio espectro y las consecuencias sobre insectos nativos y otro tipo de fauna, incluyendo humanos, es polémica y puede tener grandes costos. Por otra parte, la decisión de comenzar un programa de erradicación es en ocasiones evaluada solo bajo consideraciones ecológicas. Sin embargo, en otros casos intervienen decisiones de tipo comercial (p. ej., los programas de erradicación de la mosca del Mediterráneo). A este respecto, Myers *et al.* (2000) señalan la necesidad de que los programas de erradicación cubran obligatoriamente seis requisitos para que tengan éxito: 1] deben existir suficientes recursos financieros para sostener el programa de erradicación hasta su conclusión; 2] las líneas de autoridad deben quedar claramente establecidas y deben ser lo suficientemente flexibles para permitir a los individuos o a las agencias llevar a cabo acciones concretas; 3] la biología de los organismos que se pretende erradicar debe hacerlos susceptibles a los procedimientos de control; 4] se deben evitar a toda costa las reintroducciones, ya que el programa estará destinado a fracasar en caso de que haya un flujo continuo de individuos, lo que implica monitoreo continuo y aplicación de medidas preventivas —por ejemplo, los análisis de riesgos y puntos críticos de control HACCP (USFWS 2008)— y de control al mismo tiempo; 5] la especie invasora deberá ser detectable en densidades relativamente bajas, con el fin de asegurar su detección temprana (o la confirmación de su erradicación); 6] en el caso de erradicaciones que impliquen la remoción de especies clave (p. ej., depredadores o herbívoros) se deberá llevar a cabo un programa de restauración inmediata. Finalmente, en ciertas situaciones se impone aceptar acciones alternativas a la erradicación. Pueden considerarse: *a*] la reducción de las densidades de poblaciones en grandes áreas, con lo que disminuyen los costos del control; *b*] la reducción de la dispersión, por medio de barreras o zonas de amortiguamiento, y *c*] el control biológico tradicional.

La introducción de especies exóticas acuáticas ha sido identificada como uno de los riesgos ambientales más críticos a los que actualmente se enfrentan las especies, los hábitats acuáticos y la biodiversidad en general (Hopkins 2001). Así, la introducción de especies exóticas ha estado asociada con la extinción en 54% de los casos de la fauna acuática nativa mundial (Harrison y Stiassny 1999), de 70% de los peces de Norteamérica (Lassuy 1995) y 60% de los peces mexicanos (Contreras-Balderas 1999). Las especies exóticas pueden afectar a las especies nativas por medio de diferentes mecanismos, entre los cuales destacan: hibridación, competencia por alimento y espacio, depredación, transferencia de patógenos, alteración del hábitat de las especies nativas, desplazamiento de especies nativas, alteración de la estructura de los niveles tróficos, introducción de parásitos y enfermedades (Goldburg y Triplett 1997; Bhaskar y Pederson 2002). Las especies exóticas acuáticas pueden modificar los ciclos de los nutrientes de tal manera que los miembros nativos de la comunidad se ven afectados indirectamente. Así, pueden ejercer una fuerte presión que se traduce en una disminución en la abundancia de las macrofitas. Por otra parte, al agitar los sedimentos aumenta la turbidez; una vez que se incrementan los sólidos suspendidos, aumenta la concentración de algas, al no existir ya competencia con las macrofitas. Las plantas superiores también se debilitan ya que varias especies afectan sus raíces. Posteriormente, al morir estas plantas se da un proceso de putrefacción que libera nutrientes en la columna de agua, promoviendo así una retroalimentación en la que el crecimiento de las algas es mayor. De esta manera, las comunidades bentónicas se ven afectadas de dos maneras: son depredadas y pierden sitios de anidación una vez que las especies exóticas acabaron con las macrofitas (Zambrano y Macías-García 1999), sin contar los efectos de la eutroficación sobre el resto de la comunidad. Igualmente, algunas de

#### 6.4 ESPECIES INVASORAS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

La introducción de especies exóticas acuáticas ha sido identificada como uno de los riesgos ambientales más críticos a los que actualmente se enfrentan las especies, los hábitats acuáticos y la biodiversidad en general (Hopkins 2001). Así, la introducción de especies exóticas ha estado asociada con la extinción en 54% de los casos de la fauna acuática nativa mundial (Harrison y Stiassny 1999), de 70% de los peces de Norteamérica (Lassuy 1995) y 60% de los peces mexicanos (Contreras-Balderas 1999). Las especies exóticas pueden afectar a las especies nativas por medio de diferentes mecanismos, entre los cuales destacan: hibridación, competencia por alimento y espacio, depredación, transferencia de patógenos, alteración del hábitat de las especies nativas, desplazamiento de especies nativas, alteración de la estructura de los niveles tróficos, introducción de parásitos y enfermedades (Goldburg y Triplett 1997; Bhaskar y Pederson 2002). Las especies exóticas acuáticas pueden modificar los ciclos de los nutrientes de tal manera que los miembros nativos de la comunidad se ven afectados indirectamente. Así, pueden ejercer una fuerte presión que se traduce en una disminución en la abundancia de las macrofitas. Por otra parte, al agitar los sedimentos aumenta la turbidez; una vez que se incrementan los sólidos suspendidos, aumenta la concentración de algas, al no existir ya competencia con las macrofitas. Las plantas superiores también se debilitan ya que varias especies afectan sus raíces. Posteriormente, al morir estas plantas se da un proceso de putrefacción que libera nutrientes en la columna de agua, promoviendo así una retroalimentación en la que el crecimiento de las algas es mayor. De esta manera, las comunidades bentónicas se ven afectadas de dos maneras: son depredadas y pierden sitios de anidación una vez que las especies exóticas acabaron con las macrofitas (Zambrano y Macías-García 1999), sin contar los efectos de la eutroficación sobre el resto de la comunidad. Igualmente, algunas de

estas especies son causantes de la introducción y dispersión de enfermedades certificables y notificables. Otras son capaces de hibridación intergenérica (salmónidos), cuyo producto pueden ser híbridos estériles en detrimento de la población original. Existen algunas especies venenosas y varias son sumamente territoriales, y por ende agresivas, lo que altera la estructura de las comunidades al volverse abundantes. A esto se puede añadir que la degradación del hábitat vuelve a las especies y sus ecosistemas más vulnerables a los efectos de las especies exóticas. A continuación se presentan los efectos causados por la presencia de las principales especies exóticas en las aguas continentales y marinas del país.

#### 6.4.1 El virus del síndrome de la mancha blanca

La industria del cultivo de camarón se ha convertido en una actividad de alto riesgo debido a las mortalidades masivas causadas por el virus del síndrome de la mancha blanca (wssv, *white spot syndrome virus* —Nimaviridae, whispovirus—). El wssv surgió en China y tuvo efectos devastadores entre 1992 y 1993, dispersándose rápidamente de Asia a América en 1995. Desde 1999, en México causa pérdidas de 80 a 100 por ciento de los cultivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), principal especie cultivada en nuestro país (Galaviz-Silva 1999). Aun en los ciclos de cultivo de 2005 y 2006 han surgido epizootias severas, con mortalidades superiores a 80% en las granjas de Sonora y Sinaloa (<[www.cosaes.com/antecedente\\_feb.htm](http://www.cosaes.com/antecedente_feb.htm)>), que son los principales estados productores del país.

#### Posibles vías de introducción a México

La importación de camarón congelado es un mecanismo de dispersión comprobado de Asia a América (Nunan *et al.* 1998), pero se han registrado portadores asintomáticos como jaibas y camarones silvestres (*Callinectes arcuatus* y *Litopenaeus* spp.) que invaden los estanques junto con el suministro de agua (Galaviz-Silva *et al.* 2004).

#### Impacto económico, biológico y social

El wssv infecta a más de 40 especies de crustáceos marinos y dulceacuícolas, y el aspecto más grave de la incidencia de este virus es su capacidad para matar cualquier crustáceo, lo que significaría que recursos como la jaiba, el camarón de río, especies del género *Artemia* y otros pudieran desaparecer. En México, el cultivo de camarón

representa la fuente de trabajo de miles de familias de las costas de Sonora, Sinaloa, Nayarit y Tamaulipas. El impacto social que ha provocado la introducción de virus exóticos en el noroeste de México ha dado lugar al cierre de granjas, con la consecuente pérdida de recursos y empleos. En 1999 se registraron pérdidas variables en 6 500 hectáreas de cultivo (Galaviz-Silva *et al.* 2004). Hasta 2004, 62% de las granjas resultaron positivas a wssv, con los análisis realizados por PCR (Galaviz-Silva *et al.* 2004), y a la fecha se han registrado índices de mortalidad de entre 48 y 80 por ciento en los cultivos afectados (Peinado-Guevara y López-Meyer 2006). Tan solo en el estado de Sonora, el Cosaes (Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora, A.C.) indica que en 2005 se dejaron de producir 15 000 toneladas, equivalentes a 80 millones de pesos, por causa de la incidencia del virus.

#### 6.4.2 Virus del oeste del Nilo

El virus del oeste del Nilo (wNV, *West Nile virus*) es un miembro de la familia Flaviviridae (género *Flavivirus*). Fue aislado por primera vez en 1937 en el distrito West Nile en Uganda, África (Smithburn *et al.* 1940). Su ciclo natural incluye aves silvestres y domésticas, migratorias y residentes, las cuales tienen el papel de reservorios y aumentan las poblaciones virales. Diversos mosquitos, principalmente del género *Culex*, se alimentan de estas aves durante su tiempo de sueño; al infectarse son capaces, 10 a 12 días después, de transmitir el wNV por picaduras, tanto a seres humanos como a equinos y algunas aves cercanas. Los síntomas de la enfermedad en seres humanos con infección comprobada de wNV incluyen encefalitis o meningoencefalitis y meningitis, en las que predominan la fiebre y síntomas neurológicos y gastrointestinales. Se han reportado tasas de mortalidad de 5 a 14 por ciento (Weiss *et al.* 2001).

#### Posibles vías de introducción a México

Su dispersión se asocia al incremento en las migraciones y en los viajes inter e intracontinentales. Por otra parte, más de 100 especies de aves con anticuerpos neutralizantes del wNV, pertenecientes principalmente a los órdenes Passeriformes, Columbiformes, Galliformes y Anseriformes (Elizondo *et al.* 2005), han sido reportadas en Estados Unidos. Estas desempeñan un papel muy importante en el mantenimiento del virus en la naturaleza, ya que dispersan el virus durante sus ciclos anuales de migración.

### Impacto económico, biológico y social

A partir de la mitad de los años noventa han ocurrido tres inquietantes tendencias epidemiológicas: *a*] incrementos en la frecuencia de brotes en humanos, *b*] un aumento aparente en la severidad de la enfermedad en seres humanos y *c*] alta mortalidad en aves junto con las epidemias en humanos. En otros informes los vertebrados infectados con WNV han sido tlacuaches (zarigüeyas), murciélagos, ardillas y otros vertebrados, aunque en menor cantidad, por lo que su papel en el mantenimiento de esta zoonosis no ha sido aún evaluado. En México, solo han sido reconocidos cuatro casos en seres humanos y una cantidad importante en aves de siete órdenes, así como en equinos, de los cuales se ha aislado el virus en Nuevo León (Elizondo *et al.* 2005). La mortalidad de cuervos, azulejos y gorriones domésticos apareció por primera vez en América, lo que indicaba un potencial de cambio en el genoma del virus o una alta susceptibilidad de estas especies de Norteamérica a la viremia.

#### 6.4.3 Helmintos parásitos en peces de agua dulce en México

La invasión por patógenos y parásitos exóticos puede tener efectos negativos en la sobrevivencia y fecundidad de las especies nativas, además de influir en la dinámica poblacional de sus hospederos (Prenter *et al.* 2004), disminuyendo su capacidad de competencia.

En México se han introducido 19 especies de helmintos, distribuidas en 13 géneros y siete familias de platelmintos (tres tremátodos, 13 monogéneos y dos céstodos), y nemátodos (una especie) (Salgado-Maldonado 2006).

#### Principales vías de introducción

La introducción de nuevas especies de helmintos parásitos de peces de agua dulce está asociada con el ingreso y movimiento de especies exóticas de peces para la acuicultura y el acuarismo, y por el manejo de pequeñas pesquerías artesanales. Así, las políticas oficiales de fomento para la práctica de la acuicultura (Juárez-Palacios y Palomo 1987) promovieron la introducción de diferentes especies de helmintos parásitos en los cuerpos de agua epicontinentales de México. La importación y producción en cautiverio de carpas asiáticas (cuadros 6.5 y 6.6), tilapias africanas (cuadros 6.5 y 6.7), así como lobinas y bagres de Estados Unidos son la causa esencial de la presencia de estos parásitos. *Centrocestus formosanus*, uno de los pa-

rásitos más ampliamente distribuidos en México, llegó al país transportado por el caracol *Melanooides tuberculata* (Scholz y Salgado-Maldonado 2000). Este caracol fue originalmente introducido en el continente por la Organización Mundial de la Salud para el control de la esquistosomiasis humana. En México, su presencia se ha ligado a la introducción de carpas malacófagas (López-Jiménez 1987).

