

SECCIÓN III. INVASIONES – POR QUÉ SE NECESITA EL CONTROL BIOLÓGICO

CAPÍTULO 7: LA CRISIS DE LA INVASIÓN

URGENCIA DE LA CRISIS DE LA INVASIÓN

Gobiernos y sociedades necesitan entender los principios del control biológico clásico y dar apoyo financiero a su aplicación, si se va a responder inteligentemente a la crisis de las especies invasoras. Se consideran *especies invasoras* a las especies no nativas que se establecen en lugares donde no evolucionaron y que están separadas físicamente de su área de origen por una barrera geográfica. Para los propósitos de este texto, una especie es invasora aunque cause o no daño. (Ver Pyšek *et al.*, 2004 para la discusión de la terminología en relación a las plantas invasoras). La mayoría de las especies invasoras no son dañinas pero otras son altamente dañinas, ya sea a los intereses económicos o a los ecosistemas naturales. Sin importar los esfuerzos de controlar la dispersión de las plagas invasoras, nuevos insectos, plantas y patógenos dañinos continúan diseminándose.

Las especies invasoras pueden destruir cultivos o matar plantas o animales nativos en áreas grandes. El barrenador esmeralda del fresno *Agrilus planipennis* Fairmaire, originario de China, infesta 5,000 millas cuadradas en Michigan, EU, y ha matado de 6-8 millones de árboles de fresnos. Es posible que destruya millones o aún miles de millones de fresnos en toda Norteamérica, a menos que sea controlado por agentes biológicos. La invasión de Norteamérica por un bivalvo eurasiático – el mejillón cebra *Dreissena polymorpha* Phallas – ha impuesto costos económicos en los usuarios del agua (fábricas, compañías de tratamiento o de suministro de agua) de miles de millones de dólares anualmente. También es posible que lleve hasta 50 especies de mejillones perlados nativos a la extinción. Una alga marina híbrida, *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, criada para acuarios, está cubriendo el fondo del Mar Mediterráneo con una alfombra tóxica de algas que es posible que afecte a los peces y a otras formas de vida marina en formas drásticas, todavía no muy claras.

Incluso plantas y animales importados deliberadamente para usos benéficos se han convertido en plagas. El kudzu *Pueraria montana* (Lour.) Merr. var. *lobata* Willd. Maesen & Almeida), traído a los Estados Unidos desde Japón en 1876 y promovido para el control de la erosión del suelo, ahora es una densa mata que sofoca flores, arbustos y árboles en 7 millones de acres (Britton *et al.*, 2002). El estornino europeo *Sturnus vulgaris* L., introducido a la ciudad de Nueva York en los 1890s por razones frívolas, ahora es uno de cada cinco pájaros silvestres encontrados en Norteamérica. La competencia del estornino por cavidades

para anidar, suprimió al pájaro azul nativo *Sialis sialis* L., el cual solamente se recobró con un programa masivo de construcción de cajas para anidación.

Mil ejemplos, cada uno de ellos doloroso, muchos sorprendentes, otros banales, podrían ser citados acerca del daño por especies invasoras, traídas accidental o deliberadamente para obtener ganancias económicas, sin pensar en las consecuencias futuras. A través de la evolución, el aislamiento de especies por la separación y barreras geográficas (continentes separados, montañas, océanos, lagos) ha permitido que la selección y la divergencia creen un conjunto impresionante y hermoso de plantas y animales. Los seres humanos actualmente están mezclando al azar las especies del mundo, traspasando las barreras naturales, transportando cualquier especie a todas partes por cualquier propósito. Los resultados a menudo son desagradables, ecológicamente desastrosos y costosos.

Entonces ¿qué se puede hacer? primero, la prevención con mejores políticas regulatorias, implementadas más extensamente, podrían reducir significativamente la entrada de especies dañinas (Hedley, 2004; Baker *et al.*, 2005). Prevenir la introducción de especies es, sin embargo, técnicamente difícil. El interés político en los programas de prevención también es disminuido por los intereses comerciales y por el hecho de que la mayoría de las especies introducidas son de poca importancia. Las flores europeas de praderas que crecen a lo largo de las carreteras norteamericanas no causan problemas y son una pequeña parte de la flora local en áreas perturbadas. Las sociedades abiertas, el libre comercio y la bioseguridad son difíciles de mezclar. La gente quiere plantas nuevas, los negocios quieren vender productos con ganancias y los gobiernos quieren un comercio internacional con pocas restricciones para promover el crecimiento económico. Con tales deseos, la prevención tendrá cuando mucho un éxito marginal y no hay cura después de que los invasores se establecen. Más bien, cada esfuerzo – educación, inspección, erradicación de poblaciones colonizadoras y el control biológico de los invasores ampliamente establecidos – tiene su parte en el juego.

Para especies con un claro potencial para causar daños significativos, la erradicación a través de métodos químicos o mecánicos sería intentada inmediatamente después de la detección inicial, si es biológicamente factible. El daño al fondo del Mar Mediterráneo causado por el alga *Caulerpa* fue tan claro que su detección en California incentivó un esfuerzo inmediato del gobierno para erradicarla, usando buzos para inyectar blanqueador bajo las lonas colocadas sobre las algas en el fondo marino. Sin embargo, a veces la amenaza de una especie invasora es desconocida o la especie no es detectada antes de haberse diseminado en un área considerable. Cuando los fresnos en Michigan, EU, empezaron a morir por los barrenadores, el insecto responsable no fue reconocido como invasor sino que se pensaba era una especie nativa similar. Cuando se entendió que el barrenador esmeralda del fresno era un invasor, fue demasiado tarde para la erradicación porque se había diseminado en miles de millas cuadradas. La erradicación de plantas invasoras con rangos que exceden las 1,000 hectáreas raramente es factible económicamente (Rejmánek y Pitcairn, 2002). Es imposible la erradicación de especies voladoras pequeñas, crípticas, difíciles de detectar y con tales rangos de dispersión.

Los controles químicos y mecánicos pueden reducir a las especies invasoras en áreas pequeñas pero usualmente no pueden proteger áreas naturales extensas porque dichos controles son demasiado costosos, disruptivos y contaminantes cuando se aplican en áreas grandes. Sólo el control biológico clásico tiene las características correctas (autodiseminación, permanencia, se reproduce a sí mismo, alta especificidad) para resolver tales problemas. En el Capítulo 8

se discuten opciones para el control de especies invasoras y se comparan con el control biológico clásico, el cual se incluye en los Capítulos 11 y 12. En este capítulo se tratan primero los conceptos básicos acerca de las especies invasoras y se discuten sus orígenes, biología e impactos.

HISTORIAS DE CASOS DE CUATRO INVASORES DE ALTO IMPACTO

CAULERPA TAXIFOLIA: EL “ALGA ASESINA” DEL MEDITERRÁNEO

El alga venenosa *C. taxifolia* nunca vivió en el Mar Mediterráneo pero en 1984 un parche de un metro cuadrado del alga se encontró directamente debajo del acantilado donde se localiza el Museo Oceanográfico de Mónaco. En ese momento pudo haber sido erradicada fácilmente pero no se tomaron acciones. Para el año 2001, ese metro cuadrado se había convertido en 50 millas cuadradas de fondo de mar infestado, a lo largo de 120 millas de costa y se diseminó rápidamente (ver sitio web de Nova, para la cronología de la dispersión). La erradicación dejó de ser una opción. El retraso y la negativa de la erradicación preventiva permitió a los botes diseminar la plaga en todo el Mediterráneo (Meinesz, 2004). Praderas densas de algas se desarrollaron sobre habitats de fondo arenoso (**Figura 7-1**), incrementando la complejidad estructural pero agregando poco a las cadenas alimenticias locales ya que el alga es tóxica para todos, excepto para los herbívoros más especializados. Todavía no está claro lo que este cambio en la vegetación significará para la biodiversidad nativa o para las pesquerías comerciales. En su mayor parte, la investigación todavía no se ha efectuado. Los resultados iniciales indican que las toxinas liberadas por el alga en el agua parecen haber suprimido algunos organismos (Bartoli y Boudouresque, 1997) pero otros se han incrementado (Relini *et al.*, 1998). Los pescadores comentan que las capturas

de especies comerciales han disminuido drásticamente. Estos hallazgos son sólo el inicio de los esfuerzos para determinar los impactos de este invasor en el ecosistema del Mar Mediterráneo.

¿De dónde vino esta alga invasora? Los análisis del ADN demuestran que llegó de plantas distribuidas por el comercio de los acuarios (recordar que la localización de la población inicial era justo debajo del acuario nacional de Mónaco). Las inspecciones han



Figura 7-1. Una colonia del alga tóxica *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh cubriendo el fondo del Mar Mediterráneo. (Fotografía cortesía de Alexandre Meinesz, University of Nice.)

identificado tentativamente que el origen de la planta es Moreton Bay, Australia, donde es una especie nativa (Jousson *et al.*, 2000; Meusnier *et al.*, 2002; Schaffelke *et al.*, 2002; Murphy y Schaffelke, 2003). Esta alga es una amenaza de invasión alrededor del mundo y, consecuentemente, los Estados Unidos ha prohibido su importación comercial. Cuando el alga fue detectada en la costa de California en el 2000, el estado se empeñó agresivamente en erradicar las pequeñas áreas donde estaba presente, usando blanqueador inyectado bajo lonas colocadas sobre las plantas en el fondo marino (Withgott, 2002; Williams y Schroeder, 2003). La erradicación de las aguas de California ha sido exitosa pero la planta todavía existe alrededor del mundo en miles de acuarios, siendo cada uno una fuente potencial de futuras invasiones.

¿Puede hacerse algo para disminuir la densidad de esta alga en el Mediterráneo? Se han encontrado pocas especies que comen esta planta tóxica, aparte de las babosas de mar (moluscos ascoglossos) (**Figura 7-2**) (Thibaut y Meinesez, 2000). A diferencia de las plantas terrestres, las que típicamente son atacadas por cientos de especies de artrópodos (lo que proporciona amplias oportunidades de encontrar un agente de control biológico efectivo y seguro), el número de herbívoros que comen algas marinas es extremadamente limitado y por eso no se ha encontrado ninguno que tenga alto impacto, que sea específico de *C. taxifolia* y que esté adaptado a las aguas templadas del Mediterráneo. Se necesitan más inspecciones para saber si existen tales herbívoros o patógenos en el rango nativo de la alga.



Figura 7-2. Las babosas de mar ascoglossas (aquí, *Elysia subornata*) están entre los pocos grupos de herbívoros que pueden alimentarse del alga tóxica *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. (Fotografía cortesía de Alexandre Meinesez, University of Nice.)