#### Impacto ecológico, económico y social

Son numerosos los registros de mortandades de peces en acuarios y estanquerías; se ha documentado también la presencia continua de problemas sanitarios originados por helmintos en granjas piscícolas federales (López-Jiménez 1987) y centros de investigación (Vidal-Martínez *et al.* 2001). El registro actual en México del céstodo asiático *Bothriocephalus acheilognathi*, que provoca el bloqueo intestinal y la muerte de peces, incluye más de 50 especies de peces, de numerosas familias y órdenes, con elevados valores de prevalencia (porcentaje de peces parasitados) y abundancia (número de helmintos por pez) (Salgado-Maldonado y Pineda-López 2003). La infección de este céstodo en aterínidos amenazados (charales y pescado blanco) del Altiplano es un aspecto relevante. De la misma forma, las metacercarias de *Centrocestus formosanus* se establecen en las branquias de más de 60 especies de peces de México, con valores muy elevados de prevalencia y abundancia, lo que provoca insuficiencia respiratoria y contribuye al decremento de las poblaciones naturales de peces (Scholz y Salgado-Maldonado 2000; Mendoza 2004). Las familias neotropicales nativas de Cichlidae y Poeciliidae sufren las infecciones más graves por este parásito.

#### 6.4.4 Zooplancton epicontinental exótico en México

La detección de especies exóticas de zooplancton epicontinental se ha realizado de manera tardía, ya que solo hasta 1982 se consideró que la distribución de los cladóceros no era cosmopolita (Frey 1982). Algo similar ocurrió en el caso de los copépodos, cuando estándares taxonómicos más estrictos permitieron el reconocimiento de especies morfológicamente cercanas.

#### Principales vías de introducción

El cladóceros con potencial invasivo *Daphnia lumholtzi*, originario de África, el sureste de Asia y Australia, fue

**Cuadro 6.5** Micro y macroalgas, plantas superiores acuáticas, invertebrados y vertebrados acuáticos invasores de alta prioridad en México

Grupo	Familia	Género	Especie	Pr	Po	I.E.	E.D.R.
Microalgas dinoflageladas <sup>1</sup>	Gonyaulacaceae	<i>Alexandrium</i>	<i>A. catenella</i> , <i>A. cohorticola</i> , <i>A. leei</i> , <i>A. minutu</i> , <i>A. moniatum</i> , <i>A. tamaensea</i> , <i>A. tamiyavanichi</i>	•		•	
			<i>A. acatenella</i> , <i>A. angusitabulum</i> , <i>A. hiranoi</i> , <i>A. ostenfeldii</i>		•	•	
	Goniodomataceae	<i>Gambierdiscus</i>	<i>G. toxicus</i>	•		•	
	Goniodomataceae	<i>Pyrodinium</i>	<i>P. bahamense</i> var. <i>compressa</i>	•	•	•	
	Prorocentraceae	<i>Procentrum</i>	<i>P. lima</i> , <i>P. rhathymum</i>	•	•	•	
			<i>P. concavum</i> , <i>P. cordatum</i> , <i>P. emarginatum</i> , <i>P. hoffmanianum</i>		•	•	
	Dinophysiaceae	<i>Dinophysis</i>	<i>D. acuminata</i> , <i>D. caudata</i> , <i>D. fortii</i> , <i>D. mitra</i> , <i>D. rotundata</i> , <i>D. sacculus</i> , <i>D. tripos</i>	•		•	
			<i>D. acuta</i> , <i>D. norvegica</i> , <i>D. miles</i>		•	•	
	Gonyaulacaceae	<i>Protoceratium</i>	<i>P. reticulatum</i>	•		•	
	Ostreopsidaceae	<i>Ostreopsis</i>	<i>O. lenticulares</i> , <i>O. siamensis</i>	•		•	
	Ostreopsidaceae	<i>Coolia</i>	<i>C. monotis</i>	•		•	
	Gymnodiniaceae	<i>Amphidinium</i>	<i>A. carterae</i> , <i>A. operculatum</i>	•	•	•	
	Gymnodiniaceae	<i>Cochlodinium</i>	<i>C. polykrikoides</i>	•		•	
	Gymnodiniaceae	<i>Gymnodinium</i>	<i>G. catenatum</i>	•	•	•	
			<i>G. pulchellum</i>	•		•	
	Gymnodiniaceae	<i>Karenia</i>	<i>K. brevis</i> , <i>K. mikimotoi</i>	•	•	•	
<i>K. brevisulcata</i>				•	•		
Gymnodiniaceae	<i>Karlodinium</i>	<i>K. micrum</i>		•	•		
Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	<i>P. polonicum</i>		•	•		
Peridiniaceae	<i>Heterocapsa</i>	<i>H. circularsquama</i>		•	•		
Peridiniaceae	<i>Pfesteria</i>	<i>P. piscicida</i> , <i>P. shumwayae</i>		•	•		
Microalgas diatomeas <sup>2</sup>	Bacillariaceae	<i>Pseudonitzschia</i>	<i>P. delicatissima</i> , <i>P. pungens</i> , <i>P. multiseriis</i> , <i>P. subfraudulenta</i> , <i>P. fraudulenta</i> , <i>P. seriata</i> , <i>P. australis</i> ,	•	•	•	
			<i>P. pseudodelicatissima</i> , <i>P. mutiestriata</i>		•	•	
Microalgas rafiidoficeas <sup>3</sup>	Raphidophyceae	<i>Heterosigma</i>	<i>H. akashiwo</i>	•	•	•	
	Raphidophyceae	<i>Olisthodiscus</i>	<i>O. luteus</i>		•	•	
	Raphidophyceae	<i>Fibrocapsa</i>	<i>F. japonica</i>		•	•	
	Raphidophyceae	<i>Chatonella</i>	<i>C. antiqua</i> , <i>C. marina</i> , <i>C. subsalsa</i> , <i>C. globosa</i> , <i>C. verruculosa</i>		•	•	
Macroalgas	Alariaceae	<i>Undaria</i>	<i>U. pinnatifida</i>	•		•	
	Caulerpaceae	<i>Caulerpa</i>	<i>C. taxifolia</i>		•	•	
		<i>Chontracanthus</i>	<i>C. squarulosus</i>	•		•	
Plantas <sup>4</sup>	Salviniaceae	<i>Salvinia</i>	<i>S. molesta</i>	•		•	•
			<i>Salvinia</i> spp.	•		•	•
	Pontederiaceae	<i>Eichhornia</i>	<i>E. crassipes</i>	•		•	•

Cuadro 6.5 [concluye]

Grupo	Familia	Género	Especie	Pr	Po	I.E.	E.D.R.
Plantas (cont.)	Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla</i>	<i>H. verticillata</i>	•		•	•
	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>Typha</i> spp.	•		•	•
	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>Tamarix</i> spp.			•	•
	Poaceae	<i>Arundo</i>	<i>A. donax</i>	•		•	•
	Vibrionaceae	<i>Melaleuca</i>	<i>M. quinquenerva</i>	•		•	
Bacterias		<i>Vibrio</i>	<i>V. cholerae</i>	•			
Tremátodos	Heterophyidae	<i>Centrocestus</i>	<i>C. formosanus</i>	•		•	•
	Bothriocephalidae	<i>Bothriocephalus</i>	<i>B. acheilognathi</i>	•			•
Moluscos	Dreissenidae	<i>Dreissenia</i>	<i>Dreissenia</i> spp.		•	•	•
	Thiaridae	<i>Thiara</i>	<i>T. tuberculata</i>	•		•	
	Corbiculidae	<i>Corbicula</i>	<i>Corbicula</i> spp.	•		•	
	Muricaceae	<i>Acanthina</i>	<i>Acanthina</i> spp.		•	•	
	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i>	<i>P. antipodarum</i>		•	•	
Crustáceos	Parastacidae	<i>Cherax</i>	<i>Cherax</i> spp.	•		•	
	Cambaridae	<i>Procambarus</i>	<i>P. clarki</i>	•		•	•
	Cambaridae	<i>Orconectes</i>	<i>O. virilis</i>	•		•	
	Daphniidae	<i>Daphnia</i>	<i>D. lumholtzi</i>	•			
	Portunidae	<i>Carcinus</i>	<i>C. maenas</i>		•	•	
Peces	Loricaridae	Grupo "plecos"	8 especies aprox.	•		•	
	Cichlidae	Grupo "tilapias" (Véase cuadro 6.7)		•		•	
	Clariidae	<i>Clarias</i>	<i>C. batrachus</i>		•		
	Cyprinidae	Grupo "carpas asiáticas" (Véase cuadro 6.6)		•		•	
		<i>Brachydanio</i>	<i>B. rerio</i>	•			
	Salmonidae	<i>Onchorhynchus</i>	<i>O. mykiss</i>	•		•	
	Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	<i>P. volitans</i>		•		
Channidae	Grupo "snakeheads" <sup>5</sup> (cabeza de serpiente)		•				
Anfibios	Ranidae	<i>Rana</i>	<i>R. catesbeiana</i>	•			

Abreviaturas: Pr: Ocurrencia presente; Po: Ocurrencia potencial; I.E.: Provoca impacto a nivel de ecosistema; E.D.R.: Afecta a especies con distribución restringida.

1 Hallegraef *et al.* (2002); Meave (2006); Okolodkov y Gárate-Lizárraga (2006).

2 Hallegraef *et al.* (2002); Meave (2006).

3 Hallegraef *et al.* (2002); Hernández-Becerril (2003).

4 Algunas especies de plantas acuáticas invasoras, como es el caso del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y de la salvinia (*Salvinia molesta*), tienen efectos muy graves sobre las condiciones ecológicas en humedales y cuerpos de agua en todas las regiones de invasión. En México, el control biológico de estas dos plantas se realiza con diversos insectos criados de manera masiva (Martínez Jiménez 2005a, b), así como con virus como el WNV y el WSV.

5 El grupo "snakeheads" (familia Channidae) son peces depredadores de agua dulce cuya existencia no ha sido verificada en México y que incluyen dos géneros: *Channa*, con 26 especies nativas de Asia, Malasia e Indonesia, y *Parachanna*, con tres especies nativas de África. Se estima que su introducción al país pudiera ser catastrófica para numerosas especies de peces nativos (R. Mendoza, com. pers.).



**Cuadro 6.6** Especies incluidas en el grupo de las “carpas asiáticas”

Especie	Nombre común
<i>Cyprinus carpio communis</i>	Carpa común
<i>Carassius auratus</i>	Carpa dorada
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	Carpa espejo
<i>Cyprinus carpio rubrofuscus</i>	Carpa barrigona
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpa herbívora
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Carpa plateada
<i>Hypophthalmichthys (Aristichthys) nobilis</i>	Carpa cabezona
<i>Mylopharyngodon piceus</i>	Carpa negra
<i>Megalobrama amblycephala</i>	Carpa brema

Fuente: R. Mendoza com. pers.

**Cuadro 6.7** Especies incluidas en el grupo de las “tilapias”

Especie	Nombre común
<i>Oreochromis aureus</i>	Tilapia azul
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Tilapia mozámbrica
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilapia del Nilo
<i>Oreochromis urolepis hornorum</i>	Tilapia wami
<i>Oreochromis urolepis hornorum</i> x <i>O. mossambicus</i>	Tilapia híbrida
<i>Tilapia rendalli</i>	Tilapia del Congo

Fuente: R. Mendoza com. pers.

introducido en 1983 en el continente americano (Lago Fairfield, Texas, EUA), junto con otra especie invasora, la perca del Nilo (Havel y Hebert 1993). En México, esta especie se detectó recientemente en Sonora, en la presa La Angostura, cerca de la frontera con Estados Unidos. Su dispersión al parecer está asociada al movimiento de lanchas recreativas a las que se adhieren los efiptos, lo que hasta ahora ha limitado su expansión en el país. Su impacto se debe a que los alevines de algunas especies de peces evitan ingerirla, pues las espinas largas de *D. lumholtzi* les impide deglutirla (Kolar y Wahl 1998). Esto trae como consecuencia la reducción de las poblaciones de estas especies y de otras con las que interactúan a nivel trófico. También se ha mencionado que tiene un efecto indirecto en el desplazamiento de las especies nativas de cladóceros por copépodos. Otro cladóceros de interés es *Daphnia* spp., uno de los más utilizados por su potencial en estudios toxicológicos (Martínez-Jerónimo 1995). En México existe una norma oficial que exige trabajar con esta espe-

cie (NMX-AA-087-1995-SCFI), la cual desafortunadamente es una copia íntegra de la norma desarrollada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos sin haber sido adaptada para México. Hasta el momento, esta especie exótica no se ha registrado en ambientes naturales. Con respecto a los copépodos, recientemente se ha confirmado la presencia de cuatro especies exóticas en México. Todas estas especies pertenecen a la subfamilia Cyclopinae. *Thermocyclops crassus*, especie común en Eurasia y África, fue introducida al continente americano con el agua de lastre (Reid y Pinto-Coelho 1994), pues se trata de una especie eurihalina. Su presencia ha sido confirmada en México, en el estado de Tabasco. Las otras tres especies de copépodos introducidos pertenecen al género *Mesocyclops* y también son de origen afroasiático. *M. aspericornis* ha sido registrado en la costa del Pacífico mexicano, cerca de Culiacán, Sinaloa; *M. thermocyclopoides*, en Tabasco, y *M. pehpeiensis*, en el sur de Chiapas. Se atribuye la presencia de todas estas especies en el país a actividades relacionadas con la acuicultura. Otras especies afroasiáticas de *Mesocyclops*, como *M. ogunnus*, encontrada en Brasil y las Islas Caimán (Suárez-Morales *et al.* 1999), podrían encontrarse también en México y Centroamérica. Finalmente, por la dificultad que representa su identificación taxonómica se desconocen las repercusiones ecológicas que pudiera tener la presencia de estos copépodos en México.

#### 6.4.5 Plancton marino

El número de especies no nativas de plancton e invertebrados, junto con el aumento de invasiones que afectan severamente los ecosistemas marinos y estuarinos, se ha incrementado significativamente debido a las descargas de agua de lastre de los buques cargueros y de los cruceros (Woodruff, en Okolodkov *et al.* 2003). Debido a su extenso litoral, México cuenta con 90 puertos, de los cuales 64% reciben tráfico internacional en cantidades importantes, con más de 6 000 arribos por año (GGPM y Coordinación General de Puertos y Marina Mercante 1999). Con base en el tamaño de los buques, se ha calculado que alrededor de 530 m<sup>3</sup> de agua proveniente de Australia, Filipinas, Medio Oriente y Europa se descargan anualmente en costas mexicanas (Okolodkov *et al.* 2007).

#### Impacto económico, biológico y social

Los dinoflagelados son uno de los grupos que han despertado mayor interés en estudios de agua de lastre, de-

bido a que varias especies formadoras de florecimientos tóxicos son capaces de enquistarse y, en ese estado de latencia, sobrevivir por periodos prolongados en condiciones desfavorables (Hallegraeff y Bolch 1992). Entre estas, las de origen exótico originan un mayor costo económico y de salud humana (Hallegraeff 1998). A pesar de la carencia de censos completos e históricos acerca de la flora de dinoflagelados marinos en los litorales mexicanos (cuadro 6.5), los datos biogeográficos sugieren la introducción, por medio del agua de lastre, de dos especies registradas en las costas de Mazatlán: *Gonyaulax (Amylax) triacantha* y *Dinophysis norvegica*, no obstante que tales especies están circunscritas a áreas geográficas templadas y frías limitadas por la isoterma de 15 °C (Okolodkov *et al.* 2007). Desde 1980 se han reportado mareas rojas de *Amylax triacantha* en Mazatlán, sin embargo la especie no es tóxica. Por el contrario, *Dinophysis norvegica*, registrada en el Golfo de California (Garate, en Hernández-Becerril *et al.* 2003), es una de las principales especies causantes de envenenamiento diarreico por consumo de moluscos en el Mar del Norte (Larsen y Moestrup 1992). Además de su toxicidad, las especies productoras de mareas rojas afectan severamente los ecosistemas por causas físico-químicas (p. ej., agotamiento del oxígeno en la columna de agua debido a la elevada respiración primariamente de las propias algas y de las bacterias que degradan a las algas cuando el florecimiento decae) o bien mecánicas (p. ej., taponamiento de branquias de peces que mueren por asfixia). Otro dinoflagelado nocivo que también forma florecimientos en el Pacífico mexicano y que ha causado severas mortandades de peces es *Cochlodinium catenatum*, distribuido desde el Golfo de California, en Mazatlán, hasta las costas de Acapulco, y su presencia es común en la Bahía de Manzanillo y en Bahía de Banderas. Esta especie se registró por vez primera en México en 2000 y, debido a que es muy conspicua, desde entonces se ha registrado continuamente su presencia en forma de florecimientos, en una zona que había sido monitoreada durante 22 años continuos (Cortés-Altamirano *et al.* 2004), por lo que se puede afirmar que es de reciente introducción en México (Cortés-Lara *et al.* 2004) y se sospecha que llegó en el agua de lastre descargada en el puerto de Manzanillo, Colima.

#### 6.4.6 Moluscos continentales

Se han registrado 26 especies de moluscos continentales en México (14 familias de las clases Gastropoda y Bivalvia).

#### Posibles vías de introducción a México e impactos

Los moluscos han sido trasladados fuera de su área de distribución natural por las actividades humanas, ya que viajan junto con las plantas, el suelo u otros animales, en estadio de huevecillos o como juveniles; salen de una región (en el mismo país algunas veces) o llegan por introducción intencional, causando problemas en la región que invaden.

Moluscos dulceacuícolas como *Pomacea flagellata* (de México) y otras especies de este género devastan arrozales y otros cultivos, y desplazan especies nativas en más de 23 países. *Tarebia granifera* y *Melanoides tuberculata* provienen de Eurasia y África. *M. tuberculata* ha desplazado especies nativas en Nuevo León y probablemente en todo el país (Contreras-Arquieta y Contreras-Balderas 1999). Debido a su alto potencial reproductivo (partenogénicas), sus poblaciones modifican las condiciones del hábitat. Ambas especies portan tremátodos como *Clonorchis sinensis* (duela del hígado) y *Paragonimus westermani* (duela del pulmón) que parasitan al ser humano. *Philophthalmus* sp. parasita aves y mamíferos (causa ceguera al destruir la membrana nictitante), y *Centrocestus formosanus* satura las branquias de peces, asfixiándolos (Mendoza 2004).

Entre los moluscos terrestres, las babosas *Sarasinula plebeia* (que provienen de Nueva Zelanda) y *S. dubia* (de Saint Thomas) son plagas de cultivos agrícolas y han provocado daños en Catemaco, Veracruz, en donde fue necesario cambiar el cultivo de frijol por especies maderables (Andrews y Dundee 1987). *Ceciliodes consobrinus veracruzensis* devastó los cafetales en los municipios de Zongolica y Misantla, Veracruz, atacando las raicillas de las plántulas de café en los semilleros (Aranda Delgado 1987). *Rumina decollata* (del Mediterráneo) es plaga de cultivos de chayote, cebolla y pepino en Santiago, Nuevo León (Correa Sandoval 1993). Existen plagas de babosas (*Limax flavus*, *L. maximus* y *L. marginatus*, de Europa) en cultivos y jardines, las cuales posiblemente desplazan moluscos nativos, como ocurre en el Desierto de los Leones, Distrito Federal. *Helix aspersa* (del Mediterráneo; caracol común de jardín) es capaz de devastar huertos, jardines o cultivos agrícolas como el de la col (Apablaza 1984).

El bivalvo *Corbicula fluminea* obstruye tuberías en sistemas de enfriamiento (Apablaza 1984), lo que impide el flujo de agua en canales de irrigación y abastecimiento, además de que destruye el concreto y desplaza a las almejas nativas de la familia Unionidae (Britton y Fuller 1979). Otros moluscos han invadido el continente y representan

actualmente una de las mayores amenazas para la biodiversidad, en especial para las varias especies de moluscos dulceacuícolas que se encuentran en peligro de extinción en Norteamérica (p. ej., los unionidos). La invasión de los mejillones cebrá (*Dreissena polymorpha*) y quagga (*Dreissena bugensis*) en Canadá y Estados Unidos, así como del mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) en Brasil y otros países de Sudamérica, ha ocasionado, además de problemas en el ambiente, pérdidas multimillonarias al afectar botes, instalaciones de riego y de generación hidroeléctrica. Hay un grave riesgo de que invadan México debido a su expansión acelerada.

#### 6.4.7 Crustáceos exóticos

En México, como en otros países, se ha documentado la presencia de diferentes especies exóticas y trasladadas de crustáceos, y aunque en el país no son numerosos los registros de otras especies, su impacto actual y potencial pone en riesgo la diversidad de crustáceos nativos.

##### Especies invasoras actuales y potenciales

En México se han descrito 16 especies de langostinos *Macrobrachium* (Mejía *et al.* 2003) y 54 especies de acociles nativos: la mayor parte corresponde al género *Procambarus* (42) (Gutiérrez-Yurrita 2004). A pesar de esta diversidad de crustáceos dulceacuícolas, el acocil rojo de Estados Unidos, *Procambarus clarkii*, y la langosta de uña roja australiana, *Cherax quadricarinatus*, fueron introducidos en el país con el fin de activar un desarrollo acuícola con miras a la producción comercial (Gutiérrez-Yurrita 2004). El acocil rojo ha sido introducido y trasladado múltiples veces en distintas regiones del país, lo cual, aunado a su gran capacidad de migración y tolerancia ecológica, le ha permitido tener una amplia dispersión en distintos ambientes acuáticos con consecuencias desastrosas para algunas especies nativas (Campos y Rodríguez-Almaraz 1992), como la reducción de 90% de las poblaciones del acocil endémico *Procambarus regiomontanus* (Rodríguez-Almaraz y Campos 1994). La langosta australiana *Cherax quadricarinatus*, introducida originalmente con fines experimentales, y promovida después por gobiernos estatales (p. ej., Tamaulipas), actualmente se encuentra en al menos cinco estados del país (Sagarpa 2004). Esto representa un enorme riesgo ya que se trata de una especie muy competitiva, con una gran habilidad para escapar y que ha desplazado a numerosas poblaciones de crustáceos en todo el mundo, lo que ha implicado que recientemente

se prohibiera su cultivo, comercialización y posesión (Romero y Jiménez 2002) en Estados Unidos (Mendoza *et al.* 2009). Adicionalmente, se ha encontrado que es portadora de numerosas enfermedades bacterianas y virales (Romero y Jiménez 2002). Otra especie exótica en México es el langostino asiático *Macrobrachium rosenbergii* (Sagarpa 2004), aunque de esta especie no existen datos sobre su presencia en ambientes silvestres de México. Por otra parte, el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, de amplia distribución en las aguas del Pacífico occidental mexicano (Hendrickx 1996), ha sido introducido repetidamente en granjas ubicadas en la vertiente del Golfo de México debido a su importancia acuícola. Hasta el momento no se ha registrado su presencia en el medio silvestre. Sin embargo, Bowles *et al.* (2000) mencionan la presencia de este camarón en las costas de Texas. La trasfaunación de camarones peneidos implica la transmisión de enfermedades virales importantes (p. ej., WSSV). Hasta el momento, la proyección y el auge económico atribuidos a los crustáceos exóticos no han logrado cubrir las expectativas. Es importante mencionar la dualidad observada en las instancias gubernamentales que, por un lado, tratan de regular la translocación o introducción de acociles invasivos en nuevas regiones geográficas, y por otro promueven su producción comercial (Gutiérrez-Yurrita 2004).

#### 6.4.8 Peces de agua dulce

México tiene una fauna de peces de agua dulce consistente en aproximadamente 545 especies nativas (de 40 a 50 no han sido descritas) distribuidas en 155 géneros y 48 familias (Miller *et al.* 2005). Aquí se incluyen los peces primarios, secundarios, migratorios y aquellos periféricos, que son habitantes o visitantes frecuentes de las aguas dulces, más allá de la influencia mareal.

##### Especies en riesgo

La NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2001) enlistó un total de 169 especies de peces de agua dulce, de las cuales ocho se consideran extintas (dos de ellas solo extirpadas en México), 68 en peligro de extinción, 74 amenazadas y 19 bajo protección especial. Las causas principales son las alteraciones de hábitat (86 casos), el abatimiento de los niveles de agua (83), la presencia de especies exóticas/invasoras (76), causas esencialmente antropogénicas, junto con circunstancias naturales que implican fragilidad, como poblaciones reducidas y hábitats/localidades

pequeños (Contreras-Balderas 1999). Otros casos no fueron relacionados con impactos particulares y debe considerarse que varias especies son afectadas por causas múltiples.

### Especies exóticas e invasoras en México

El número de especies exóticas de peces registradas en México, hasta 2004, era de 118. Los grupos representados y su número son los siguientes (Contreras-Balderas 2008): clupéidos 2, arapaimidos 1, salmónidos 2, ciprínidos 20, catostómidos 2, cobítidos 1, carácidos 2, ictalúridos 5, loricáridos 1, fundúlidos 1, poecílidos 14, atherinópsidos 9, morónidos 2, centrárquidos 13 y cíclidos 15. De estos casos, por lo menos 67 (58.78%) han alcanzado la categoría de invasores (Contreras-Balderas 1999). De las 115 especies introducidas, 66 (57.39%) son extracontinentales o estrictamente extranjeras; 49 de ellas, además, han sido transfaunadas. Un total de 22 especies son compartidas con Estados Unidos y dos con Guatemala, mientras que 25 son estrictamente nacionales, pero han sido movidas más allá de sus áreas nativas.

Biogeográficamente, por regiones de procedencia 56 son neárticas, 34 neotropicales, nueve paleárticas, siete etiópicas y dos orientales, en tanto que 10 no tienen un origen definido (Contreras-Balderas 1999, 2008).

Por otra parte, se conocen otras 765 especies pertenecientes a 226 géneros y 91 familias de peces típicamente marinos, que son visitantes ocasionales procedentes de la zona costera (Castro-Aguirre *et al.* 1997). Estas especies a menudo se manifiestan como invasoras, debido a que logran colonizar río arriba, como en el caso del Río Bravo, en donde la penetración ha alcanzado hasta 1 280 km (una especie; S. Contreras-Balderas com. pers.). En los últimos años se ha dado una amplia sustitución de comunidades de 35 a 40 especies de peces de agua dulce por más de 100 especies eurihalinas en los 200 km inferiores del cauce internacional, y 170 km fuera de la zona de influencia de mareas (Contreras-Balderas *et al.* 2002a, b).

### Vías de introducción

Las principales vías reconocidas para 101 especies fueron: acuicultura 38, pesca deportiva nueve, forraje 15, ornamentales 11 y carnada viva cinco; 23 especies fueron introducidas accidentalmente, seis para control de plagas, tres con fines de conservación y 11 por causas desconocidas (Contreras-Arquieta y Contreras-Balderas 1999). En numerosos casos, las introducciones se hicieron por

vías múltiples. Del total de 101 especies, 61 han resultado invasoras, es decir que se encuentran en expansión. Estas vías también han sido reconocidas en todo el mundo por Welcomme (1988).