LA SERPIENTE ARBÓREA CAFÉ DESTRUYE A LAS AVES DEL BOSQUE DE GUAM

Primavera Silenciosa de Rachel Carson tomó su nombre de una imagen de bosques sin aves (sin pájaros que canten, la primavera es silenciosa) – un futuro que ella temía para los bosques de su nativo Maine, EU, los que sufrirían debido al uso indiscriminado del plaguicida DDT (ampliamente aplicado contra mosquitos e insectos del bosque en los 1950s y 1960s). Algunas poblaciones de aves fueron realmente suprimidas y aún algunas desaparecieron de partes de los Estados Unidos por el DDT pero, 50 años más tarde, estas especies de aves se han recuperado. La prohibición de dicho compuesto en los 1970s permitió que los quebrantahuesos y las garzas que habían sido suprimidos localmente por el



Figura 7-3. La serpiente arbórea café *Boiga irregularis* Fitzinger, un depredador invasor que ha diezariado las aves del bosque en Guam. (Fotografía cortesía de Christy Martin, CGAPS, Hawaii, USA.)



Figura 7-4. Rango nativo de la serpiente arbórea café *Boiga irregularis* Fitzinger. (Figura cortesía de G. Rodda, USGS; reimpressa de Rodda et al. 1999. *Problem Snake Management the Habu and the Brown Tree Snake*. Cornell University Press, con permiso.)

DDT pero que todavía estaban presentes, aumentarían naturalmente. Esta recuperación natural, acoplada con programas activos de restauración para las águilas calvas y los halcones peregrinos que habían desaparecido de la región, condujo a su recuperación completa, después de que los residuos del DDT desaparecieron. Los temores de Rachel Carson, sin embargo, han ocurrido calladamente en una isla distante del Pacífico llamada Guam. Los bosques de esta base militar de los EU se han vuelto silenciosos porque virtualmente todas las aves nativas del bosque han desaparecido. ¡Aún las aves urbanas introducidas desaparecieron! Los plaguicidas no fueron los culpables ni la caza ni la pérdida del hábitat. El silenciamiento de estos bosques fue causado por la serpiente arbórea café *Boiga irregularis* Fitzinger (**Figura 7-3**) (Jaffe, 1994; Fritts y Rodda, 1998; Rodda *et al.*, 1997, 1999), un invasor no nativo originario del norte de Australia y de Nueva Guinea (**Figura 7-4**).

La serpiente llegó a Guam, una isla sin serpientes arborícolas nativas, en aviones militares en los 1950s. Encontró que las aves y lagartijas de Guam eran una presa fácil y abundante. Para 1985, esta serpiente había alcanzado densidades de 100/ha (Fritts y Rodda, 1998) y progresivamente, las aves nativas del



Figura 7-5. El martín pescador micronesio de Guam (*Todirhamphus cinnamominus cinnamominus*) es uno de los pájaros nativos de Guam diezmados por la serpiente café de los árboles (*Boiga irregularis* Fitzinger). (Fotografía cortesía de W.D. Kesler.)

bosque desaparecieron (**Figura 7-5**). Los murciélagos y reptiles también fueron afectados. Actualmente, en la mayoría de las áreas boscosas sólo sobreviven tres vertebrados nativos (lagartijas). Varios geckos introducidos fueron presas alternantes que permitieron a la serpiente permanecer en altos números aún donde las aves nativas habían desaparecido (Fritts y Rodda, 1998). A diferencia del DDT, cuyo daño se pudo terminar por una acción legislativa, la serpiente arbórea café es un contaminante biológico que se reproduce a sí mismo y que no se disipa con el tiempo. Aunque alguna disminución en la densidad de la serpiente puede estar ocurriendo ahora (debido al agotamiento de su presa básica), hay el riesgo de que se expanda a nuevas islas.

Económicamente, la serpiente arbórea café también ha devastado Guam. Su hábito de trepar en cables y entrar a los transformadores eléctricos causa más de 200 cortes de electricidad por año, costando más de \$4.5 millones de dólares americanos (Fritts *et al.*, 2002).

Ya que Guam es un centro importante de transporte aéreo para la cuenca del Pacífico, la presencia de altas densidades de esta serpiente incrementa significativamente el riesgo (que de otra forma sería insignificante) de que esta serpiente invada Hawaii o un número incontable de islas del Pacífico, causando nuevos impactos ecológicos y económicos en cada salto. Se han usado trampas, cebos envenenados y la instalación de cercas a prueba de serpientes para crear áreas libres de serpientes alrededor de los aeropuertos y de las áreas de almacenamiento de cargamentos. Se han entrenado perros para detectar serpientes en los cargamentos de los aeropuertos o enrolladas en las llantas de los aviones. Sin embargo, los perros sólo han detectado 2/3 de todas las serpientes en las pruebas por etapas. Varias serpientes han llegado a Hawaii y han sido detectadas dentro de las áreas de control de serpientes alrededor de los aeropuertos.

Sin embargo, grandes áreas de bosque deben mantenerse libres de serpientes para salvar las aves de Guam (Engeman y Vince, 2001). El trampeo del perímetro puede contener pero no erradicar a las serpientes en áreas boscosas tan grandes como 18 ha, si se mantiene por 5-6 meses (Engeman *et al.*, 2000). Se necesitan mejores sistemas para remover serpientes de bosques remotos y grandes. La aplicación aérea de ratones muertos con veneno mata serpientes, parece ser prometedora y se está investigando (Shivik *et al.*, 2002). Pero ninguna de estas soluciones será permanente porque no se logra la erradicación. Los programas de restauración de aves basados en control químico o mecánico de las serpientes fallarán si los esfuerzos de supresión no son mantenidos. ¿Cómo puede ser eliminada permanentemente esta serpiente? El control biológico ha estado enfocado

tradicionalmente en controlar malezas e insectos plaga. Esa experiencia no ayuda en este caso. Lo poco que se ha logrado en la supresión de vertebrados plaga ha sido hecho con patógenos. Hasta ahora, las inspecciones en Asia buscando patógenos potencialmente útiles contra la serpiente arbórea café han sido decepcionantes (Telford, 1999; Caudell *et al.*, 2002; Jakes *et al.*, 2003). Actualmente, parecen no estar disponibles opciones de control biológico (Colvin *et al.*, 2005). Mientras tanto, las aves de Guam – las que han sobrevivido en zoológicos – esperan poder volver a sus bosques nativos.



Figura 7-6. Acercamiento de un adulto y de huevos del adélgido lanudo del falso abeto (*Adelges tsugae* Annand). (Fotografía cortesía de Mike Montgomery, www.forestryimages.org, UGA1276003.)

UN ADÉLGIDO ASIÁTICO DESTRUYE LOS FALSOS ABETOS EN EL ESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS

El adélgido lanudo del falso abeto, *Adelges tsugae* Annand (Hemiptera: Adelgidae) (**Figura 7-6**), es un insecto exótico originario de Asia que ha invadido el este de Norteamérica y que está matando una gran cantidad de árboles de falso abeto (**Figura 7-7**) (McClure, 1987, 1996). Los árboles infestados pueden morir en tan corto tiempo como cuatro años (McClure, 1991). Colectado por primera vez en Virginia en 1951 en falso abetos plantados (Stoetzel, 2002), este adélgido es diseminado por pájaros y ahora se encuentra desde Carolina del Norte hasta Nueva Inglaterra (USDA FS, 2004).

En algunas instancias, los depredadores o parasitoides nativos han podido alimentarse y suprimir nuevas plagas invasoras. Sin embargo, en el caso del adélgido lanudo del falso abeto, las inspecciones en Connecticut (McClure, 1987; Montgomery y Lyon, 1996), en Carolina del Norte y Virginia (Wallace y Hain, 2000) han demostrado que los enemigos naturales locales no son efectivos. Aunque Cecidomyiidae, Syrphidae y Chrysopidae se encuentran asociados con la plaga, sus densidades son demasiado bajas para reducir sus poblaciones. Debido a que los enemigos naturales del adélgido en el este de los EU tienen poca habilidad para suprimir la plaga, se ha iniciado un proyecto de control biológico clásico para introducir depredadores de otras áreas, incluyendo mariquitas desde el rango nativo de distribución de la plaga en Japón (*Sasajiscymnus* [= *Pseudoscymnus*] *tsugae* [Sasaji & McClure]) (McClure, 1995) y en áreas de China (*Scymnus camptodromus* Yu & Liu, *Scymnus sinuanodulus* Yu & Yao y *Scymnus ningshanensis* Yu & Yao) (**Figura 7-8**) (Montgomery *et al.*, 2000; Yu *et al.* 2000; Yu, 2001) y escarabajos derodóntios del género *Laricobius* (todos especialistas del adélgido) (**Figura 7-9**) desde el oeste de los EU (*Laricobius nigrinus* Fender) (Zilahi-Balogh *et al.*, 2003ab) y de Japón (*Laricobius* n. sp.).



Figura 7-7. Árboles de abeto oriental muertos por el adélgido lanudo del falso abeto (*Adelges tsugae* Annand). (Fotografía cortesía de William M. Ciesla, www.forestryimages.org, UGA2167010.)



Figura 7-8. *Scymnus camptodromus* Yu & Liu, un coccinéido depredador del adélgido lanudo del falso abeto (*Adelges tsugae* Annand), originario de China. (Fotografía cortesía del Dr. Guoyue Yu.)



Figura 7-9. *Laricobius nigrinus* Fender, un depredador derodóntido del adélgido lanudo del falso abeto (*Adelges tsugae* Annand), originario de Columbia Británica (Canadá). (Fotografía cortesía de Rob Flowers.)

El no continuar el control biológico de esta plaga le permitiría diseminarse en todo el rango del falso abeto oriental, degradando toda la comunidad dependiente del falso abeto. Estudios en la zona Delaware Water Gap (Pennsylvania, EU) demostraron que el 20% de los falsos abetos del parque han muerto por esta plaga y que el 60% está declinando (Evans, 2004, sitio web). La pérdida del falso abeto afecta a las especies nativas dependientes del hábitat templado generado por los grupos de abetos, tales como los vireos solitario y el de ojos rojos, la curruca de garganta negra, la curruca blackburnian y algunos furnariidos (Young, *et al.* 1998), la trucha de arroyo, varias salamandras y ciertos musgos y plantas de flor. Las corrientes de agua dominadas por falsos abetos fueron 2.5 veces más probables

de tener trucha de río (*Salvelinus fontinalis* Mitchill) que las dominadas por árboles de madera dura, y en aguas debajo del falso abeto, las truchas fueron el doble de abundantes (Evans *et al.* 1996, Snyder *et al.* 1998).