### Especies ícticas de cultivo actual y potencial

Uno de los reportes más recientes sobre el tema (Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia 2003) mostró que actualmente son 134 las especies acuáticas que se cultivan en México: 44 son peces, 29 de ellos de agua dulce, y los demás salobres o marinos. La lista de dulceacuícolas contiene 13 especies exóticas y 16 nativas transfaunadas. Cabe señalar que, de las 16 nativas, la mayoría han sido sembradas más allá de sus fronteras naturales, lo que en sistemas abiertos las convierte en exóticas, y cuyos impactos ya han sido registrados (Contreras-Balderas *et al.* 1976; Welcomme 1988; Contreras-Arquieta y Contreras-Balderas 1999; Contreras-Balderas 2008).

### Impacto biológico, ecológico, económico y social

Biológicamente, las especies exóticas de peces están involucradas en daños que pueden alcanzar incluso la extirpación de especies nativas en más de 100 localidades dispersas en el país, lo que las hace un componente importante de los riesgos que amenazan con la extinción a nuestras especies. Ecológicamente, algunas de las especies introducidas pueden provocar cambios ambientales, como la carpa común que remueve el lodo, el cual se deposita sobre el sustrato particulado y lo cubre. Los “peces diablo” (plecos) al anidar cavan madrigueras en las riberas, debilitándolas y ello aumenta la erosión, y también pueden minar las pequeñas presas y bordos. En los ámbitos social y económico, varias de estas especies (carpas, tilapias, lobinas, plecos, etc.) han afectado pesquerías importantes, lo que afecta económicamente a poblaciones ribereñas, provocando daños a sus equipos de pesca y generando desempleo (véase recuadro 6.3).

### 6.4.9 Anfibios y reptiles exóticos

Aunque en varios países se han registrado numerosos y diversos daños por la presencia de anfibios y reptiles exóticos, como competencia, hibridación y transferencia de parásitos, en México no se conocen análisis del panorama nacional.

## Vías de introducción e impactos

Las vías de introducción no son bien conocidas, excepto los escapes de mascotas comerciales, como algunas especies de geckos (*Gecko gecko*, *Eublepharis macularis*) y algunas del género *Hemidactylus*, las cuales, a pesar de estar establecidas en el país, han expandido sus áreas de distribución por este mismo mecanismo. Especies como *H. mabouia* o *H. frenatus*; algunas de la familia Varanidae, como *Varanus exanthematicus* y *V. niloticus*; algunas serpientes como boas o pitones (*Antaresia childreni*, *Python morulus* y *Python reticulatus*), y tortugas de los géneros *Geochelone* y *Testudo*, como *T. elegans*, *T. graeca* y *T. sulcata* han resultado invasoras. Desafortunadamente, no está documentada la cantidad de ejemplares y especies que penetran al país, y es poco común que se reporte a los que se pierden o escapan.

El único reporte de impacto documentado en el país es el de la rana toro (*Rana catesbeiana*) (Casas *et al.* 2001). La falta de consumidores domésticos, la fuga de ejemplares y su expansión libre en el medio natural han propiciado que la presencia de estas ranas se convierta en una fuente de peligro serio para numerosas especies nativas de ranas, insectos, aves, peces y reptiles de los que se alimentan. Se ha señalado que la dispersión de la especie se debe a que en aquellos lugares donde habita originalmente y existen actividades de acuicultura, los renacuajos se mezclan con los alevines de peces cultivados y son alimentados involuntariamente junto con estos. En el traslado de alevines suelen ir también larvas de ranas toro, que colonizan nuevos ríos o estanques. Aun cuando en México la distribución registrada de la rana toro es amplia, se desconocen, en gran medida, los efectos que está ocasionando al ambiente. No obstante, se presume que ha eliminado otras especies de ranas. Igualmente, se sabe que ejerce un papel de depredador de otras especies de vertebrados, como serpientes del género *Thamnophis* (Casas y Aguilar 1997a, 1997b; Casas *et al.* 2001).

Otras especies en apariencia fueron introducidas de manera accidental por vía marítima y han colonizado áreas urbanas, tal es el caso de *Hemidactylus frenatus* y *H. mabouia* (para registros estatales véase Schmidt *et al.* 1996). Esta lagartija compite con *H. turcicus*, otra especie invasora que ya se ha establecido en México, la cual es depredadora de huevos y crías y ha tenido gran capacidad de dispersión dentro de zonas tropicales y subtropicales. Entre las serpientes, *Ramphotyphlops braminus* tiene una gran distribución exótica, pero ha sido invisible para mucha gente y se desconoce su secuela en la biota

del país; su registro para México fue reportado por Guzmán y Muñoz-Martínez (1999).

Por otra parte, el proceso de expansión se ha venido frenando ya que el precio de las mascotas en México, legales o ilegales, duplica el que se alcanza en Estados Unidos.

Los anfibios y reptiles exóticos registrados en México son 17, pero se cuenta con poca información acerca de su expansión o de los daños causados por ellos.

### 6.4.10 Macroalgas exóticas

#### Vías de introducción

Las características de muchas macroalgas favorecen la invasión de nuevos ambientes. Estas incluyen: 1] su habilidad para crecer sobre las superficies internas y externas de embarcaciones y sobre conchas de moluscos; 2] su capacidad para sobrevivir en condiciones adversas, ya sea como individuos completos o en pequeños estadios crípticos; 3] su facilidad para dispersarse mediante el desprendimiento de pequeños fragmentos o la producción de grandes cantidades de esporas, y 4] su rápido crecimiento en aguas costeras ricas en nutrientes. Los principales vectores para la introducción de algas son: 1] el transporte marítimo, ya sea adhiriéndose a la superficie de las embarcaciones o en el agua de lastre; 2] la acuicultura, como especie principal o como flora de acompañamiento; 3] las actividades pesqueras, como bioincrustaciones en redes o el uso de carnada; 4] el comercio en acuarios; 5] investigaciones científicas que realizan trasplantes intencionados o presentan escapes accidentales; 6] la apertura de canales o bahías (Ribera y Boudouresque 1995).

#### Especies invasoras presentes en México

*Sargassum muticum*, especie originaria de Asia, fue introducida en Norteamérica, en la Columbia Británica, antes de 1941 con la importación del ostión japonés *Crassostrea gigas*. Después de que comenzó su dispersión hacia el sur (Scagel 1956), se reportó en México a principios de los setenta. *S. muticum* se ha vuelto una especie común y abundante a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California, con plantas que llegan a medir más de siete metros. Actualmente, su distribución llega hasta el sur de Bahía Magdalena (Espinoza 1990). Aun cuando estudios de otras partes del mundo han demostrado la capacidad de esta especie para inhibir el crecimiento de otras especies locales y afectar

**RECUADRO 6.3** ESTUDIO DE CASO: LA INVASIÓN DE LOS PECES DIABLO

Roberto Mendoza Alfaro • Salvador Contreras-Balderas†

Los peces de la familia Loricariidae, conocidos genéricamente como *plecos*, constituyen una de las amenazas más serias a los ecosistemas acuáticos del mundo. Las poblaciones de plecos o “peces diablo”, originarios de Centro y Sudamérica, se han venido estableciendo fuera de su rango nativo de manera vertiginosa en los últimos años. Existen registros de poblaciones de estos peces establecidas desde los años ochenta en Hawái; a partir de los noventa en Puerto Rico, Florida y Texas (Río San Antonio); a finales de los noventa y principios del año 2000 en Taiwán, Filipinas y Japón, y en los últimos tres años se han encontrado con abundancia en las aguas continentales del Pacífico y el Atlántico mexicanos. Las tendencias actuales en el mundo de las especies invasoras de peces indican que estas pueden permanecer localizadas (como el caso de los *snakeheads*), volverse abundantes en interfluvios aislados (el caso de las tilapias introducidas) o sufrir una dramática expansión geográfica (como las carpas orientales introducidas). En el caso de los plecos, se presenta esta última tendencia, que se ha caracterizado por una muy rápida expansión geográfica y una significativa proliferación de sus poblaciones. En México, el primer ejemplar se detectó en el Río Mezcala, en la cuenca del Río Balsas, en 1995 (Guzmán y Barragán 1997). En el año 2001 se recolectaron tres ejemplares pertenecientes a dos especies en Tecpatán, Chiapas, cuenca del Río Grijalva. Para 2003 se reportó de manera simultánea la plaga de plecos en varias localidades cercanas a Tabasco, principalmente el Río Usumacinta y sus vertientes, así como en la presa Infernillo y en el Río Balsas (Escalera com. pers.). Durante los últimos tres años, la invasión de los plecos en estas cuencas y en la mayor parte del país ha sido alarmante (Artigas Azas com. pers.; Wakida-Kusunoki *et al.* 2007); se ha encontrado una gran cantidad de juveniles en ambos casos (G. Lara com. pers.), lo que demuestra el establecimiento de sus poblaciones. Un ejemplo de los estragos causados por estos peces es la devastación de la otrora pesquería de agua dulce más importante de México, la de tilapia en la presa de Infernillo, de la cual se llegaron a registrar producciones de cerca de 20 000 toneladas al año. En la actualidad 70 u 80 por ciento de la captura de tilapia ha sido sustituida por plecos de no menos de tres especies y algunos probables híbridos, lo que ha significado pérdidas por un monto aproximado de 36 millones de pesos/año, y un costo social importante al dejar desempleados a 3 600 pescadores, que con sus familias incluyen otras 46 000 personas (Escalera com. pers.).

Su potencial invasivo está basado en diversas características biológicas —como una reproducción precoz y una alta tasa de reproducción—, de comportamiento de anidación —que en conjunto con sus hábitos nocturnos los hacen imperceptibles— y cuidado parental, que resulta en una alta supervivencia larval. El desarrollo de escamas con fuertes espinas y placas óseas explica en gran medida la ausencia de depredadores. Son territoriales y pueden ser agresivos. Su crecimiento es rápido y la mayor parte de las especies pueden alcanzar 50 cm, y ocasionalmente hasta 70 cm. Ecológicamente son muy adaptables, ya que algunos son tolerantes a la salinidad o son capaces de respirar aire atmosférico, por lo que pueden resistir la desecación durante varios días, y están adaptados para nadar en corrientes muy rápidas, de más de un metro por segundo. Pueden desplazar a las especies endémicas al ingerir sus huevos o competir por algas y detritus. Por otra parte, sus hábitos alimentarios resultan en la resuspensión del sedimento y en cambios en el tamaño del sustrato. Al desplazarse en grandes cardúmenes dañan o arrancan la vegetación nativa, la cual es utilizada a menudo como fuente de alimento, sitio de anidación o de refugio de especies endémicas. Al anidar en grandes colonias, desplazan enormes cantidades de sedimento ya que cavan galerías de hasta 1.5 m de profundidad, con lo cual perturban la estabilidad de las riberas al aumentar su erosión e incrementan sustancialmente la turbidez, lo que afecta de manera importante la calidad del agua. Los individuos grandes, debido a su inmovilidad, resultan atractivos para algunas aves, pero debido a su reacción defensiva con las espinas dorsales terminan matándolas. Así, se les ha responsabilizado de la muerte masiva de pelícanos e igualmente se han registrado ataques contra manatíes. La invasión de estos peces requiere acciones inmediatas; sin embargo, el problema que representan es muy complejo. Primeramente, porque existen varias especies (dos o más del género *Hypostomus*; cuatro o más del género *Pterygoplichthys*) y su identificación taxonómica es particularmente confusa (Mendoza *et al.* 2007). Por otra parte, son múltiples las vías de introducción (escape de importadores comerciales, liberación por acuaristas, dispersión natural de las poblaciones, liberación por recolectores y pescadores), aunque la vía del acuarismo se considera la más importante, ya que los loricáridos representan 5% de los 10 millones de peces que son importados cada año (Ramírez y Mendoza 2005). Finalmente, no se conocen los factores ambientales limitantes para su

supervivencia (aunque se han sugerido las temperaturas invernales y el tipo de sustrato). Al no tener valor económico en su etapa adulta (tamaños mayores a 10 cm) y no ser aceptados como opción alimentaria por los pescadores, se han emprendido esfuerzos para tratar de desarrollar un subproducto con valor agregado, como la harina de pescado.

El análisis de riesgo asociado con la introducción, establecimiento y manejo de estos peces es una medida imprescindible para restringir de manera efectiva su expansión y controlar sus poblaciones; sin embargo, aún no se cuenta con instrumentos adecuados para estimar el riesgo que representa este grupo de peces.

la estructura comunitaria del intermareal rocoso, en México se desconoce su posible impacto. *Undaria pinnatifida*, también proveniente de Asia, donde se cultiva en forma extensiva, fue reportada como especie introducida en 2003 (Aguilar-Rosas *et al.* 2003). A partir de 1971 se reportó en el Mediterráneo con la importación del ostión japonés. Subsecuentemente, debido a su potencial económico fue introducida de manera deliberada para promover su cultivo. También ha sido reportada como introducida de manera no intencional en cascos de embarcaciones. *Undaria* apareció en California en el año 2000 y en Baja California en 2002 (Aguilar-Rosas *et al.* 2003; Zertuche González *et al.* 2006). *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* es una de las especies más invasivas del mundo, con una amplia distribución interoceánica (Ribera y Boudouresque 1995). En algunos lugares es considerada una plaga por su capacidad de adherirse a otros organismos comerciales. En 1977 se encontró en la Bahía de San Francisco y actualmente es común en varios sitios en California. En México, un reporte previo fue confirmado hace poco como erróneo (Pedroche *et al.* 2005). Aunque existen informes recientes de especies anteriormente no reportadas para México, estas no son de carácter invasivo y se requiere confirmar su presencia debido a su difícil taxonomía.

No hay estudio alguno en nuestro país sobre los posibles impactos negativos que especies invasivas de macroalgas pudiesen provocar en México desde el punto de vista biológico, ecológico, económico o social; de hecho, es probable que nunca puedan determinarse debido a la falta de estudios anteriores a la invasión de la especie. Sin embargo, ante las experiencias observadas en otros países, con casos como el de *Caulerpa* y *Undaria*, se considera que pudiesen ser considerables (cuadro 6.5).

#### 6.4.11 Malezas acuáticas exóticas

La mayoría de las plantas acuáticas que se comportan como malezas no son originarias de los países donde cau-

san problemas. Tal es el caso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* o de diversas especies de *Salvinia* (cuadro 6.5). La alta tasa reproductiva y adaptativa de estas plantas, así como la gran concentración de nutrientes en los cuerpos de agua provenientes de la actividad agrícola, urbana e industrial, y la ausencia de enemigos naturales que puedan ejercer un control han tenido como consecuencia un crecimiento explosivo de estas plantas, que llegan a cubrir por completo numerosos cuerpos de agua del país.

#### Vías de introducción

Varias especies de *Salvinia*, *Hydrilla*, *Egeria* y *Elodea* han sido introducidas en México por el comercio de plantas de ornato para acuarios o bien han venido como flora acompañante de peces, también exóticos, importados a nuestro país. El lirio acuático fue introducido como planta de ornato.

#### Impacto económico y ecológico

Entre los problemas económicos causados por plantas acuáticas se pueden citar las pérdidas de agua por evapotranspiración, el azolvamiento prematuro de embalses, la limitación de la actividad pesquera y recreativa, la obstrucción de canales de riego y de tomas en plantas hidroeléctricas, así como de la operación de obras hidráulicas (Gopal 1987). Entre los problemas ecológicos, la acumulación de grandes cantidades de plantas acuáticas provoca el estancamiento del agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y por consiguiente ocasiona la muerte de especies acuáticas (Barret y Forno 1982). Entre los problemas de salud, la proliferación de malezas acuáticas constituye el hábitat para el desarrollo de organismos vectores de enfermedades como la malaria, el dengue, la filariasis, etc. (Hernández y Pérez 1995). Recientemente se ha documentado la presencia de cianobacterias tóxicas en manchas de *Hydrilla verticillata*, las cuales han causado daños significativos en el sur de Estados Unidos, como la

afectación de patos silvestres y una importante mortandad de águila calva (R. Mendoza com. pers.)

### Prevención

Los estragos causados por las especies exóticas invasoras en el medio acuático han dejado claro que, una vez establecidas, su erradicación es en muchos casos prácticamente imposible (p. ej., mejillón cebra, peces diablo). De ahí la importancia y conveniencia de las medidas de prevención.

Con la finalidad de evitar la entrada de especies indeseables en distintas ecorregiones de Norteamérica, la CONABIO, la Semarnat y otras instituciones de Canadá y Estados Unidos, por medio de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), han colaborado desde hace varios años para establecer lineamientos para un análisis de riesgo como mecanismo precautorio, aun considerando que los efectos provocados por estas especies pueden ser imprevisibles. Igualmente, se ha aprovechado la cooperación internacional (p. ej., con el Fish and Wildlife Service) para capacitar a los sectores gubernamental y académico en los procedimientos de HACCP, los que a su vez habrían de capacitar a los sectores productivos. Diferentes universidades públicas y centros de investigación (p. ej., UANL, UABC, Ecosur) han iniciado campañas de difusión sobre especies invasoras acuáticas. Hoy día, en los posgrados de la UNAM y la UANL se imparten materias sobre especies invasoras para preparar a las nuevas generaciones de científicos. Algunos miembros de estas universidades han impartido conferencias en diferentes preparatorias con este mismo propósito y han comenzado a preparar material para involucrar a los niños, como se hace ya en otros países. El tema y su importancia se han dado a conocer por medio de reportes, artículos científicos y de difusión, radio y prensa nacional e internacional. Se han organizado talleres para exhortar a los acuicultores y acuaristas a adoptar diversas medidas preventivas.

### Control

Varios organismos (llamados crípticos) pasan inadvertidos debido a sus hábitos nocturnos, su comportamiento bentónico o porque durante su fase reproductiva cavan galerías para formar sus nidos y permanecen en estos, con lo que se logran dispersar y establecer de manera poco conspicua. Esta situación se agrava debido a la baja frecuencia de monitoreo en el ambiente acuático, lo que

provoca que la mayoría de las veces solo se apliquen medidas de control o contención para mitigar sus efectos negativos, ya que una vez establecidas las especies no se pueden erradicar. En México son pocas las medidas de control utilizadas hasta el momento. Se reducen a la utilización de organismos para control biológico (insectos para controlar malezas acuáticas) y la pesca de ejemplares adultos de moluscos y crustáceos para alimentación (p. ej., tegogolos y langosta de uña roja) y de peces invasores (p. ej., pez joya y plecos) para su uso potencial como fertilizantes o en dietas para acuicultura. Sin embargo, aún no se adoptan medidas modernas más complejas e integradas, como algunas ya aplicadas en el ámbito internacional. Tal es el caso de la utilización de barreras eléctricas o de cortinas de burbujas en los ríos para evitar la dispersión de especies invasoras de peces y moluscos. En cuanto al agua de lastre de grandes barcos, puede recurrirse a combinaciones de cavitación, temperatura y filtración.

### Erradicación

En el medio acuático, la mayor parte de las acciones de erradicación han resultado infructuosas. Lo más común es el uso de rotenona (inhibidor de amplio espectro de la cadena respiratoria) y otros químicos nocivos como cloro (p. ej., en el caso de *Caulerpa*, en la Laguna de Agua Hedionda, en San Diego).

## 6.5 MARCO LEGAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN MÉXICO

Diversos sectores, entre los que destaca el académico, han señalado la necesidad de implementar medidas de prevención y control de especies exóticas. Sin embargo, aún no existe una política nacional transversal para atender las cuestiones relacionadas con especies introducidas en hábitats naturales. El marco general actual es más bien restrictivo. El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), órgano desconcentrado de la Sagarpa, es la entidad encargada de detectar, controlar y en algunos casos erradicar especies invasoras (véase el recuadro 6.1). Sin embargo, tiene un enfoque de tipo agrícola, concentrándose en plagas y enfermedades que afectan productos agrícolas, pecuarios y forestales. Ello, aun cuando algunas de estas especies pueden extenderse a otras áreas o afectar a las especies silvestres nativas y los servicios ecológicos. El esquema se agrava ante



el proceso de globalización. Los tratados o leyes internacionales que impulsan el comercio causan que las regulaciones sobre especies exóticas se consideren como barreras al comercio. La CONABIO creó un Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México. Este sistema se encuentra en el programa Biótica, con información taxonómica, curatorial y ecológica procedente de los inventarios biológicos, de la cartografía del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) y de la literatura sobre el origen, las rutas de introducción y los impactos. Es importante reconocer que el número de especies exóticas siempre estará subestimado, ya que las registradas generalmente están asociadas con megainvasiones o son evidentes por los daños ecológicos o económicos que provocan (CONABIO 2007a,b). Por su parte, la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte, en su Plan Estratégico de Cooperación para la Conservación de la Biodiversidad de América del Norte (CCA 2003), destaca la necesidad de prevenir la introducción de especies invasoras debida al comercio internacional. En una primera instancia, los esfuerzos de la Comisión se enfocan en especies acuáticas y su relación con el comercio ínter e intracontinental desde la perspectiva del TLC.

En cuanto a los aspectos productivos, es fundamental que se atienda en forma integral la promoción de cultivos con especies nativas. Es necesario que se cubran todas las fases para la implementación comercial de biotecnologías (investigación y desarrollo, cultivos piloto y aplicaciones plenamente comerciales). Lo mismo se aplica para el relanzamiento y modernización de tecnologías ya existentes para especies nativas, limitadas por ahora a técnicas tradicionales.

## 6.6 ACTIVIDADES ESTRATÉGICAS

Se requiere la participación de diferentes instancias gubernamentales y académicas para llevar a cabo acciones estratégicas encaminadas a evitar la entrada de nuevas especies invasoras, prevenir y contener la expansión de aquellas ya presentes en el territorio nacional y erradicar las que afectan la biota y los ecosistemas del país. Es fundamental que las acciones se lleven a cabo en función de prioridades determinadas por el grado de amenaza a nuestra biodiversidad y por la viabilidad tanto técnica como financiera (CONABIO *et al.* 2006) (cuadro 6.8).

## 6.7 PERSPECTIVAS

Históricamente, las investigaciones en el área de la ecología se han enfocado a resolver preguntas de carácter teórico o de ciencia básica, más que a cuestiones vinculadas con la conservación. Desde su nacimiento hace dos décadas, la biología de la conservación ha ganado adeptos que promueven y crean enlaces entre la ciencia fundamental y la solución de los problemas ambientales. La desproporción entre artículos publicados y acciones realizadas aún es abismal. El caso de las especies invasoras y los programas relacionados con la restauración ecológica no es la excepción. En lo referente al control de especies exóticas invasoras, apenas en las últimas décadas se ha aplicado la mayoría de los programas. Ya existe información técnica suficiente pero aún hay que desarrollar una estrategia integral de largo plazo que incluya a los sectores gubernamental y académico, y que asegure la entrada de recursos. La formación urgente de recursos humanos de alto nivel en países con mucha más experiencia (p. ej., Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica) es una necesidad imperiosa. Es claro que la solución no recae en la prohibición del uso y la erradicación de especies exóticas; de ahí la necesidad de aplicar programas preventivos en los que se haga previamente un análisis de riesgo y de que se empleen herramientas como el HACCP para evitar escapes accidentales. Es necesario privilegiar el desarrollo y la aplicación de opciones de manejo y biotecnologías alternativas que consideren el uso de especies nativas. Al mismo tiempo, además de los esfuerzos puntuales de restauración aplicada se requiere mejorar el marco de protección legal de las zonas de mayor biodiversidad para que los avances perduren. Es justo reconocer que esta situación en México ha mejorado recientemente, pero estamos apenas al inicio de un largo y arduo camino. Más allá de la creación de áreas naturales protegidas, el caso de las islas requiere sin duda el desarrollo de una norma oficial mexicana o un instrumento similar para la conservación y el uso sustentable del territorio insular mexicano. Las islas de México son ecosistemas que constituyen un patrimonio único y muy valioso para todos los mexicanos. Es necesario armonizar la perspectiva de gobernabilidad —facultad de la Secretaría de Gobernación por conducto de su Subdirección de Administración del Territorio Insular— y la de conservación ambiental en el entorno de la Semarnat, más los usos productivos con sentido sustentable en el ámbito de otras dependencias, como la Sagarpa y la Comisión Nacional de Pesca. Entre otros asuntos, tal norma debiera incluir los usos aceptables (biológica,

**Cuadro 6.8** Actividades estratégicas para evitar la entrada de nuevas especies invasoras, prevenir y contener la expansión de aquellas ya presentes en el territorio nacional y erradicar las que han venido impactando a la biota y los ecosistemas del país

	Prevención	Control	Erradicación
Educación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incluir el tema en educación básica, media y superior.</li> <li>Capacitar y fortalecer cuadros gubernamentales.</li> <li>Producir guías de identificación de especies invasoras para inspectores de aduanas.</li> <li>Implementar campañas de educación ambiental para la sociedad en general.</li> <li>Gestionar el involucramiento del Cecadesu.</li> <li>Utilizar los medios de comunicación masiva en campañas educativas para evitar que la gente libere peces de acuario y mascotas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover talleres de expertos que participen en campañas de control.</li> <li>Diseñar e implementar campañas de educación ambiental para la sociedad a fin de identificar el problema e involucrarse en el control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar protocolos para la erradicación de especies invasoras seleccionadas.</li> <li>Adiestrar grupos especializados en erradicación de acuerdo con sus características.</li> <li>Educar e informar a la sociedad de la importancia de la erradicación y de los impactos por no erradicar especies exóticas.</li> </ul>
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Privilegiar estudios sobre la ecología de especies invasoras a todos los niveles.</li> <li>Diseñar y establecer un programa de monitoreo de especies prioritarias.</li> <li>Crear un grupo o red de investigadores especializados en especies invasoras.</li> <li>Promover la investigación en temas de taxonomía de especies invasoras.</li> <li>Promover el monitoreo por parte de universidades mediante capacitación.</li> <li>Generar información para crear una base de datos nacional.</li> <li>Diseñar sistemas de alerta temprana.</li> <li>Efectuar proyectos que permitan evaluar los riesgos de introducción y dispersión por agua de lastre.</li> <li>Apoyar a expertos en taxonomía de flora y fauna nativas.</li> <li>Formar cuadros que conjunten taxonomía y sistemática con conservación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomentar la investigación para desarrollar métodos efectivos que impidan la dispersión de especies invasoras, así como de métodos de exterminio que sean realmente selectivos y de alta seguridad.</li> <li>Fomentar estudios sobre la biología de las especies invasoras.</li> <li>Fomentar investigación directa sobre actividades productivas que sean vectores, enfocándose en determinar medidas para disminuir los riesgos.</li> <li>Estudios integrales a nivel de cuenca para apoyar el manejo y control de plantas acuáticas invasoras.</li> <li>Documentar la historia de especies invasoras de riesgo para México en ecosistemas similares y sus efectos.</li> <li>Describir y desarrollar usos potenciales de especies invasoras que contribuyan a su control (excepto para malezas acuáticas).</li> <li>Reforzar la investigación sobre métodos de control biológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar métodos específicos para la erradicación de especies invasoras.</li> <li>Desarrollar métodos integrales y protocolos de erradicación.</li> <li>Crear bases de datos sobre especies erradicadas y su comportamiento.</li> <li>Documentar las experiencias de erradicación en otros países y aprovecharlas en México.</li> <li>Implementar el monitoreo de sitios con erradicaciones para medir éxito e impacto.</li> </ul>
Políticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respetar y actualizar la Carta Nacional Pesquera.</li> <li>Transferir las competencias relacionadas con pesca y acuicultura a la Semarnat</li> <li>Abrir oportunidades para desarrollar mecanismos de apoyo para la prevención y control de especies invasoras.</li> <li>Promover políticas de prevención desde un enfoque sistémico de manejo de cuencas.</li> <li>Fomentar el cultivo de especies nativas.</li> <li>Reforzar la vigilancia (en aduanas, mercados, acuarios) para evitar la introducción y comercialización de especies invasoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crear el Instituto Nacional de Especies Invasoras para normar y coordinar a nivel de cuencas, estados y regiones las actividades de prevención, control y erradicación.</li> <li>Promover políticas de control con un enfoque de manejo de cuencas.</li> <li>Endurecer las políticas de compra, venta y movilización de especies y establecer aranceles a productos que se consideren vectores de especies invasoras de alto impacto.</li> <li>Aumentar el número de cercos sanitarios.</li> <li>Continuar con el método de control integral para lirio acuático propuesto por el Bioherbicide Group.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomentar el uso y protección de especies nativas, y darles preferencia siempre sobre las exóticas.</li> <li>Promover el cambio de especies exóticas a nativas entre los productores (forestales, piscícolas, etc.).</li> <li>Promover paquetes biotecnológicos adecuados con especies nativas.</li> <li>Promover políticas de erradicación con un enfoque de manejo de cuencas.</li> </ul>