EL KUDZU SOSFOCA FLORES SILVESTRES DEL SURESTE DE LOS EU

La introducción del kudzu (*P. montana*) parecía una buena idea: crecía rápidamente, cubriendo los suelos erosionados en las granjas del sureste de los Estados Unidos afectados por las sequías en los años 1930s. Incluso era buen alimento para el ganado, por lo que el Servicio de Conservación de Suelos de los EU pagó a los granjeros para que plantaran kudzu en 1.2 millones de acres. Se produjeron 73 millones de plantas para este uso en viveros especiales (Tabor y Susott, 1941). Hoy en día, con el kudzu haciendo improductivos para el hombre y quizás para la naturaleza siete millones de acres (Everest *et al.*, 1991), la planta no se ve ya como redentora del suelo amenazado. Afortunadamente, hay poca dispersión por semilla. Sin embargo, la planta es muy resistente y apta para dispersarse como planta trepadora, formando matas espesas que sofocan a otras plantas, incluyendo árboles maduros (Figura 7-10). Poca diversidad de plantas nativas puede sobrevivir a tanta competencia.



Figura 7-10. La infestación densa de kudzu *Pueraria montana* (Lour) Merr. var. *lobata* (Willd.) Maesen & Almeida sofoca flores, árboles y a otras plantas nativas. (Fotografía cortesía de Kerry Britton, www.forestryimages.org, UGA0002156.)

LA EXTENSIÓN DEL IMPACTO DAÑINO DE LOS INVASORES

MEDIDAS DEL IMPACTO

¿Qué tan malo es el problema de las especies invasoras? Una medida es simplemente el porcentaje de especies que no son nativas en una fauna o flora local. Por ejemplo, el 27% de las especies de plantas en Florida, EU, no son nativas (925/3448) (Gordon, 1998). Cálculos similares pueden hacerse para cualquier grupo (almejas, insectos, mamíferos, etc.). Asumiendo que tales invasores no son sólo simples rarezas en los habitats invadidos, un porcentaje de especies invasoras en aumento en la comunidad es, en efecto, causa de preocupación. Sin embargo, tal enfoque puede ser mal conducido porque no considera la abundancia o el daño asociado con una especie invasora en particular. Un recuento de impactos más completo incluye el daño por especies invasoras individuales. Un millón de acres de kudzu, sofocando comunidades completas de plantas, es un invasor de alto impacto pero la achicoria (*Cichorium intybus* L., una planta europea que ocurre en bajas densidades a lo largo de las carreteras de los EU) no lo es. El impacto de una planta transformadora (sensu Pyšek *et al.*, 2004), como los árboles australianos de corteza de papel *Melaleuca quinquenervia* (Cavier) Blake en los Everglades de Florida, sólo es captado al entender su habilidad para transformar las praderas pantanosas en bosques pantanosos (Turner *et al.*, 1998; Versfeld y van Wilgen, 1986; Vitousek, 1986).

Ya que los invasores varían demasiado en su efecto, una forma de entender el significado de las especies invasoras es el conocimiento enciclopédico local. Simberloff *et al.* (1997) compilaron tal información sobre varias plantas y animales en la Florida. En los Estados Unidos, grupos estatales o regionales que trabajan con plantas exóticas, han elaborado listas regionales de plantas invasoras, categorizadas por su nivel de amenaza. Este enfoque pone más atención sobre especies que puedan lograr la mayor expansión geográfica o aquellas que puedan ser más dañinas para las especies o comunidades nativas locales. Esfuerzos análogos para animales invasores serían útiles.

Las opiniones no incluidas en la discusión anterior se esconden en las palabras “tiempo perdido” y “sinergismo”. Aunque el compilar listas de especies invasoras de bajo impacto puede parecer un desperdicio de recursos, puede tener valor en señalar las amenazas emergentes. Algunas especies que invaden explosivamente, volviéndose dañinas rápidamente, son plagas de rápida dispersión. Pero otras no. Para algunas especies se necesitan largos períodos de tiempo antes de que las poblaciones tengan suficientes propágulos o el conjunto correcto de circunstancias para invadir la naturaleza (Crooks, 2005). *Mimosa pigra* L. fue introducida cerca de Darwin, Australia, alrededor de 1891 (Miller y Lonsdale, 1987). Permaneció como una maleza menor por casi un siglo hasta los años 1970s, cuando esta área sufrió lluvias inusualmente fuertes que dispersaron las semillas por toda la planicie inundada del Río Adelaide. El sobrepastoreo previo en esa área por búfalos acuáticos salvajes había perturbado el suelo, ofreciendo excelentes sitios de germinación. En 10 años, matorrales de *M. pigra* cubrieron 45,000 ha, con infestaciones importantes en el Parque Nacional de Kakadu, un sitio considerado Patrimonio Mundial (Lonsdale *et al.*, 1988).

Otra característica de las invasiones no captada por el objetivo explícito de los invasores de alto impacto, es el sinergismo: la habilidad de algunos invasores para facilitar el crecimiento de la población y la diseminación de otras. En Hawái, los cerdos, la guayaba fresa, los mosquitos y la malaria de las aves son sinergistas. Los cerdos comen frutos de guayaba y diseminan las semillas hasta áreas remotas del bosque nativo. Con más guayabas hay más cerdos, los que forman revolcaderos más grandes que mantienen agua en los habitats de bosque y permiten que se críen zancudos. El llevar a los mosquitos a lo más profundo en el bosque pone en contacto a la malaria aviar con más aves nativas del bosque, las cuales mueren debido a la falta de resistencia a esta enfermedad no nativa. Colectivamente, cerdos, guayabas, mosquitos y malaria aviar tienen efectos mucho más profundos que el que tendría cualquiera de ellos por sí solo (Simberloff y Von Holle, 1999; Van Driesche y Van Driesche, 2000). Las combinaciones de invasores pueden generar impactos en aumento, permitiendo una “mezcla invasora” en comunidades nativas. Los habitats de menor altitud en Hawái ahora tienen pocas plantas o aves nativas, debido justamente a este proceso.

¿CUÁNTAS MANZANAS MALAS CABEN EN UN BUSHEL? – LA REGLA DEL DIEZ

Ya que las especies invasoras varían, ¿cuáles son las probabilidades de que un nuevo invasor se convierta en un desastre económico o ecológico? La regla del diez es una generalización imprecisa que afirma que cerca del 10% de las especies importadas establecen poblaciones silvestres y que el 10% de dichas especies importadas se volverán dañinas (económica o ecológicamente) (Williamson, 1996). Uno de los conjuntos de datos originales que sostienen esta regla fue elaborado para plantas británicas. De 1,642 especies de plantas exóticas ampliamente sembradas, 210 se establecieron en la naturaleza (12.8%) y 14 pasaron a ser plagas severas (6.7%) (Williamson, 1993). El Mar Mediterráneo tiene 85 especies de plantas exóticas macrofíticas establecidas. De ellas, nueve (10.6%) son consideradas plagas, suplantando especies clave o convirtiéndose en especies dañinas económicamente (Boudouresque y Verlaque, 2002). En una revisión de especies invasoras en los Estados Unidos, se encontró que a través de un rango de taxa, entre 4 y 18% de las especies no indígenas que se establecieron se convirtieron en plagas de alto impacto (U. S. Congress OTA, 1993).

Muchos grupos cumplen la Regla del Diez. Algunos que no, incluyen cultivos, agentes de control biológico, y aves o mamíferos en islas oceánicas. Muchas plantas cultivadas están adaptadas para vivir en campos no cultivados (p. ej., manzanas silvestres en Norteamérica, árboles de morera, higos en algunos climas, hinojo, espárragos, etc.), y tienen tasas de establecimiento de 20-30% pero generalmente no son vistos como plagas (¿preferencia humana?), con algunas excepciones tales como el hinojo en Santa Cruz, una de las Channel Islands de California, donde se está intentando la restauración de la vegetación nativa (USEPA, 2001). Aves y mamíferos en islas oceánicas también exceden la regla del diez. En las islas Hawaianas, más del 50% de las aves introducidas se han establecido (Williamson, 1993). La tasa de establecimiento de mamíferos en islas oceánicas se aproxima al 100% (ver datos para Irlanda y Newfoundland en Williamson, 1993). Algunas áreas como Hawái parecen estar “sobreinvasadas” (McGregor, 1973) y pueden estar en mayor riesgo

que el sugerido por la regla del diez. Las tasas de establecimiento e impacto de los insectos liberados como agentes de control biológico también son más altas que lo esperado, precisamente porque éste es el efecto que se busca en especies que no son seleccionadas al azar. Tasas de 36 y 37% han sido registradas para el establecimiento y el impacto cuando se combinan agentes de control biológico de malezas y de insectos (Williamson, 1993, ver Tabla 2.6 con datos de Lawton, 1990, y Hawkins y Gross, 1992).

TENDENCIAS EN LAS TASAS DE INVASIÓN Y EFECTOS DE LOS ACUERDOS DE LIBRE COMERCIO

¿Se están poniendo peor las cosas o la tasa de invasión es más o menos constante? Se puede responder localmente a esta pregunta pero globalmente los datos son muy difíciles de compilar. Por ejemplo, localmente la situación en las Galápagos se está poniendo peor porque más gente se está mudando a las islas y lleva sus especies favoritas (Mauchamp, 1997). Los grandes movimientos de personas entre regiones siempre traen invasiones. La colonización europea de Australia, Nueva Zelanda, Hawaii y América puso en movimiento miles de invasiones de especies, algunas deliberadamente, otras accidentalmente. Para 1900, restricciones gubernamentales del movimiento de plantas fueron impuestas en los Estados Unidos y en otras partes para disminuir las invasiones de insectos y de fitopatógenos. Las invasiones estimuladas por la colonización continúan. La migración indonesia en masa a la isla de Nueva Guinea y el desarrollo agrícola brasileño en el Amazonas occidental son ejemplos muy recientes.

El comercio internacional es un vector importante de especies a nuevas regiones. El comercio se está incrementando globalmente, con productos movilizados más rápidamente, más lejos y en grandes cantidades. El gobierno inspecciona productos en el comercio para intentar excluir plagas invasoras. El USDA APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) inspecciona cargamentos en los puertos y también intenta la erradicación de poblaciones recientemente detectadas de plagas invasoras amenazantes. Work *et al.* (2005) estimaron que 42 especies de nuevos insectos se establecieron en los Estados Unidos entre 1997 y 2001, a través de cuatro rutas basadas en los cargamentos comerciales. Conforme se incrementa el comercio, sin embargo, el trabajo del inspector se ha vuelto más difícil con más unidades por inspeccionar y menos tiempo para hacerlo. Sólo el 1 o 2% de los productos es realmente revisado. En los contenedores de cargamentos, el método estándar de envío, significaría que para inspeccionar cualquier producto, los contenedores deben estar separados y abiertos, un proceso costoso y que consume tiempo. Las invasiones en los Estados Unidos en los años 1990s por plagas de alto impacto como el barrenador esmeralda del fresno y el barrenador asiático de antenas largas *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky), sugieren que la inspección es poco rigurosa.

¿CÓMO LAS ESPECIES INVASORAS LLEGAN A NUEVOS LUGARES?

DISPERSIÓN NATURAL

Algunos invasores alcanzan nuevas áreas a través de la dispersión natural. Este proceso ha formado la biota mundial a través de la evolución. Obviamente, plantas y animales presentes en islas oceánicas donde las encontraron los humanos, llegaron ahí por sí mismas. La garza del ganado (*Bubulcus ibis*) llegó a Suramérica en 1877, presumiblemente volando. El tizón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea* Sydow) llegó a Australia en 1998, presumiblemente como esporas provenientes desde Indonesia. Las especies que arriban naturalmente no son necesariamente benignas para las comunidades que invaden. Estas pueden ser dañinas. Sin embargo, la tasa de invasión natural es considerablemente inferior a la tasa de invasiones asistida por el hombre. Esta diferencia, no en el tipo sino en la proporción, es la raíz de la crisis actual de invasión.

AUTOESTOPISTAS Y POLIZONES

Además de los agentes de control biológico, los insectos raramente son importados deliberadamente. La mayoría de las especies son trasladadas no intencionalmente en plantas o en cargamentos (ver Sailer, 1983 para la historia de invasiones de insectos a los EU). Las importaciones de plantas pueden conducir a invasiones de insectos y patógenos. El piojo harinoso de la yuca llegó fácilmente al África en material de plantación importado. Otros insectos se han movilizado en material de empaque de madera o en otros productos. El escarabajo asiático de antenas largas y el barrenador esmeralda del fresno invadieron los Estados Unidos desde China como larvas o pupas en cajones o plataformas de carga fabricados con madera no tratada con insecticidas.

En casi todos los países, se entiende que tales especies invasoras deberían mantenerse fuera si es posible. Para la prevención de dichas introducciones entonces es cuestión de saber cuánto desea la sociedad pagar para controlar apropiadamente los bienes vectores. Hace un siglo, se reconocía generalmente que trasladar el suelo junto con plantas facilitaba el movimiento de plagas y la detección era casi imposible. Consecuentemente, está prohibido transportar plantas con suelo no tratado. Similarmente, los troncos no tratados con la corteza intacta son un excelente medio para movilizar patógenos, barrenadores y descortezadores, por lo que su importación está prohibida ahora en muchos países.

NEGOCIOS QUE IMPORTAN ESPECIES PARA VENDER

Algunas especies invasoras son plantas o animales valiosos que fueron importados para uso comercial. Muchas especies de plantas, por ejemplo, son transportadas entre regiones biogeográficas para usarse como cultivos, árboles maderables u ornamentales. Muchas plantas importadas han causado daño económico o ecológico. Los cactus, nativos de América, fueron llevados a Australia por los primeros colonizadores. Los cactus se adaptaron bien al clima árido y libre de plagas. Se diseminaron y eventualmente infestaron casi 60 millones de acres, la mitad tan densamente que la tierra no tenía valor económico (De-

Bach, 1974). Una característica importante de las invasiones de plantas es que a menudo se benefician de la plantación extendida (causando una alta presión de propágulos); por ejemplo, los patios suburbanos fomentan la invasión de plantas en habitats naturales de los alrededores, proporcionando abundantes fuentes de semilla.

Los animales invasores son importados por los comercios de mascotas y acuarios, los que constantemente buscan cosas nuevas para vender. Los peces de agua dulce exóticos de los acuarios son producidos ampliamente en estanques en exteriores en la Florida, de los que grandes números de individuos se escapan periódicamente en épocas de inundación. Esto ha conducido al establecimiento de al menos 31 especies en aguas locales (Courtenay, 1997). Muchos vertebrados terrestres también se han establecido a través del comercio de mascotas, incluyendo varias aves, lagartijas, ranas y aún monos (Stiling, 1989).

Hay pocos controles legales en la venta de grupos de organismos populares en las industrias de plantas o de mascotas. Los importadores no tienen que probar que las nuevas especies son seguras y que no se volverán invasoras fácilmente. Sólo unos pocos culpables están excluidos; el resto obtiene el beneficio de la duda.

PLANTAS Y ANIMALES DE GRANJA

Granjeros, silvicultores y rancheros a veces importan especies nuevas para la producción comercial. Los cultivos han sido llevados alrededor del mundo pero aún cuando invaden, usualmente son vistos como benignos. Sólo en casos extremos, como la guayaba fresa en Hawaii, las plantas alimenticias invasoras son vistas como plagas. La demanda para la importación de nuevas especies de cultivos puede aumentar cuando grupos de inmigrantes buscan producir sus cultivos tradicionales en nuevas localidades. En los Estados Unidos, por ejemplo, está creciendo la demanda de las comunidades asiáticas para la importación y producción de la espinaca de agua (*Ipomoea aquatica* Forsk), aún cuando se sabe que este cultivo es invasor en el sur de los EU (ver el sitio web “waterspinach” para referencias).

Los silvicultores rutinariamente transportan especies de árboles entre regiones biogeográficas. Las coníferas del hemisferio norte, como los pinos, cipreses o abetos han sido plantados ampliamente en países del hemisferio sur, donde carecen de maderas suaves similares. Vastas plantaciones de *Pinus* han sido establecidas en Chile, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica. Las especies de eucaliptos (originarias de Australia) han sido plantadas extensamente en Suramérica y África. En el hemisferio sur, los árboles importados han invadido pastizales y bosques nativos. Aún así, los silvicultores comerciales se sienten justificados en plantar cualquier tipo de árbol en cualquier parte si hay ganancias al hacerlo.

Los animales comunes de granja (cerdos, vacas, cabras, conejos y borregos) fueron liberados ampliamente en islas oceánicas libres de mamíferos en la era de los barcos de vela (Chapuis *et al.*, 1994; Desender *et al.*, 1999). Las liberaciones de animales de granja, usualmente concurrente con las invasiones de ratas y gatos (Atkinson, 1985; Veitch, 1985), han sido la causa principal de extinción de plantas y aves endémicas en las islas oceánicas. Aún en los continentes, las nuevas especies traídas por los agricultores han tenido serios efectos. El mink americano (*Mustela vison* Schreb.) escapó y ahora afecta diversas aves acuáticas en Europa (Ferrerías y MacDonald, 1999). La nutria suramericana (*Myocastor*

coybus Molina) está dañando los humedales costeros en el este de los EU. Los acuacultores transportan camarones, bivalvos y peces que pueden convertirse en plagas por sí mismas o alojar patógenos aptos para infectar especies nativas emparentadas (Kuris y Culver, 1999; Anderson y Whitlatch, 2003).

LIBERACIONES APOYADAS POR LOS GOBIERNOS

El gobierno, en virtud de su control de muchos recursos y de la habilidad de establecer reglas para el movimiento de especies, ejerce una poderosa influencia sobre las invasiones de especies. Muchas de ellas son planeadas y apoyadas por los gobiernos. En Australia, las “sociedades de aclimatación” públicas fueron organizadas para “euroformar” el continente, estableciendo árboles, plantas ornamentales, peces, animales de caza y otras especies familiares que los inmigrantes asociaban con el hogar. En los EU, las agencias de conservación del suelo introdujeron plantas como el kudzu para curar la tierra erosionada, y pastos como el pasto del amor de Lehmann (*Eragrostis lehmanniana* Nees) para incrementar el forraje para el ganado en tierras públicas de pastoreo (Anable *et al.*, 1992). Peces como la trucha arco iris han sido ampliamente introducidos por agencias públicas de pesca y caza en ríos y lagos de los EU y en otras partes, a menudo dañando los peces y anfibios nativos (Knapp y Matthews, 2000). Las aves de caza como el faisán de cuello anillado *Phasianus colchicus* L. y el chukar *Alectoris chukar* (Gray) fueron introducidos al oeste de los EU para proporcionar oportunidades adicionales de caza. En países como el Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica, las políticas públicas han promovido la silvicultura basada en plantaciones de árboles exóticos. El plantar árboles no nativos en grandes áreas retrasa la restauración de los bosques nativos, daña las plantas y la vida silvestre nativa (para una revisión, ver Richardson, 1998).

Los gobiernos también efectúan introducciones para el control biológico clásico para suprimir plagas. Si se hacen bien, esta clase de introducciones es parte de la solución del problema de las especies invasoras. Pero si las políticas y procedimientos que guían la elección de plagas seleccionadas a controlar y los agentes considerados aceptables para introducir no están basados en principios ecológicos, los agentes también pueden convertirse en especies invasoras dañinas (Johnson y Stiling, 1998; Goodsell y Kats, 1999; Boettner *et al.*, 2000; Kovach, 2004).

ESPECIES CONTRABANDEADAS Y SUS ORGANISMOS ASOCIADOS

Una fuente adicional de especies invasoras son los artículos contrabandeados. Algunos ejemplos parecen, haber ocurrido cuando el material vegetal entra de contrabando en algunos países porque no sería permitido por los canales oficiales. El contrabando de plántulas de aguacate de México a los Estados Unidos ha ocurrido, por ejemplo, por la disminución de plántulas de fuentes de los EU. Tales árboles pueden ser fácilmente vectores de plagas del follaje. Similarmente, grupos étnicos que quieren traer variedades de cítricos no disponibles en los EU podrían introducir plantas infectadas con la enfermedad del reverdecimiento de los cítricos (“citrus greening”), la que podría potencialmente destruir la industria cítrica de los EU. En Hawaii, la gente continúa contrabandeando serpientes como mascotas, sin importarles la multa de 200,000 dólares si son sorprendidos (Kraus y Crvalho, 2001; Kraus, 2003).

¿Por qué algunas invasiones son exitosas y otras fallan?

El éxito o la falla de las invasiones individuales puede depender de muchos factores, predecir sus consecuencias no es fácil. Los factores que se cree usualmente favorecen las invasiones incluyen (1) presión alta del propágulo, (2) baja resistencia biótica y (3) disturbio.

PRESIÓN DEL PROPÁGULO

Propágulo significa cualquier semilla, parte del cuerpo o individuos que pueden empezar una población invasora. Para las plantas, los propágulos usualmente son semillas o fragmentos de plantas. Para los animales, los propágulos serían individuos o colonias de adultos o inmaduros. La presión del propágulo es la idea simple de que el incremento del número de propágulos liberados aumenta las oportunidades en que la especie se establezca, especialmente si se hacen liberaciones repetidas. La durabilidad del propágulo también es muy importante. Si los propágulos permanecen viables por largos períodos, se desarrollan “bancos de semillas” que permiten sobrevivir malos períodos a una especie y repoblar cuando las condiciones sean favorables. Además, las especies con propágulos dispersados fácilmente son más probables de ser invasores efectivos. Para las plantas, la facilidad en la dispersión de semillas depende principalmente de la morfología de la semilla. Para las especies que usan animales para dispersar semillas, la presencia o ausencia de un buen dispersador de semillas puede jugar un papel crucial.