	<b>Prevención</b>	<b>Control</b>	<b>Eradicación</b>
Legislación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear listas de especies prohibidas y permitidas en distintos grados basadas en análisis de riesgo.</li> <li>• Promover que el Estado designe quién está autorizado para hacer un análisis de riesgo.</li> <li>• Promover una norma oficial mexicana que regule la introducción, cultivo, transporte, cría, venta o cualquier otro uso de plantas acuáticas, peces y organismos acuáticos en general en México.</li> <li>• Establecer en el gobierno federal una política de "ventanilla única" para las decisiones en materia de especies invasoras.</li> <li>• Reforzar la aplicación de las leyes y promover que las empresas las cumplan.</li> <li>• Reforzar la aplicación de convenciones y acuerdos internacionales en lo concerniente a especies exóticas.</li> <li>• Promover tratados binacionales de prevención con países fronterizos (EUA, Guatemala, Belice y países del Caribe).</li> <li>• Obligar a proveedores de plantas y animales a recibir capacitación en el manejo de especies, y a cumplir con las disposiciones de seguridad y prevención.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar normas de bioseguridad y protocolos para la introducción de especies en México.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desregularizar la captura de especies exóticas.</li> </ul>
Financieros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encauzar fondos para la investigación en el tema de especies invasoras.</li> <li>• Promover la aportación de fundaciones internacionales para la prevención y control de especies invasoras.</li> <li>• Crear un fondo o fideicomiso para activar programas urgentes de prevención y para preparar mecanismos de respuesta rápida.</li> <li>• Promover la aportación de recursos y capacidades del ejército y de protección civil en el campo de especies invasoras.</li> <li>• Promover incentivos económicos para la erradicación de especies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contar con fondos de contingencia para el control de especies invasoras, similares a los fondos para atender desastres naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear un fondo nacional para la erradicación de especies invasoras.</li> </ul>

Fuente: CONABIO, Aridamérica, GECI y TNC (2006).

ética, social y económicamente viables) de las islas y sus densidades o intensidades, los principios y normas sobre los asentamientos en ellas, los planes de contingencia para catástrofes naturales y los programas rutinarios de cuarentena. Es indispensable también la estricta regulación del ecoturismo dados los impactos y problemas que puede causar a ecosistemas frágiles de México. El desarrollo de instrumentos regulatorios exige investigación interdisciplinaria para conocer a profundidad los factores que afectan la gobernabilidad de las islas —legales, culturales, económicos, sociales, de nivel macro y micro, y ambientales— y aplicar medidas específicas. Institucionalizar este enfoque y los resultados que ya se han conseguido desde la sociedad civil, en colaboración con dependencias gubernamentales y comunidades locales, parece una necesidad y una consecuencia lógica. En el caso de las especies exóticas acuáticas se requeriría la adopción de la reglamentación internacional vigente sobre aguas de lastre, la cual ha sido implementada en varios países. Es imprescindible la adopción de medidas precautorias, como los análisis de riesgo, para la importación de especies que todavía no se encuentran en territorio nacional, así como para las transfaunaciones. En este mismo contexto, se requiere definir listas negras y blancas basadas en la medida de lo posible en las de países cercanos, para que así se proteja toda la región ecológica. Es importante la aplicación de normas por cuenca y en especial para aquellos cuerpos de agua aledaños a las áreas naturales protegidas. El país requiere un organismo dedicado exclusivamente al problema de las especies invasoras, con personal y presupuesto *ad hoc*.

## 6.8 NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

Aunque hace más de una década se hablaba de la urgente necesidad de aplicar programas de erradicación de especies exóticas (Temple 1990), la cantidad de artículos sobre los efectos de las especies introducidas es mucho mayor que la de los relacionados con la evaluación de los beneficios que conllevan el control o erradicación de las mismas. Se debe considerar como prioritaria la investigación que contribuya al perfeccionamiento de las técnicas de control y de erradicación de especies exóticas, y que facilite a su vez la aplicación de los proyectos (Byers *et al.* 2002). Como en el caso de muchos otros países, se requieren colaboraciones formales entre los investigadores de áreas afines a la conservación y los conservacionistas prácticos, a fin de que: 1] se cuantifique y se haga pública

la eficacia de los programas de control y erradicación; 2] se evalúen las técnicas existentes; 3] se desarrollen nuevas y mejores técnicas, y 4] se aprovechen los programas de erradicación como experimentos ecológicos a escalas espaciales cada vez mayores (Donlan y Comendant 2003; Donlan *et al.* 2003). Al mismo tiempo, y sin negar que la erradicación y el control de las especies invasoras representan una prioridad, es necesario fomentar la investigación para conocer más de la ecología de las invasiones en los diversos ecosistemas de México y en ambientes fragmentados. Es indispensable también la investigación interdisciplinaria para establecer relaciones entre las dimensiones humanas y los usos y movimientos de organismos invasores.

---

## REFERENCIAS

- Aguilar-Rosas, R., L.E. Aguilar-Rosas, G. Ávila-Serrano y R. Marcos-Ramírez. 2004. First record of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Laminariales, Phaeophyta) on the Pacific coast of Mexico. *Botanica Marina* 47: 255-258.
- Aguirre, A., A. Samaniego, C. García, L.M. Luna, M. Rodríguez *et al.* (eds.). 2005. *El control y la erradicación de fauna introducida como instrumento de restauración ambiental: historia, retos y avances en México*. INE, Semarnat-US Fish and Wildlife Service-Unidos para la Conservación, México.
- Aguirre-Muñoz, A., D.A. Croll, C.J. Donlan *et al.* 2008. High-impact conservation: Invasive mammal eradications from the islands of western Mexico. *Ambio* 37: 101-107.
- Álvarez-Castañeda, S.T., y J.L. Patton. 1999. *Mamíferos del noroeste de México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz.
- Álvarez-Castañeda, S.T., y A. Ortega-Rubio. 2003. Current status of rodents on islands in the Gulf of California. *Biological Conservation* 109: 157-163.
- Álvarez-Romero, J.G., R.A. Medellín, A. Olivares de Ita, H. Gómez de Silva y O. Sánchez. 2008. *Animales exóticos en México: una amenaza para la biodiversidad*. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM-Semarnat, México.
- Andrews, K.L., y D. Dundee. 1987. Las babosas veronicelidos de Centroamérica con énfasis en *Sarasinula plebeia* (= *Vaginulus plebeius*). *Ceiba* 28: 163-172.
- Apablaza, J. 1984. Incidencia de insectos y moluscos plagas en siete hortalizas cultivadas en las regiones V y Metropolitana, Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 11: 27-34.
- Aranda, E. 1987. *Una nueva plaga de los semilleros y viveros de café en México: "El caracolito de las raíces"*. First International Congress of Medical and Applied Malacology, Monterrey, Nuevo León.

- Arredondo-Figueroa, J.L., y S.D. Lozano-Gracia. 2003. *La acuicultura en México*. División Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer-Durán (eds.). 2000. *Aguas continentales y diversidad biológica en México*. CONABIO, México.
- Arriaga, L., A.E. Castellanos, E. Moreno y J. Alarcón. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: A case study of buffel grass in arid regions of Mexico. *Conservation Biology* **18**: 1504-1514.
- Atkinson, I.A.E., y T.J. Atkinson. 2000. Land vertebrates as invasive species on islands served by the South Pacific Regional Environment Programme, en G. Sherley (ed.), *Invasive species in the Pacific: A technical review and draft regional strategy*. South Pacific Regional Environment Programme, Apia, Samoa, pp. 19-84.
- Barrett, S.C.H., e I.W. Forno. 1982. Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach (water hyacinth). *Aquatic Botany* **13**: 299-306.
- Berdoy, M., y D.W. MacDonald. 1991. Factors affecting feeding in wild rats. *Acta Oecologica* **12**: 261-279.
- Bhaskar, R., y J. Pederson. 2003. Exotic species: An ecological roulette with nature. MIT Sea Grant College Program, Coastal Resources Fact Sheet, Cambridge.
- Blackburn, T.M., P. Cassey, R.P. Duncan, K.L. Evans y K.J. Gaston. 2004. Avian extinctions and mammalian introductions on oceanic islands. *Science* **305**: 1955-1958.
- Bolen, E.G., y W.L. Robinson. 2003. *Wildlife ecology and management*. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey.
- Bossard, C.C., J.M. Randall y M.C. Hoshovsky (eds.). 2000. *Invasive plants of California's wildlands*. University of California Press, Berkeley.
- Boswall, J. 1978. The birds of Alacran Reef, Gulf of Mexico. *Bulletin British Ornithology Club* **98**: 99-109.
- Bowles, D.E., K. Aziz y C.L. Knight. 2000. *Macrobrachium* (Decapoda: Caridea: Paleomonidae) in the contiguous United States: A review of the species and an assessment of threats to their survival. *Journal of Crustacean Biology* **20**: 158-171.
- Britton, J.C., y S.L.H. Fuller. 1979. The freshwater bivalve Mollusca (Unionidae, Sphaeriidae, Corbiculidae) of the Savannah River Plant, South Carolina, en M.H. Smith e I. Lehr Brisbin, Jr. (eds.), *Savannah River Plant National Environmental Research Park Program*. U.S. Dept. of Energy, The Savannah River Plant SRO-NERP-3, pp. 22-23.
- Búrquez, A., M. Millar y A. Martínez-Yrizar. 2002. Mexican grasslands, thornscrub, and the transformation of the Sonoran Desert by invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*), en B. Tellman (ed.), *Invasive exotic species in the Sonoran region*. University of Arizona Press, Tucson.
- Byers, J.E., S. Reichard, J.M. Randall, I.M. Parker, C.S. Smith et al. 2002. Directing research to reduce the impacts of nonindigenous species. *Conservation Biology* **16**: 630-640.
- Campos, E., y G.A. Rodríguez-Almaraz. 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in Mexico: An update. *Journal of Crustacean Biology* **12**: 627-630.
- Casas, A., G. y M.X. Aguilar. 1997a. El Estado de México y la declinación mundial de anfibios, *Siyán can* (Facultad de Ciencias, UAEM) año 1, núm. 2, p. 6.
- Casas, A.G., y M.X. Aguilar. 1997b. La polémica sobre la declinación mundial de poblaciones de anfibios. *Ciencia Ergo Sum* (UAEM) **4**: 97-102.
- Casas, A.G., M.X. Aguilar y R. Cruz-Aviña. 2001. La introducción y el cultivo de la rana toro (*Rana catesbeiana*). ¿Un atentado a la biodiversidad de México? *Ciencia Ergo Sum* (UAEM) **8**: 62-67.
- Castro-Aguirre, J.L., H. Espinosa-Pérez y J.J. Schmitter-Soto. 1997. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Textos Politécnicos, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Ceballos, G. 1993. Especies en peligro de extinción. En O. Flores y A. Navarro (eds.), *Biología y problemática de los vertebrados en México*. *Ciencias* (número especial) **7**: 5-10.
- Ceballos, G. 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos de México. *Biodiversitas* **5**: 1-8.
- Ceballos, G., H. Gómez de Silva y C. Arizmendi. 2002. Áreas prioritarias para la conservación de las aves de México. *Biodiversitas* **41**: 1-7.
- CCA. 2003. Plan Estratégico de Cooperación para la Conservación de la Biodiversidad de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Montreal.
- CONABIO. 2007a. En <<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/exoticas/doctos/presentacion.html>> (consultado en 2007).
- CONABIO. 2007b. En <<http://www.conabio.gob.mx/invasoras/images/3/3e/EspeciesInvasoras1rversion.pdf>>.
- CONABIO, Aridamérica, GECI y TNC. 2006. Memoria del taller "Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: prioridades en México". Ciudad de México, mayo de 2006, pp. 41 y anexos. CONABIO, en <<http://www.conabio.gob.mx/>> (consultado en 2007).
- Contreras-Arquieta, A., y S. Contreras-Balderas. 1999. Description, biology, and ecological impact of the screw snail, *Thiara tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Thiariidae) in Mexico, en R. Claudi y J.H. Leach (eds.), *Nonindigenous freshwater organisms: Vectors, biology, and impacts*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp. 151-160.
- Contreras-Balderas, S., V. Landa-Salinas et al. 1976. Peces, piscicultura, presas, polución, planificación pesquera y monitoreo en México, o la danza de las P. *Primer Simposio de Pesquerías en Aguas Continentales* **1**: 315-346.
- Contreras-Balderas, S. 1999. Annotated checklist of introduced invasive fishes in Mexico, with examples of some recent introductions, en R. Claudi y J.H. Leach (eds.), *Nonindigenous freshwater organisms: Vectors, biology, and impacts*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp. 35-54.
- Contreras-Balderas, S., R.J. Edwards, M.L. Lozano-Vilano y