Para las especies que invaden naturalmente, las características señaladas son establecidas por su biología (cuántas semillas son producidas, cómo se dispersan, etc.). En otros casos, la actividad humana establece el número de propágulos y su distribución. Los hogares suburbanos construidos en áreas boscosas, por ejemplo, proveen de múltiples sitios en los que los arbustos u otras plantas quedan libres para dispersarse en el bosque. La plantación de grandes números de plantas ornamentales incrementa la presión del propágulo de especies usadas comúnmente, causando que los jardines se conviertan en áreas representativas de las invasiones de especies en los alrededores.

RESISTENCIA BIÓTICA

Después de arribar, los invasores deben experimentar un crecimiento de población positivo si sus números y rangos van a incrementarse. De otra forma, el grupo inicial morirá. El crecimiento de población positivo requiere que las tasas de muerte sean menores que las tasas reproductivas. La resistencia biótica es el concepto de que algunos lugares son más favorables que otros para una especie invasora debido a menores muertes causadas por herbívoros, depredadores o patógenos. Para las plantas, la resistencia biótica también incluirá la competencia con otras plantas por espacio o recursos limitados, lo que reduce el crecimiento y la producción de semillas. A las aves marinas que inicialmente colonizaron nuevas islas, les fue mejor en islas libres de depredadores, comparadas con las islas con ratas.

DISTURBIO DEL HABITAT

“El disturbio prepara el semillero”. El disturbio es visualizado más fácilmente en relación con las plantas invasoras. Para algunos tipos de plantas, el suelo perturbado, donde se han eliminado las especies locales, disminuye el impacto de la competencia en la sobrevivencia de la plántula del invasor, haciendo más fácil el establecimiento. El disturbio puede ser causado por el pastoreo animal (Merlin y Juvik, 1992), incendios (Milberg y Lamont, 1995), la acción mecánica de ríos (Hood y Naiman, 2000), acciones humanas o por tormentas. El disturbio del habitat también puede disminuir las tasas de depredación. En Isla Navidad, por ejemplo, los cangrejos rojos terrestres (*Gecarcoidea natalis* Pocock) son un factor clave de mortalidad del caracol africano gigante invasor (Lake y O’Dowd, 1991). Al cortar los árboles disminuyeron las densidades del cangrejo, haciendo que tales áreas sean más propensas a la invasión del caracol que los bosques lluviosos intactos.

ECOLOGÍA E IMPACTO DEL INVASOR

Algunos efectos de los invasores pueden ser fotografiados: una serpiente arborícola café tragando huevos del atrapamoscas de Guam sería digna de National Geographic. Otros impactos – como la muerte gradual de los árboles hospederos del adélgido lanudo del abeto – sólo son visibles después de muchos años. Relacionar al adélgido con grupos de falsos abetos muertos es posible pero algo indirecto. Pero ¿quién podría conectar el declinamiento de la mariposa nativa *Pieris napi oleracea* Harris con la invasión de una mariposa plaga exótica *Pieris rapae* (L.), sin fastidiar el eslabón invisible del parasitismo compartido (Benson *et al.*, 2003)? Ocurren conexiones aun más difíciles cuando las especies invasoras cambian las características del habitat en formas que conducen a las poblaciones de especies nativas a un declinamiento largo y lento, conforme sus habitats se vuelven demasiado secos o se queman muy a menudo o tienen demasiado nitrógeno en el suelo.

MUERTE DIRECTA

Los insectos y los fitopatógenos invasores pueden ser selectivos, matando la mayoría a unos pocos hospederos favoritos pero permitiendo que los miembros de la comunidad restante se ajusten lo mejor que puedan. El hongo invasor que destruyó al castaño americano *Castanea dentata* (Marsham) Borkjasuer afectó a una sola especie. Otras especies de árboles, principalmente encinos, llenaron los huecos. La muerte directa por depredadores más generalistas puede cortar un sendero más amplio. La introducción de zorros rojos en Australia redujo la abundancia de al menos once especies de marsupiales de tamaño mediano (Kinnear *et al.*, 2002).

COMPETENCIA POR ESPACIO O RECURSOS

Las plantas invasoras pueden crecer más que las plantas nativas, quitándoles el acceso al suelo y a la luz. Algunas especies invasoras pueden sofocar directamente a las nativas, tal como la enredadera zorrillo *Paederia foetida* L. que cubre a los árboles de madera dura

en los Everglades de la Florida (Pemberton and Pratt, 2002). Otras plantas invasoras simplemente aumentan su cubierta del suelo en detrimento de las especies nativas, como cuando *Lythrum salicaria* L. reemplaza a la espadaña (*Typha* sp.) en pantanos de agua dulce (Blossey, 2002). Aún algunos animales, principalmente especies con baja movilidad, pueden ser desposeídos de su espacio vital. Las densas incrustaciones del mejillón cebra afectan severamente a los mejillones perlados (Unionidae), filtrando el alimento y obstruyendo las valvas de los mejillones nativos.

CAMBIOS EN LAS REDES ALIMENTICIAS

Cualquier relación “A come B” está incrustada en una red alimenticia más amplia (ver Capítulo 9). En algunos casos, las acciones de un invasor pueden cambiar grandes porciones de la red alimenticia de una comunidad, incrementando bastante el impacto del invasor. Por ejemplo, cuando la perca del Nilo *Lates niloticus* L., un pez depredador grande, fue liberado en el Lago Victoria (en el este africano), la red alimenticia sufrió una contracción masiva, quizá con tantas como 200 especies nativas de peces en desaparición (Goldschmidt, 1996; Seehausen *et al.*, 1997) y la mayoría de la energía alimenticia fue redirigida hacia la perca del Nilo y dos depredadores menores. Interesantemente, hay evidencias que sugieren que no todas las especies que se creían extintas lo fueron, sino que redujeron significativamente su densidad. Además, parece que la pesca excesiva de la perca del Nilo está permitiendo que algunas especies de peces se recobren parcialmente (Balirwa *et al.*, 2003). Las plantas invasoras también pueden alterar dramáticamente las redes alimenticias de una comunidad, dominando el nivel de productor. El arbusto Bitou *Chrysanthemoides monilifera rotundata* (DC.) T. Norl, una planta invasora de comunidades de dunas arenosas en el sureste de Australia, disminuyó significativamente la diversidad del nivel de herbívoros y parasitoides en las comunidades invadidas (Willis y Memmott, 2005) (Figura 7-11).

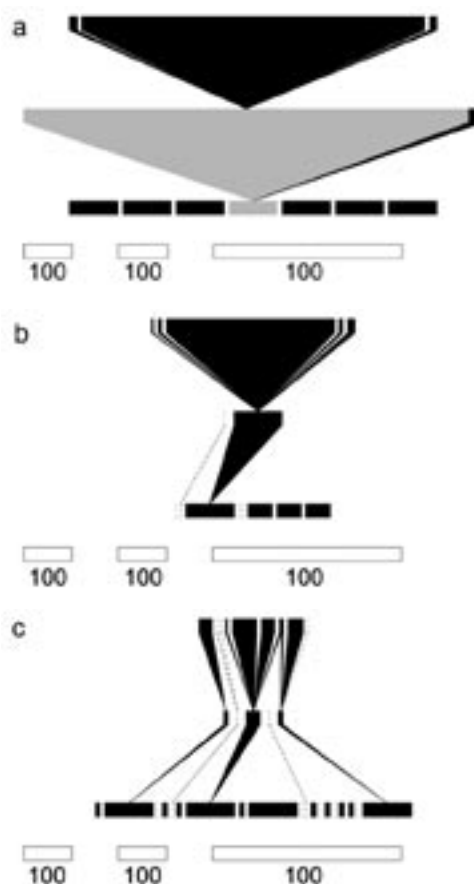


Figura 7-11a,b,c. Las cadenas alimenticias en comunidades de dunas arenosas en el sureste de Australia que son infestadas fuertemente (a) o moderadamente (b) por el arbusto invasor bitou *Chrysanthemoides monilifera rotundata* (DC.) T. Norl muestran una diversidad de especies drásticamente disminuida, al ser comparadas con las mismas comunidades libres de esa maleza (c). (Reproducida con permiso de Willis and Memmott, 2005: *Biological Control* 35: 299-306).

CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HABITAT

Los invasores también pueden cambiar física y químicamente los habitats invadidos. Por ejemplo, los castores (*Castor canadensis* Kuhl) convierten corrientes de agua fría en habitats acuáticos calientes. Las especies aptas para definir físicamente un habitat a veces son llamadas ingenieros del ecosistema (Crooks, 2002). Tales especies pueden modificar habitats en diversas formas, incluyendo: (1) el incremento en la frecuencia o intensidad de los incendios en pastizales (D'Antonio y Vitousek, 1992), (2) la disminución de las tablas de agua (Neill, 1983; Vitousek, 1986), (3) el incremento en la salinidad del suelo (Kloot, 1983) y (4) el aumento del nitrógeno en suelos estériles (Vitousek, 1990; Ley y D'Antonio, 1998; Hughes y Denslow, 2005).

CAPÍTULO 8: FORMAS DE SUPRIMIR ESPECIES INVASORAS

La primera respuesta a la crisis de especies invasoras debería ser disminuir la tasa de invasión, implementando políticas y prácticas que apunten a la prevención. Sin embargo, la prevención a veces falla, por lo que es importante el monitoreo para detectar a los invasores recientemente establecidos. La detección temprana puede hacer posible la erradicación. Si la prevención y la erradicación fallan, serán necesarios controles activos que incluyan (1) el manejo del hábitat, (2) plaguicidas, (3) herramientas mecánicas, y (4) el control biológico. Varios factores determinan qué opciones son mejores para casos particulares, incluyendo la extensión de tierra infestada, el costo de control y si la necesidad de supresión es temporal o permanente. Si la meta es suprimir permanentemente una especie invasora en todo el terreno, el control biológico es el método más práctico. En campos de agricultores o en pequeñas reservas naturales, el control mecánico o químico puede ser factible.

PREVENCIÓN: AFRONTAR NUEVAS INVASIONES CON POLÍTICAS FIRMES

La prevención empieza con políticas firmes que minimicen el riesgo de invasión (Van Driesche and Van Driesche, 2001). La predicción de cuáles especies es posible que se transformen en invasores dañinos es un valioso primer paso. Esto requiere un amplio conocimiento de la taxonomía y biología de varios grupos de organismos e información específica acerca de la capacidad invasora de una especie en particular en otras regiones. Para las especies pronosticadas para convertirse en invasoras, el riesgo de introducción puede ser determinado por el *análisis de la ruta de invasión*, el estudio de cómo invasores específicos se mueven geográficamente. Si se comprenden los procesos de vectores potenciales clave, los métodos para limitar las introducciones no deseadas pueden ser concebidos. Cuando el riesgo de un proceso es muy bajo, puede ser más efectivo poner un impuesto a las actividades que diseminan vectores más bien que prohibirlas y usar las ganancias para erradicar o controlar las invasiones que ocurran (Hayes, 1998).

PREDECIR CUÁLES ESPECIES PODRÍAN SER INVASORAS DE ALTO IMPACTO

Las características del ciclo vital de una especie y el grado de su capacidad invasora en otras partes son indicativos de su potencial para futuras invasiones. Se necesita que los gobiernos usen más esta información. Varios principios pueden guiar el proceso.

APLICAR LOS MISMOS ESTÁNDARES A TODOS LOS GRUPOS DE ORGANISMOS QUE ESTÁN SIENDO INTRODUCIDOS.

Los riesgos asociados con las introducciones de plantas exóticas históricamente han sido sustancialmente subestimados y, en la mayoría de los países, hay relativamente poco énfasis en la determinación del potencial invasor al introducir nuevas especies de plantas. Por el contrario, la mayoría de la gente asume que las introducciones de insectos, aún los de agentes para el control biológico, serán dañinas. Diferentes grupos de organismos son regulados, si es que lo están, bajo diferentes leyes para distintos propósitos. Las introducciones de plantas son reguladas principalmente para evitar la introducción de insectos y fitopatógenos. En los Estados Unidos (y en la mayoría de los demás países), se asume que las plantas no conllevan riesgos, a menos que estén en una diminuta lista de malezas nocivas. Esto ocurre, en parte, porque la gente disfruta de las plantas y asume que son benéficas. También puede reflejar el desgano de los gobiernos en interferir con el comercio de plantas exóticas. Pocos países, entre ellos Australia y Nueva Zelanda, requieren de un análisis, antes de la introducción, del potencial de nuevas plantas que pueden volverse invasoras.

GUIARSE POR LAS EXPERIENCIAS EN OTROS PAÍSES.

Las especies que son invasoras en cualquier parte son más probables de volverse plagas si son introducidas a nuevas regiones con climas similares (NRC, 2002). Partes de Sudáfrica, Australia, Chile, California y la zona que rodea al Mediterráneo, tienen climas similares. Por tanto, debería asumirse que una especie invasora en uno de estos lugares es un riesgo también para los otros. Por ejemplo, la planta europea *Hypericum perforatum* L. se ha vuelto una plaga invasora en Australia, California, Sudáfrica, Chile, Nueva Zelanda y Hawái (Julien y Griffiths, 1998) – todas estas regiones tienen áreas con clima mediterráneo.

ESTUDIAR EL POTENCIAL INVASOR DE ESPECIES EN GRUPOS VALIOSOS.

Si el valor económico de un grupo de plantas es alto, deberían determinarse los potenciales invasores de especies individuales de ese grupo. Tal conocimiento detallado puede conducir a que los beneficios de un grupo sean disfrutados mientras que se evitan algunos riesgos, a través del uso preferente de las especies menos invasoras. Por ejemplo, los pinos exóticos son importantes para las plantaciones forestales en el hemisferio sur porque hay pocas coníferas nativas con propiedades comerciales. Mientras el uso de árboles nativos se debería favorecer, mientras continúe la explotación de árboles exóticos, es valioso saber cuáles especies de géneros comúnmente usados como *Pinus* y *Eucalyptus* son más invasoras. Los estudios en Sudáfrica (Richardson, 1998) han demostrado que, para los pinos exóticos, la “presión del propágulo” está bien correlacionada con el riesgo del potencial invasor, siendo las especies más invasoras las que maduran pronto, producen muchas semillas ligeras y en intervalos cortos, como *Pinus greggii* Englemn.

EVITAR ESPECIES CON VENTAJA ESTRUCTURAL COMPETITIVA O CONTRA LA CUAL EL CONTROL BIOLÓGICO NO ES FACTIBLE.

Algunos tipos de organismos es más probable que sean altamente dañinos o imposibles de controlar y estas especies necesitan ser reconocidas y evitadas escrupulosamente. Entre ellas están las enredaderas, plantas acuáticas flotantes, pastos y fitopatógenos. Hay muchos ejemplos de invasores dañinos en estos grupos (enredaderas: dulceácida asiática *Celastrus orbiculatus* Thunb.; enredadera zorrillo *Paederia foetida* L.; helecho trepador del Viejo Mundo *Lygodium microphyllum* (Cav.) R. Br.; kudzu *Pueraria montana* (Lour) Merr. var. *lobata* (Willd.) Maesen & Almeida; plantas flotantes: lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.; salvinia gigante *Salvinia molesta* D. S. Mitchell; helecho acuático rojo *Azolla filiculoides* Lamarck; lechuga de agua *Pistia stratiotes* L.; hierba del caimán *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.). La habilidad de estas plantas para flotar sobre el agua o para trepar en árboles nativos les permite ganar el acceso a la luz, favoreciéndolas en su competencia con las plantas nativas.

Grupos como los pastos y los fitopatógenos son de especial preocupación porque parece que nada puede hacerse con ellos, si se transforman en invasores dañinos. No existen ejemplos de control biológico exitoso de pastos, aunque han habido algunos intentos contra unas pocas especies. Similarmente, debería haber mucha preocupación acerca de los fitopatógenos invasores por las enfermedades que causan (p. ej., la marchitez del castaño debida a *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr.; la antracnosis del cornejo por *Discula destructiva* Redlin; el cáncer del nogal por *Sirococcus claviginenti-juglandacearum* Nair, Kostichka, & Kuntz; y la enfermedad del olmo holandés por *Ophiostoma ulmi* (Buisn.) Nannf.), las que han diezmando importantes árboles de bosque en Norteamérica; el control biológico clásico no puede controlar dichas plagas.

ANÁLISIS DE RUTA: ESTUDIO DE CÓMO LAS INVASIONES SE DISPERSAN

Los esfuerzos de prevención pueden ser más eficientes si se enfocan en los procesos de los vectores, más bien que en especies particulares. Las plantas, suelo, agua de lastre, el casco de los barcos y el material de empaque de madera, son medios importantes para movilizar algunas especies invasoras.

PLANTAS

Algunos insectos que atacan plantas se adhieren a ellas o están dentro de tallos o frutos. Tales insectos se mueven fácilmente con otras plantas hospederas. La escama de San José *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock) se diseminó alrededor del mundo en plantas de vivero de manzana. Para 1900, tantos insectos plaga habían alcanzado el continente Americano, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica en plantas importadas que estos países aprobaron leyes, requiriendo que las plantas fuesen inspeccionadas y certificadas como libres de insectos, antes de la importación. Estas medidas fueron adoptadas porque muchas de las plagas importadas causaron serios daños a la agri-

cultura, silvicultura y a la horticultura. El éxito en la exclusión de insectos herbívoros varía con el rigor de la inspección y el volumen del comercio de cada país.

En contraste, la reducción del riesgo del movimiento de plantas que introduce patógenos de plantas nativas emparentadas ha sido menos exitosa. En parte, esto ocurre porque estos organismos microscópicos son difíciles de detectar, su impacto potencial a menudo es desconocido y el muestreo requiere más experiencia y tiempo para determinar el riesgo. Pero también las bases ecológicas del problema son más complejas. Con los insectos, para la mayoría, la meta era detectar plagas conocidas. En contraste, los hongos o bacterias de plantas exóticas pueden ser inocuos para aquellas especies pero letales para las plantas nativas emparentadas. La detección de esos patógenos de “nueva asociación” cuya letalidad todavía no se sospecha, no es posible por los métodos usados para reducir a las plantas como vectores de insectos invasores. Más bien, las sociedades necesitan estudiar activamente organismos que podrían movilizarse entre especies vegetales y convertirse en patógenos, y luego controlar sus invasiones limitando la importación de plantas que puedan ser vectoras. Dicho trabajo raramente se hace. En cambio, tales conexiones son determinadas usualmente sólo después de que han ocurrido invasiones dañinas, principalmente con el propósito de limitar su dispersión posterior. Esfuerzos para controlar la diseminación del hongo de la muerte súbita del roble *Phytophthora ramorum* (S. Werres, A. W. A. M. de Cock & W. A. Man in't Veld) desde California hacia el resto de los Estados Unidos es un ejemplo (USDA, sitio web sudden oak death). Aunque no se ha probado, se cree que este patógeno fue importado a California en plantas de *Rhododendron* (Martin y Tooley, 2003; Rizzo y Garbelotto, 2003), desde donde ha infectado y matado cedros nativos, con un cambio consecuente en la composición de los árboles del bosque. Las autoridades federales están tratando de evitar su diseminación en Norteamérica a través de cuarentenas en plantas que hospedan al patógeno. Sin embargo, en algunos hospederos este patógeno no es letal y es asintomático, haciendo la detección casi imposible.

SUELO

Mezclas de suelo a menudo fueron enviadas internacionalmente antes de 1900, cuando las plantas fueron trasladadas a nuevos países. Ya que los insectos y patógenos son comunes y no detectables en suelo no tratado, esta práctica fue prohibida poco después de 1900. Para detener el transporte de suelos con organismos vivos, se podía eliminar el suelo (enviando plantas con raíces desnudas), tratar el suelo con calor o fumigar con plaguicidas para matar insectos y patógenos en el suelo.

AGUA DE LASTRE

A diferencia del suelo, la importancia del agua de lastre de los barcos (**Figura 8-1**) como un medio de diseminación de especies invasoras no fue reconocida legalmente hasta hace poco. Se ha sabido desde hace tiempo que el agua de lastre mantiene especies exóticas que pueden establecerse, después de haber sido descargadas en nuevas regiones.



Figura 8-1. La descarga del agua de lastre de barcos oceánicos, cuando están en un puerto, es una ruta de invasión importante de las especies acuáticas. (Fotografía cortesía de Dave Smith.)