- M.E. García-Ramírez. 2002a. Fish biodiversity changes in the lower Río Grande/Río Bravo, 1953-1996. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **12**: 219-240.
- Contreras-Balderas S., P. Almada-Villela, M.L. Lozano-Vilano y M. García-Ramírez. 2002b. Freshwater fishes at risk or extinct in Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **12**: 241-251.
- Contreras-Balderas, S. 2008. Especies de peces introducidas en aguas continentales de México. Catálogo manuscrito. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto AE002, México.
- Coombs, E.M., J.K. Clark, G.L. Piper y A.F. Jr. Cofrancesco. 2004. *Biological control of invasive plants in the United States*. Oregon State University Press, Salem.
- Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. 1999. *Los puertos mexicanos en cifras, 1992-1998*. SCT, México.
- Correa Sandoval, A. 1993. Caracoles terrestres (Mollusca: Gastropoda) de Santiago, Nuevo León, México. *Revista de Biología Tropical* **41**: 683-687.
- Cortés-Altamirano, R., A.P. Sierra-Beltrán y M.C. Cortés-Lara. 2004. **Dominance and permanence of harmful algae forming blooms in Mazatlán Bay (1979-2000)**, en K.A. Steidinger, J.H. Landsberg, C.R. Tomas y G.A. Vargo (eds.), *Harmful algae 2002*. Proceedings of the X<sup>th</sup> International Conference on Harmful Algae, St. Pete Beach, Florida, octubre 21 a 25, 2002. Florida Marine Research Institute-Florida Fish and Wildlife Conservation Commission-Florida Institute of Oceanography-Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, pp. 344-346.
- Cortés-Lara, M.C., R. Cortés-Altamirano y A.P. Sierra-Beltrán. 2004. Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas de Bahía de Banderas, Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical* **52**: 35-49.
- Courchamp, F., J.L. Chapuis y M. Pascal. 2003. **Mammal invaders on islands: Impact, control, and control impact**. *Biological Reviews* **78**: 347-383.
- Czech, B., y P.R. Krausmann. 1997. Distribution and causation of species endangerment in the United States. *Science* **277**: 1116-1117.
- DOF. 2000. Acuerdo por el cual se aprueba la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, 17 de agosto de 2000.
- Donlan, C.J., y T. Comendant. 2003. Getting rid of rats. *The Environmental Magazine* **10**: September-October.
- Donlan, C.J., G.R. Howald, B.R. Tershy y D.A. Croll. 2003. Evaluating alternative rodenticides for island conservation: Roof rat eradication from the San Jorge Islands, Mexico. *Biological Conservation* **114**: 29-34.
- Elizondo-Quiroga, D., C.T. Davis, I. Fernández-Salas, R. Escobar-López, D. Velasco *et al.* 2005. West Nile virus isolation in human and mosquitoes, Mexico. *Emerging Infectious Diseases* **11**: 1449-1452.
- Elton, C.S. 1958. *The ecology of invasions by plants and animals*. John Wiley, Nueva York.
- Enserink, M. 1999. Biological invaders sweep in. *Science* **285**: 1834-1836.
- Espinosa-García, F.J. 2003. La amenaza de las plantas exóticas invasoras, en *Memoria del Seminario Michoacano sobre la Problemática Ambiental de las Especies Introducidas. Caso Eucalyptus*. CIDEEM, Morelia, Michoacán, p. 7.
- Espinosa-García, F.J., J.L. Villaseñor y H. Vibrans. 2004. The rich generally get richer, but there are exceptions: Correlations between species richness of native plant species and alien weeds in Mexico. *Diversity and Distributions* **10**: 399-407.
- Espinosa, J. 1990. The southern limit of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophyta, Fucales) in the Mexican Pacific. *Botanica Marina* **33**: 193-196.
- Flores-Villela, O., y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. CONABIO-UNAM, México.
- Flores-Villela, O., y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* **20**: 115-144.
- Frey, D.G. 1982. Questions concerning cosmopolitanism in cladocera. *Archiv für Hydrobiologie* **93**: 484-502.
- Galavíz-Silva, L. 1999. Virus del síndrome de Taura (TSV) y virus del síndrome de la mancha blanca (MSSV), agentes causantes de epizootias en la camaricultura mexicana (1996-1999). Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, Monterrey.
- Galavíz-Silva, L., Z.J. Molina-Garza, J.M. Alcocer-González, J.L. Rosales-Encinas y C. Ibarra-Gámez. 2004. White spot syndrome virus genetic variants detected in Mexico by a new multiplex PCR method. *Aquaculture* **242**: 53-68.
- Gaskin, J.F., y B.A. Schaal. 2002. Hybrid *Tamarix* widespread in U.S. invasion and undetected in native Asian range. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**: 11256-11259.
- Genovesi, P., y C. Shine. 2003. European Strategy on Invasive Alien Species. Council of Europe, Estrasburgo.
- Genovesi, P. 2005. Eradications of invasive alien species in Europe: A review. *Biological Invasions* **7**: 127-133.
- Goldburg, R., y T. Triplett. 1997. *Murky waters: Environmental effects of aquaculture in the United States*. The Environmental Defense Fund, Nueva York.
- Gopal, B. 1987. *Water hyacinth. Aquatic plant studies 1*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. 2004. The use of the crayfish fauna in Mexico: Past, present and future. *Freshwater Crayfish* **14**: 30-36.
- Guzmán, A., y R. Muñoz-Martínez. 1999. Primer registro de *Ramphotyphlops braminus* (Daudin 1803) (Reptilia: Typhlopidae) para el estado de Durango, México. *Vertebrata Mexicana* **5**: 1-3.
- Guzmán, A.F., y J. Barragán S. 1997. Presencia de bagre suda-

- americano (Osteichthyes: Loricariidae) en el Río Mezcala, Guerrero, México. *Vertebrata Mexicana* **3**:1-4.
- Hallegraeff, G.M., y C.J. Bolch. 1992. Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: Implications for plankton biogeography and aquaculture. *Journal of Plankton Research* **14**:1067-1084.
- Hallegraeff, G.M. 1998. Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: Bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Marine Ecology Progress Series* **168**:297-309.
- Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson y A.D. Cembella (eds.). 2002. *Manual on harmful marine microalgae. Monograph on oceanographic methodology*. UNESCO, París.
- Harrison, I.J., y M.L.J. Stiassny. 1999. **The quiet crisis: A preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or 'missing in action'**, en R.D.E. MacPhee (ed.), *Extinctions in near time: Causes, contexts, and consequences*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, pp. 271-332.
- Havel, J.E., y P.D.N. Hebert. 1993. *Daphnia lumholtzi* in North America: Another exotic zooplankter. *Limnology and Oceanography* **38**:1823-1827.
- Hendrickx, M.E. 1996. *Los camarones Penaeoidea béntonicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico mexicano*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM-CONABIO, México.
- Hernández, F.C., y M.E. Pérez. 1995. El vuelo del mosquito: un debate sobre mosquitos, en *Avance y Perspectiva. (Órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional)* **14**:5-15.
- Hernández-Becerril, D.U., M.E. Meave y C. Flores-Granados. 2003. Dinoflagelados del orden Dinophysiales en las costas mexicanas, en M.T. Barreiro-Güemes, M.E. Meave del Castillo, M. Signoret y G. Figueroa-Torres (eds.), *Planctología mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología, México, pp. 10-42.
- Hopkins, C.C.E. 2001. *Actual and potential effects of introduced marine organisms in Norwegian waters, including Svalbard*. Research report 2001-1. Directorate for Nature Management, Oslo.
- Howald, G., C.J. Donlan, J.P. Galván, J.C. Russell, J. Parkes et al. 2007. Invasive rodent eradication on islands. *Conservation Biology* **21**:1258-1268.
- IMTA, The Nature Conservancy, CONABIO, Aridamérica y GECI. 2007. *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad*. Jiutepec, Morelos.
- Inderjit, S. 2005. *Invasive plants: Ecological and agricultural aspects*. Birkhäuser-Verlag, Suiza.
- INEGI. 2005. Territorio insular de México. Continuo nacional, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- Jehl, J.R., y K.C. Parkes. 1983. Replacements of landbird species on Socorro Island, Mexico. *The Auk* **100**:551-559.
- Jehl, J.R., y W.T. Everett. 1985. History and status of the avifauna of Isla Guadalupe, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* **20**:313-336.
- Juárez-Palacios, J.R., y M.G.G. Palomo. 1987. La acuicultura en México: antecedentes y desarrollo alcanzado hasta 1982, en S. Gómez-Aguirre y V. Arenas-Fuentes (eds.), *Contribuciones en hidrobiología*. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 37-89.
- Kerr, P.J., y S.M. Best. 1998. Myxoma virus in rabbits. *Revue Scientifique et Technique* **17**:256-268.
- Kolar, C.S., y D.H. Wahl. 1998. Daphnid morphology deters fish predators. *Oecologia* **116**:556-564.
- Larsen, J., y O. Moestrup. 1992. *Potentially toxic phytoplankton. 2. Genus Dinophysis (Dinophyceae)*. ICES. Identification Leaflets for Plankton, International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Lassuy, D.R. 1995. Introduced species as a factor in extinction and endangerment of native fish species. *American Fisheries Society Symposium* **15**:391-396.
- López-Jiménez, S. 1987. Enfermedades más frecuentes de las carpas cultivadas en México. *Acuavisión, Revista Mexicana de Acuicultura* **2**:11-13.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas y M. de Poorter. 2004. *100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Selección del Global Invasive Species Database*. Grupo Especialista en Especies Invasoras (GEEI), de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). Primera edición, en inglés, publicada junto con el número 12 de la revista *Aliens*, diciembre de 2000. Versión traducida y actualizada: noviembre de 2004.
- MacDonald, D.W., M. Berdoy y F. Matthews. 1999. The brown rat: Explorations of opportunism, en Z. Zhang, E. Hinds, G. Zingleton y W. Zu-Wang (eds.), *Rodent biology and management*, ACIAR, Canberra.
- Mack, R.N. 1981. Invasion of *Bromus tectorum* L. into western North America: An ecological chronicle. *Agro-Ecosystems* **7**:145-165.
- Mack, R.N., D. Simberloff, W.M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout et al. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecology* **10**:689-710.
- Martínez-Jerónimo, F. 1995. *Autoecología experimental de Daphnia magna (Crustacea: Cladocera) y su aplicación en estudios de toxicología acuática*. Tesis de doctorado, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Martínez Jiménez, M. 2005a. *Manual para la cría masiva de Neochetina spp., utilizado en el control biológico del lirio acuático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Martínez Jiménez, M., 2005b. *Manual para la cría masiva de Cyrtobagous salviniae utilizado en el control biológico de Salvinia molesta*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