Pero no fue hasta el desastre causado por el mejillón cebra que la seriedad de tales invasiones alertó al gobierno de Estados Unidos. El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha* Pallas) fue encontrado en 1986 cerca de Detroit, Michigan (Schloesser, 1995). Se diseminó rápidamente, a veces alcanzando poblaciones 700,000 mejillones/m² (Schloesser, 1995). Las compañías con tomas de agua y tuberías de descarga ahora deben limpiar química o mecánicamente las tuberías. Una cuestión más importante es que este mejillón es un competidor duro de los mejillones perlados nativos, muchos de los cuales ya estaban amenazados (Ricciardi *et al.*, 1996; Martel *et al.*, 2001). Los mejillones cebra reducen la concentración de alimento en la columna de agua y obstruyen las valvas de los mejillones nativos, impidiéndoles que las cierren apropiadamente. El daño potencial de una invasión por el mejillón cebra en Norteamérica fue reconocido desde 1921, y el mecanismo vector probable (larvas en agua de lastre de los barcos) en 1981 (Schloesser, 1995). La nueva legislación aprobada en los Estados Unidos requiere que ahora los barcos manejen su agua de lastre para reducir el transporte de especies invasoras, ya sea con tratamiento químico del agua o intercambiando agua en medio del océano, para que no se introduzca agua de lastre fresca de otras regiones a los lagos o ríos de los Estados Unidos.

CONTAMINACIÓN EN EL CASCO DE LOS BARCOS.

Parecido al problema del agua de lastre, la contaminación de los cascos de los barcos tienen un gran potencial para diseminar especies marinas no nativas a grandes distancias. Conforme los barcos entran a los puertos, los cambios en la salinidad y la temperatura del agua inducen la reproducción de los organismos polizones (Minchin y Gollasch, 2003). Por tanto, los polizones tienen el potencial de reproducirse en algunos o en todos los puertos visitados por su barco hospedero. Las cubiertas ‘antiorganismos’ pintadas en los cascos de los barcos intentan minimizar la presencia de esos organismos que a menudo se deterioran con el tiempo. Además, muchos cascos

de barcos grandes están diseñados con huecos que proporcionan refugio del flujo turbulento del agua a los mejillones, percebes, gusanos poliquetos y crustáceos (Coutts *et al.*, 2003). En 186 embarcaciones inspeccionadas en el Mar del Norte, las especies exóticas constituían el 96% de los organismos en el casco, y 19 especies poseían un alto riesgo de establecimiento (Gollasch, 2002).

MATERIAL DE EMPAQUE DE MADERA.

Las cajas y las plataformas de madera, usadas para enviar productos desde China, fueron la ruta en los 1990s para la invasión en los Estados Unidos de dos plagas altamente dañinas del bosque – el escarabajo asiático de antenas largas *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) y el barrenador esmeralda del fresno *Agrilus planipennis* Fairmaire. El primero está confinado a unas pocas infestaciones y puede ser que sucumba a los esfuerzos de erradicación. Sin embargo, el barrenador esmeralda del fresno (**Figuras 8-2, 8-3**) no fue detectado antes de que ocupara miles de millas cuadradas en Michigan. Aunque su erradicación está intentándose cortando masivamente árboles de fresno (**Figura 8-4**), no es muy probable que tenga éxito. Estas invasiones ilustran que los materiales de empaque de madera no tratada son un alto riesgo para la invasión de plagas de árboles nativos. Se están implementando nuevas medidas que requieren tratamiento con calor o con plaguicidas de los materiales de empaque de madera.



Figura 8-2. Adulto del barrenador esmeralda del fresno (*Agrilus planipennis* Fairmaire), un barrenador originario de China que ha matado más de 6 millones de árboles de fresno en el centro de los Estados Unidos y Canadá. (Fotografía cortesía de Deb McCullough, USDA Forest Service.)



Figura 8-3. Larva del barrenador esmeralda del fresno (*Agrilus planipennis* Fairmaire). (Fotografía cortesía de Deb McCullough, USDA Forest Service.)



Figura 8-4. La erradicación del barrenador esmeralda del fresno (*Agrilus planipennis* Fairmaire) fue intentada en los Estados Unidos, basada en cortar todos los árboles de fresno dentro de media milla de cualquier árbol de fresno infestado que haya sido descubierto en las inspecciones (Fotografía cortesía de Deb McCullough, USDA Forest Service.)

ERRADICACIÓN BASADA EN LA DETECCIÓN TEMPRANA

Cuando la prevención falla, las especies invasoras arriban a nuevas localidades. La inspección de cargamentos en las fronteras internacionales ofrece una oportunidad de interceptar y excluir las plagas que están arribando. Sin embargo, las oportunidades de detección exitosa son bajas porque se inspecciona menos del 5% de los productos.

Cuando la detección falla, los invasores se pueden establecer. Si se encuentran pronto poblaciones incipientes, la erradicación debería intentarse para las especies altamente dañinas, usando métodos químicos o mecánicos. La detección temprana y el control mecánico agresivo erradicaron rápidamente al gusano poliqueto sabélido de Sudáfrica (*Terebrasabella heterouncinata* Fitzhugh & Rouse) en California. Este gusano llegó en orejas de mar importadas para la maricultura (Kuris y Culver, 1999) y fue detectado primero infectando caracoles nativos *Tegula* cerca del flujo de un criadero de orejas de mar. Se logró la erradicación quitando a mano los caracoles *Tegula* a densidades demasiado bajas para sostener la transmisión del sabélido. Se evitó la nueva contaminación filtrando el agua de desecho del criadero y deteniendo las descargas de desecho de conchas en la zona de intermareas. Similarmente, el mejillón de raya negra *Mytilopsis sallei* (Recluz) fue erradicado de Darwin Bay (Territorio del Norte, Australia) tratando la marina infestada con altas concentraciones de blanqueador y de sulfato de cobre (Bax, 1999).

La erradicación, sin embargo, es menos factible conforme el tamaño del sitio infestado aumenta o después de la amplia dispersión de los propágulos del invasor. En ese punto, en lugar de la erradicación, el objetivo del programa de control es posible enfocarlo a disminuir la diseminación del invasor, evitando que áreas adicionales sean infestadas. Los esfuerzos de erradicación deberían abandonarse a favor de la contención o del uso de tácticas de supresión como el control biológico.

INVASORES NO DAÑINOS

La mayoría de las especies invasoras no se convierten en plagas. Si las especies no nativas no son importantes económicamente y no afectan fuertemente a especies o comunidades nativas deberían ser ignoradas, aún cuando algunos conservacionistas las encuentren objetables en principio, como contaminantes biológicos. Sin embargo, no hay recursos disponibles para tratar de controlar todas las especies no nativas. Para algunas especies invasoras, un incremento fuerte de la población inicial puede ser seguido de su declinación a niveles en los que no son plagas (ver p. ej., McKillup *et al.*, 1988). El áfido café de los cítricos *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), por ejemplo, parece haber sido suprimido en Puerto Rico y la Florida a niveles en que no era probable que diseminara el virus de la tristeza (una enfermedad crítica de los cítricos), debido a la existencia de depredadores generalistas de áfidos (Michaud, 1999; Michaud and Browning, 1999). En tales casos, los esfuerzos de control no se necesitan. Las importaciones de enemigos naturales deberían reservarse contra especies que no declinen espontáneamente y que sean amenazas ambientales y económicas cuantificables que justifiquen la iniciación de un programa.

CONTROL DE PLAGAS INVASORAS EN ÁREAS NATURALES

Para los invasores de alto impacto en áreas naturales, las opciones de control incluyen el manejo del habitat, control químico y mecánico, y la introducción de enemigos naturales. Cada método tiene ventajas y desventajas que deberían ser consideradas cuando se escoja el mejor enfoque para problemas particulares. A veces, el enfoque químico o mecánico puede combinarse con programas de control biológico, especialmente contra plantas leñosas de larga vida. Por ejemplo, en los Everglades de la Florida (EU), la tala está siendo usada junto con la aplicación de herbicida en los tocones para aclarar las áreas existentes del árbol invasor *Melaleuca quinquenervia* (Cavier) Blake y para evitar que brote de nuevo (**Figuras 8-5 y 8-6**). Al mismo tiempo, se están liberando insectos exóticos para reducir la producción de semilla, matar plántulas y para suprimir el crecimiento de árboles pequeños y de brotes de los tocones.



Figura 8-5. El corte de palos o de plantas grandes de melaleuca *Melaleuca quinquenervia* (Cavier) Blake, un árbol invasor australiano en los Everglades de la Florida, se hace para acelerar la remoción de las plantas existentes, con la supresión de semillas y nuevas plántulas con agentes de control biológico. (Fotografía cortesía de Ted Center, USDA-ARS.)



Figura 8-6. Los herbicidas también son usados para matar plantas grandes de melaleuca *Melaleuca quinquenervia* (Cavier) Blake, en los Everglades de la Florida y, cuando son rociados en los tocones, para evitar el rebrote. (Fotografía cortesía de Steve Ausmus.)

MANEJO DEL HABITAT

El mal manejo de la tierra o el agua a veces puede causar que proliferen plantas o insectos exóticos. El resolver esos problemas inicia con el mejoramiento de las prácticas básicas de manejo. El sobrepastoreo, por ejemplo, puede ser una ventaja competitiva en especies exóticas no comestibles, causando su incremento. Si ésta es la causa básica de un problema de planta invasora, el alterar su régimen de pastoreo, no el uso del control biológico, debería ser lo que se considere primero. Por ejemplo, utilizar control biológico de los cactus nativos *Opuntia* en la isla caribeña de Nevis en los 1950s (Simmons y Bennett, 1966) fue un error porque los grupos densos de cactus (algunos nativos, otros introducidos) en pastos fueron debidos al sobrepastoreo. El cambio de manejo del ganado, combinado con el uso de algún herbicida, podría haber resuelto el problema.

CONTROLES QUÍMICOS Y MECÁNICOS

CONTRA PLANTAS

Los controles mecánicos y químicos trabajan bien en la supresión temporal, aún a veces en la erradicación, de muchas plantas invasoras, especialmente de las más grandes que están en un área limitada. Los herbicidas, por ejemplo, son usados para aclarar a *Ulex europaeus* L. de los pastizales que están siendo replantados con árboles de koa, para expandir el habitat para las aves hawaianas. El sitio que requería tratamiento era pequeño (unas 800 hectáreas) y el tratamiento tuvo un efecto permanente porque dicha maleza no creció debajo de los árboles de koa (Van Driesche y Van Driesche, 2000).