- Martínez-Morales, M.A., y A.D. Cuarón. 1999. *Boa constrictor*, an introduced predator threatening the endemic fauna on Cozumel Island, Mexico. *Biodiversity and Conservation* **8**:957-963.
- McChesney, G.J., y B.R. Tershy. 1998. History and status of introduced mammals and impacts to breeding seabirds on the California Channel and Northwestern Baja California Islands. *Colonial Waterbirds* **21**:335-347.
- Meave, M.E. 2006. Informe final del proyecto CONABIO BA008 "Diatomeas (Bacillariophyta), dinoflagelados (Dinophyta) y silicoflagelados (Dictyochophyceae) marinos del Pacífico mexicano, con énfasis en la porción tropical". CONABIO, México.
- Mejía-Ortiz, L.M., F. Álvarez y R.G. Hartnoll. 2003. A new species of freshwater prawn, *Macrobrachium totonacum* (Decapoda, Palaemonidae), with abbreviated development from Mexico. *Crustaceana* **76**:77-86.
- Mellink, E. 1992a. Status de los heterómidos y cricétidos endémicos del estado de Baja California. Comunicaciones Académicas, Serie Ecología. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada.
- Mellink, E. 1992b. The status of *Neotoma anthonyi* (Rodentia, Muridae, Cricetinae) of Todos Santos Islands, Baja California, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Science* **91**:137-140.
- Mendoza, R. 2004. Introduction of invasive aquatic species on the inland waters ecosystems of Mexico, en L.A. Meyerson, K.A. Ciruna y E. Watson (eds.), *The ecological and socio-economic impacts of invasive alien species on island ecosystems: Report of an expert's consultation*. Global Invasive Species Programme, Washington, D.C.
- Mendoza, R., S. Contreras, C. Ramírez, P. Koleff, P. Álvarez *et al.* 2007. Los peces diablo: especies invasoras de alto impacto. *Biodiversitas* **70**:2-5.
- Mendoza, R., B. Cudmore, R. Orr, J.P. Fisher *et al.* 2009. Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species. The cases for the snakeheads (Channidae) and armored catfishes (Loricariidae) in North America inland waters. Commission for Environmental Cooperation, Montreal.
- Miller, R.R., W.L. Minckley y S.M. Norris. 2005. *Freshwater fishes of Mexico*. University of Chicago Press, Chicago.
- Miller, T.E., J.M. Kneitel y J.H. Burns. 2002. Effect on community structure on invasion success and rate. *Ecology* **83**:898-905.
- Mooney, H.A. y R.J. Hobbs (eds.). 2000. *Invasive species in a changing world*. Island Press, Washington, D.C.
- Morton, J.F. 1980. The Australian pine or beefwood (*Casuarina equisetifolia* L.), an invasive weed tree in Florida. *Proceedings, Florida State Horticultural Society* **93**:87-95.
- Myers, J.H., D. Simberloff, A.M. Kuris y J.R. Carey. 2000. Eradication revisited: Dealing with exotic species. *Trends in Ecology and Evolution* **15**:316-320.
- Nagler, P.L., O. Hinojosa-Huerta, E.P. Glenn, J. García-Hernández, R. Romo *et al.* 2005. Regeneration of native trees in the presence of invasive saltcedar in the Colorado River Delta, Mexico. *Conservation Biology* **19**:1842-1852.
- Nogales, M., A. Martín, B.R. Tershy, C.J. Donlan, D. Veitch *et al.* 2004. A Review of feral cat eradication on islands. *Conservation Biology* **18**:310-319.
- Nunan, L.M., B.T. Poulos y D.V. Lightner. 1998. The detection of white spot syndrome virus (WSSV) and yellow head virus (YHV) in imported commodity shrimp. *Aquaculture* **160**:19-30.
- O'Connor, C.E., y C.T. Eason. 2000. Rodent baits and delivery system for island protection. *Science for Conservation*. Wellington, Nueva Zelandia.
- Okolodkov, Y.B., A.L. Ibáñez, M.F. Gutiérrez, J.W. Chapman, E. Suárez-Morales *et al.* 2003. Aquatic non-indigenous species in Mexico. 1st International Workshop on Guidelines and Standards for Ballast Water Sampling, Río de Janeiro.
- Okolodkov, Y.B., e I. Gárate-Lizárraga. 2006. An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botánica Mexicana* **74**:1-154.
- Okolodkov, Y.B., R. Bastida-Zavala, A.L. Ibáñez, J.W. Chapman, E. Suárez-Morales *et al.* 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* **XI**(32):29-67.
- Parkes, J., R. Henzell y G. Pickles. 1996. *Managing vertebrate pests: Feral goats*. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Pedroche, F., P.C. Silva, L.E. Aguilar-Rosas, K.M. Dreckmann y R. Aguilar-Rosas. 2005. *Catálogo de las algas marinas bentónicas del Pacífico de México. 1. Chlorophycota*. UAM-Iztapalapa-UC-UABC, México.
- Peinado-Guevara, L.I., y M. López-Meyer. 2006. Detailed monitoring of white spot syndrome virus (WSSV) in shrimp commercial ponds in Sinaloa, Mexico, by nested PCR. *Aquaculture* **251**:33-45.
- Perrings, C., K. Dehnen-Schmutz, J. Touza y M. Williamson. 2005. How to manage biological invasions under globalization. *Trends in Ecology and Evolution* **20**:212-215.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zúñiga y D. Morrison. 2000. *The economics of biological invasions*. Elgar, Cheltenham, RU.
- Pimentel, D. 2002. Introduction: Non-native species in the world, en D. Pimentel (ed.), *Biological invasions: Economic and environmental costs of alien plant, animal and microbe species*. CRC Press, Boca Ratón.
- Pimentel, D., R. Zúñiga y D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* **52**:273-288.
- Prenter, J., C. MacNeil, J.T.A. Dick y A.M. Dunn. 2004. Roles of parasites in animal invasions. *Trends in Ecology and Evolution* **19**:385-390.
- Priddel, D., N. Carlile y R. Wheeler. 2000. Eradication of



- European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) from Cabbage, Tree Island, NSW Australia, to protect the breeding habitat of Gould's Petrel (*Pterodroma leucoptera leucoptera*). *Biological Conservation* **94**: 115-125.
- Primack, R.B. 2002. *Essentials of conservation biology*. Sinauer Associates Press, Sunderland, Massachusetts.
- Ramírez, C., y R. Mendoza. 2005. *La producción y comercialización de peces de ornato de agua dulce, como vector de introducción de especies acuáticas invasivas en México*. Desert Fishes Council, Cuatrociénegas, Coahuila.
- Reid, J.W., y R.M. Pinto-Coelho. 1994. An Afro-Asian continental copepod, *Mesocyclops ogunnus*, found in Brazil; with a new key to the species of *Mesocyclops* in South America and a review of intercontinental introductions of copepods. *Limnologica* **24**: 359-368.
- Ribera, M.A., y C.F. Boudouresque. 1995. Introduced marine plants, with special reference to macroalgae: Mechanisms and impact, en F.E. Round y D.J. Chapman (eds.), *Progress in phycological research*, Vol. 11. Biopress, Bristol, RU, pp. 187-268.
- Rodríguez-Almaraz, G.A., y E. Campos. 1994. Distribution and status of the crayfishes (Cambaridae) of Nuevo León, Mexico. *Journal of Crustacean Biology* **14**: 729-735.
- Romero, X., y R. Jiménez. 2002. Histopathological survey of diseases and pathogens present in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens), cultured in Ecuador. *Journal of Fish Diseases* **25**: 653-667.
- Sagarpa. 2004. *Carta Nacional Pesquera*. Cuarta Sección.
- Sala, O.E., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* **287**: 1770-1774.
- Salgado-Maldonado, G., y R.F. Pineda-López. 2003. The Asian fish tapeworm *Bothriocephalus acheilognathi*: A potential threat to native freshwater fish species in Mexico. *Biological Invasions* **5**: 261-268.
- Salgado-Maldonado, G. 2006. Checklist of helminth parasites of freshwater fishes in Mexico. *Zootaxa* **1324**: 1-357.
- Samaniego-Herrera, A., A. Aguirre-Muñoz, M. Félix-Lizárraga et al. 2008. Restoring island ecosystems in the Gulf of California: Black rat eradication on Farallón de San Ignacio and San Pedro Mártir islands. 7<sup>th</sup> California Islands Symposium, Oxnard, California.
- Samaniego-Herrera, A., A. Aguirre-Muñoz, G.R. Howald et al. En prensa. Erradicación de ratas negras de las islas Farallón de San Ignacio y San Pedro Mártir, Golfo de California, en L.M. Flores-Campaña (ed.), *Estudios de las islas del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Sinaloa-Gobierno del Estado de Sinaloa-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Sanderson, M.A., P. Voigt y R.M. Jones. 1999. Yield and quality of warm-season grasses in central Texas. *Journal of Range Management* **52**: 145-150.
- Sax, D.F., J.J. Stachowicz y S.D. Gaines (eds.). 2005. *Species invasions: Insights into ecology, evolution, and biogeography*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Scagel, R.F. 1956. Introduction of a Japanese alga, *Sargassum muticum* into the northeast Pacific. *Fisheries Research Papers* **1**: 49-58.
- Schmidt, W., F. Mendoza-Quijano y M.E. Martínez-Solís. 1996. Range extensions for *Hemidactylus frenatus* in Mexico. *Herpetology Review* **27**: 40.
- Scholz, T., y G. Salgado-Maldonado. 2000. The introduction and dispersal of *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924) (Digenea: Heterophyidae) in Mexico: A review. *American Midland Naturalist* **143**: 185-200.
- Sedena. 2002. Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de noviembre de 2002.
- Semarnat. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002.
- Senasica. 2008. Se inicia la liberación de palomilla del nopal estéril (*Cactoblastis cactorum* Berg.) en Isla Contoy, Quintana Roo. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Sagarpa. Disponible en <<http://148.243.71.63/default.asp?idnot=242>>.
- Shine, C., N. Williams y L. Gundling. 2000. *A guide to designing legal and institutional frameworks on alien invasive species*. UICN, Gland.
- Simberloff, D. 1996. Impacts of introduced species in the United States. *Consequences* **2**: 13-23.
- Smithburn, K.C., T.P. Hughes, A.W. Burke y J.H. Paul. 1940. A neurotropic virus isolated from the blood of a native of Uganda. *American Journal of Tropical Medicine* **20**: 471-472.
- Soberón, J., J. Golubov y J. Sarukhán. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* **84**: 486-492.
- Steward, G., y A.C. Hull. 1949. Cheatgrass (*Bromus tectorum* L.): An ecological intruder in southern Idaho. *Ecology* **30**: 58-74.
- Suárez-Morales, E., J.A. McLelland y J.W. Reid. 1999. The planktonic copepods of coastal saline ponds of the Cayman Islands with special reference to the occurrence of *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, an apparently introduced Afro-Asian cyclopoid. *Gulf Research Reports* **11**: 51-56.
- Temple, S.A. 1990. The nasty necessity: Eradicating exotics. *Conservation Biology* **4**: 113-115.
- Todd, K. 2001. *Tinkering with Eden: A natural history of exotics in America*. W.W. Norton, Nueva York.
- USFWS. 2008. *Hazardous analysis and critical control points*. U.F. Fish and Wildlife Service. Disponible en <[www.haccp-nrm.org](http://www.haccp-nrm.org)> (consultado en diciembre de 2008).

- Van Devender, T., R.S. Felger y A. Búrquez. 1997. Exotic plants in the Sonoran Desert region, Arizona and Sonora. *Proceedings of the California Exotic Plant Council Symposium* 3: 17-22.
- Van Driesche, J., y R. Van Driesche. 2000. *Nature out of place: Biological invasions in the global age*. Island Press, Washington, D.C.
- Veitch, C.R., y M.N. Clout. 2002. *Turning the tide: The eradication of invasive species*. IUCN, Gland.
- Vidal-Martínez, V.M., M.L. Aguirre-Macedo, T. Scholz, D. González-Solís y E.F. Mendoza-Franco. 2001. *Atlas of the helminth parasites of cichlid fish of Mexico*. Academia, Praga.
- Villaseñor, J.L., y F.J. Espinosa-García. 1998. *Catálogo de malezas de México*. UNAM-Fondo de Cultura Económica, México.
- Villaseñor, J.L., y F.J. Espinosa-García. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions* 10: 113-123.
- Wakida-Kusunoki, A.T., R. Ruiz-Carus y E. Amador del Ángel. 2007. Amazon sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) (Loricariidae), another exotic species established in southeastern Mexico. *The Southwestern Naturalist* 52: 141-144.
- Weber, E. 2003. *Invasive plant species of the world: A reference guide to environmental weeds*. CABI Publishing, Wallingford, RU.
- Weiss, D., D. Carr, J. Kellachan, C. Tan, M. Phillips *et al.* 2001. Clinical findings of West Nile virus infection in hospitalized patients, New York and New Jersey, 2000. *Emerging Infectious Diseases* 7: 654-658.
- Welcomme, R.L. 1988. *International introductions of inland aquatic species*. FAO Fisheries Technical Paper 294: 1-318.
- Wilson, D.E. 1991. Mammals of the Tres Marias Islands. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 206: 214-250.
- Wilson, G., N. Dexter, P. O'Brien y M. Bomford. 1992. *Pest animals in Australia*. Bureau of Rural Resources and Kangaroo Press, Canberra.
- Williams, C.K., I. Parer, B.J. Coman, J. Burley y M.L. Braysher. 1995. *Managing vertebrate pests: Rabbits*. Bureau of Resources Sciences / CSIRO Division of Wildlife and Ecology. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Wood, B., B.R. Tershy, M.A. Hermosillo, C.J. Donlan, J.A. Sánchez *et al.* 2002. Removing cats from islands in north-west Mexico, en C.R. Veitch y M.N. Clout (eds.), *Turning the tide: The eradication of invasive species*. IUCN SSC Invasive Species Specialist Group. IUCN, Gland.
- Zambrano, L., y C. Macías-García. 1999. Impact of introduced fish for aquaculture in Mexican freshwater systems, en R. Claudi y J.H. Leach (eds.), *Nonindigenous fresh water organisms: Vectors, biology, and impacts*. Lewis Publications, Washington, D.C., pp. 113-124.
- Zertuche González, J.A., R. Aguilar-Rosas y L.E. Aguilar-Rosas. 2006. La invasión del alga marina *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Phaeophyta) en la isla de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencia y Desarrollo* 32: 9-13.
- Zimmerman, J. 1997. *Ecology and distribution of Tamarix sp.* Southwest Exotic Plant Mapping Program. USGS.
- Zimmermann, H.G., M. Pérez-Sandi, J. Goluvob, J. Soberón y J. Sarukhán. 2000. *Cactoblastis cactorum*, una nueva plaga de muy alto riesgo para las opuntias de México. *Biodiversitas* 33: 2-13.
- Zimmermann, H.G., S. Bloem y H. Klein. 2004. Biología, historia, amenaza, monitoreo y control de la palomilla del nopal, *Cactoblastis cactorum*. FAO/IAEA Programme Nuclear Techniques in Food and Agriculture, México.
- Zimmermann, H.G., y M. Pérez-Sandi. 2006. *The consequences of introducing the cactus moth Cactoblastis cactorum, to the Caribbean and Beyond*. Pronatura, FMCN, USAID, México.