Los controles químicos y mecánicos pueden ser implementados cuando y donde se necesiten, siendo ideales para el control de malezas en reservas pequeñas, donde plantas de flor u otras especies únicas necesitan ser protegidas rápidamente en un área limitada. Los problemas potenciales en el manejo de áreas tratadas incluyen si la maleza invasora volverá a crecer después del tratamiento y, si así es, qué tan rápido; si las áreas tratadas serán invadidas por nuevas malezas; si emergerá vegetación nativa competitiva, y cómo será afectada esta competencia por otros factores, como la remoción de vertebrados exóticos. En la Isla Santa Cruz, California, balas y trampas fueron usadas para remover ovejas y cerdos, lo que permitió que la vegetación nativa volviera a crecer. Pero en algunas partes de la isla, los bancos de semilla nativa se habían terminado y el nuevo crecimiento fue dominado por una hierba exótica, el hinojo dulce (*Foeniculum vulgare* Miller), la que requirió de tratamiento herbicida junto con la replantación de vegetación nativa. En tales localidades se desarrollaron áreas grandes con hinojo, cubriendo varios miles de acres (TNC, sitio web en el plan de recuperación de la isla).

Si existe una posibilidad para el control químico o mecánico contra una plaga, necesita ser determinado de acuerdo a cada caso, tomando en cuenta las metas del manejo, recursos disponibles y la biología de la planta (ver Cronk y Fuller, 1995 y Myers y Bazely, 2003). Algunos grupos de plantas como los pastos o las plantas con sistema radicular profundo o persistente, o las que son aptas para regenerarse a partir de fragmentos, serán especialmente difíciles de controlar y pueden no ser objetivos adecuados.

CONTRA INSECTOS

Los insectos que infestan grandes áreas naturales rara vez pueden ser erradicados por medios mecánicos o químicos. Sin embargo, a veces es posible la supresión. Se han usado trampas para suprimir las abejas mieleras africanizadas a lo largo de la línea frontal de su invasión a los Estados Unidos desde México, y aspersiones de cebos junto con liberaciones de machos estériles contra la mosca de la fruta del Mediterráneo *Ceratitis capitata* (Wiedemann) en California (Anon, 1988; Carey, 1992). Pequeñas infestaciones de la polilla gitana *Lymantria dispar* (L.) en el oeste de los Estados Unidos han sido erradicadas con tratamiento aéreo de plaguicidas en los bosques infestados, con reguladores del crecimiento de insectos o con *Bacillus thuringiensis*

Berliner (Dreistadt and Dahlsten, 1989). Cebos Amdro® (hidrametilnona) fueron usados exitosamente en las Galápagos para eliminar a la hormiga de fuego pequeña (*Wasmania auropunctata* Roger) de la Isla Marchena (21 hectáreas) (Causton *et al.*, 2005).

CONTRA VERTEBRADOS

Cebos envenenados, trampas, cercas y armas de fuego pueden ser usados para suprimir o erradicar mamíferos u otros vertebrados invasores. Dentro de reservas naturales cercadas, los mamíferos grandes pueden ser erradicados, como por ejemplo, la remoción de cerdos dentro de reservas de aves en los bosques de Hawaii. En islas pequeñas, se han usados venenos para remover gatos, ratas, ratones y conejos. Round Island, en el Océano Índico, fue un bosque tropical exuberante que fue degradado a pendientes áridas con sólo vestigios de vegetación, después de la introducción de cabras y conejos. Se logró restauración parcial con el uso de cebos envenenados contra los conejos (North *et al.*, 1994) y matando cabras con balas. Las palmas y algunos reptiles nativos se están recobrando ahora (Bullock *et al.*, 2002). Los roedores han sido eliminados con cebos envenenados en pequeñas islas oceánicas de Nueva Zelanda (Taylor y Thomas, 1993), California (Jones *et al.*, 2005) y de Colombia Británica, Canadá (Taylor *et al.*, 2000) para proteger aves raras o para permitir su reintroducción. Las técnicas fueron desarrolladas en islas pequeñas pero se han adaptado con éxito en islas cada vez más grandes. La erradicación de vertebrados está siendo cada vez más posible (Veitch y Clout, 2002; Lorvelec y Pascal, 2005).

CONTROL BIOLÓGICO

La supresión de especies invasoras con la importación de enemigos naturales especializados desde sus áreas nativas, es una vieja idea que empezó suprimiendo plagas de cultivos y más tarde se extendió a las plagas en áreas naturales. En 1855, Asa Fitch en los Estados Unidos sugirió importar parasitoides de la mosca europea del trigo *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). En 1863, una cochinilla no nativa, *Dactylopius ceylonicus* [Green], fue transportada dentro de India para suprimir cactus (Goeden, 1978). En 1884, *Cotesia glomerata* (L.) de Europa fue establecida en Norteamérica contra *Pieris rapae* (L.) (Clausen, 1978). En 1888, la mariquita *Rodolia cardinalis* (Mulsant) fue importada de Australia a California, donde eliminó a la escama acojinada algodonosa *Icerya purchasi* Maskell, una plaga primaria de los cítricos. Éstos fueron los antecedentes que demostraron la efectividad del método (DeBach y Rosen, 1991).

Más de 100 especies de insectos invasores y de 40 malezas han sido controladas permanentemente por introducciones de enemigos naturales (Clausen, 1978; Cameron *et al.*, 1989; Greathead y Greathead, 1992; Julien y Griffiths, 1998; Waterhouse, 1998; Waterhouse y Sands, 2001; Mason y Huber, 2002). El control biológico, a través de la introducción de enemigos naturales, es permanente y se disemina por sí solo (Capítulos 11, 12 y 13). Una vez que los agentes se establecen pueden reproducirse y dispersarse en grandes áreas con una mínima asistencia humana, y persisten año tras año sin costo adicional. Esto significa que para las plagas en áreas naturales también se puede usar este

enfoque. En contraste, los controles mecánicos o químicos a menudo son demasiado costosos o contaminantes para usarlos repetidamente. Los riesgos potenciales para las especies nativas, en relación con los enemigos naturales introducidos de plagas invasoras deben predecirse (Capítulos 17 y 18) y juzgarse si es aceptable, antes de liberar enemigos naturales en particular. Si esto se hace y si los proyectos tienen justificaciones ecológicas fuertes, el control biológico clásico es seguro para el medio ambiente.

FACTORES QUE AFECTAN EL CONTROL EN ÁREAS NATURALES

Los principales factores que afectan la elección del método de control de una plaga invasora son el tamaño de la infestación a suprimir, el costo y el acuerdo social sobre el estatus de plaga de esa especie. Los controles mecánicos y químicos son usados comúnmente en pequeñas reservas naturales porque pueden ser implementados rápidamente con buen efecto contra los problemas locales. Los esfuerzos de control están bajo el control inmediato del administrador de la reserva y pueden usar trabajo voluntario, el cual es gratis y ayuda a educar al público sobre los impactos de las especies invasoras. En una reserva pequeña, el control manual simultáneo de varias plantas invasoras importantes sería un ejemplo común de tal enfoque. Los costos de este trabajo pueden ser desde unos pocos cientos de dólares/acre, lo cual es costeable en pequeña escala (10-20 acres) por grupos privados y con apoyo del gobierno, y puede ser implementado en áreas hasta de varios miles de acres. Tales costos usualmente no son sostenibles, sin embargo, si la meta es limpiar cientos de miles o millones de acres infestados. Además, tales enfoques raramente funcionan contra insectos invasores y, si son probados, los insecticidas necesarios posiblemente son contaminantes y dañan a las especies nativas. Unos de los proyectos más grandes de aclareo mecánico/químico, es el de los árboles de melaleuca en los Everglades de la Florida (EU) (ver Capítulo 12), que incluye cortar y aplicar herbicidas. En Sudáfrica, el “Trabajar para el proyecto del agua” está empleando decenas de miles de trabajadores para aclarar pinos y otros árboles invasores para restablecer los flujos de agua. Este proyecto también permite al gobierno ofrecer muchos empleos que son necesarios, lo que ha incrementado su popularidad social.

En contraste, el control biológico puede controlar eficientemente una plaga invasora en un paisaje completo, sin importar su tamaño. En realidad, mientras más grande sea la infestación, más apropiado es el uso de este método. El control biológico tiene altos costos iniciales, requiriendo apoyo financiero a largo plazo para su implementación. Los costos iniciales son dirigidos a la investigación básica para entender la ecología de la plaga en su rango nativo, localizar y estudiar sus enemigos naturales, seleccionar e importar los más probables de ser específicos, medir sus rangos de hospederos y finalmente, para liberarlos y evaluarlos. A menudo, los proyectos pueden tomar décadas y los costos llegar hasta millones de dólares, a menos que la plaga por controlar sea bien conocida y que haya sido controlada previamente en otros países. En tales proyectos repetidos, el control en áreas nuevas será más rápido y más barato, estando limitado principalmente al costo de las pruebas adicionales de rango de hospederos que podrían ser necesarias, al establecimiento de colonias de enemigos naturales con agentes de control conocidos y a su establecimiento en el campo.

Debido a que los agentes de control biológico se dispersarán hasta sus límites ecológicos, no pueden ser confinados a propiedades privadas, basadas en la posesión o el país. Consecuentemente, debe haber un amplio acuerdo en que la especie objetivo es una plaga cuya reducción es deseada en la región ecológica completa (p. ej., en los Estados Unidos, los agentes de control es posible que se dispersen a Canadá o a México). Cualquier conflicto entre grupos sociales o políticos que vean a la plaga objetivo en forma diferente, debe ser resuelto antes de la liberación de agentes de control biológico. Este problema usualmente no existe en los proyectos de control químico o mecánico, los cuales son confinados fácilmente a límites particulares.

CONTROL DE ESPECIES INVASORAS EN CULTIVOS

Los agricultores y forestales también tienen problemas con las especies invasoras. Pero, sin importar los problemas discutidos antes en este capítulo, dichos problemas no necesariamente requieren ser resueltos en toda la región sino sólo en los campos de propiedad del productor. Las plagas de cultivos pueden tener poco o ningún impacto en áreas naturales, debido a la diferencia en la vegetación aunque esto no siempre es cierto, como en el caso de la escama acanalada algodonosa, una plaga de los cítricos que ataca plantas nativas en el Parque Nacional de los Galápagos (Causton, 2004). Ya que las plagas de cultivos cuestan dinero a los productores por la producción perdida, ellos desean gastar dinero para su control. Esto significa que, además de los programas de gobierno sobre control biológico clásico, hay otras opciones en los cultivos que no son posibles en áreas naturales. Estas opciones incluyen el uso de métodos no cubiertos en este libro (plaguicidas, control cultural, uso de plantas resistentes, trampas o la manipulación de la conducta de los insectos) así como formas adicionales del control biológico como (1) manipulaciones para preservar o reforzar los enemigos naturales, (2) aplicaciones de patógenos como plaguicidas o (3) liberación de parasitoides o depredadores que han sido criados por negocios comerciales y vendidos al productor. Estos enfoques pueden ser usados contra plagas nativas y exóticas en campos de cultivo y plantaciones de árboles, como se discute más adelante en este libro.

