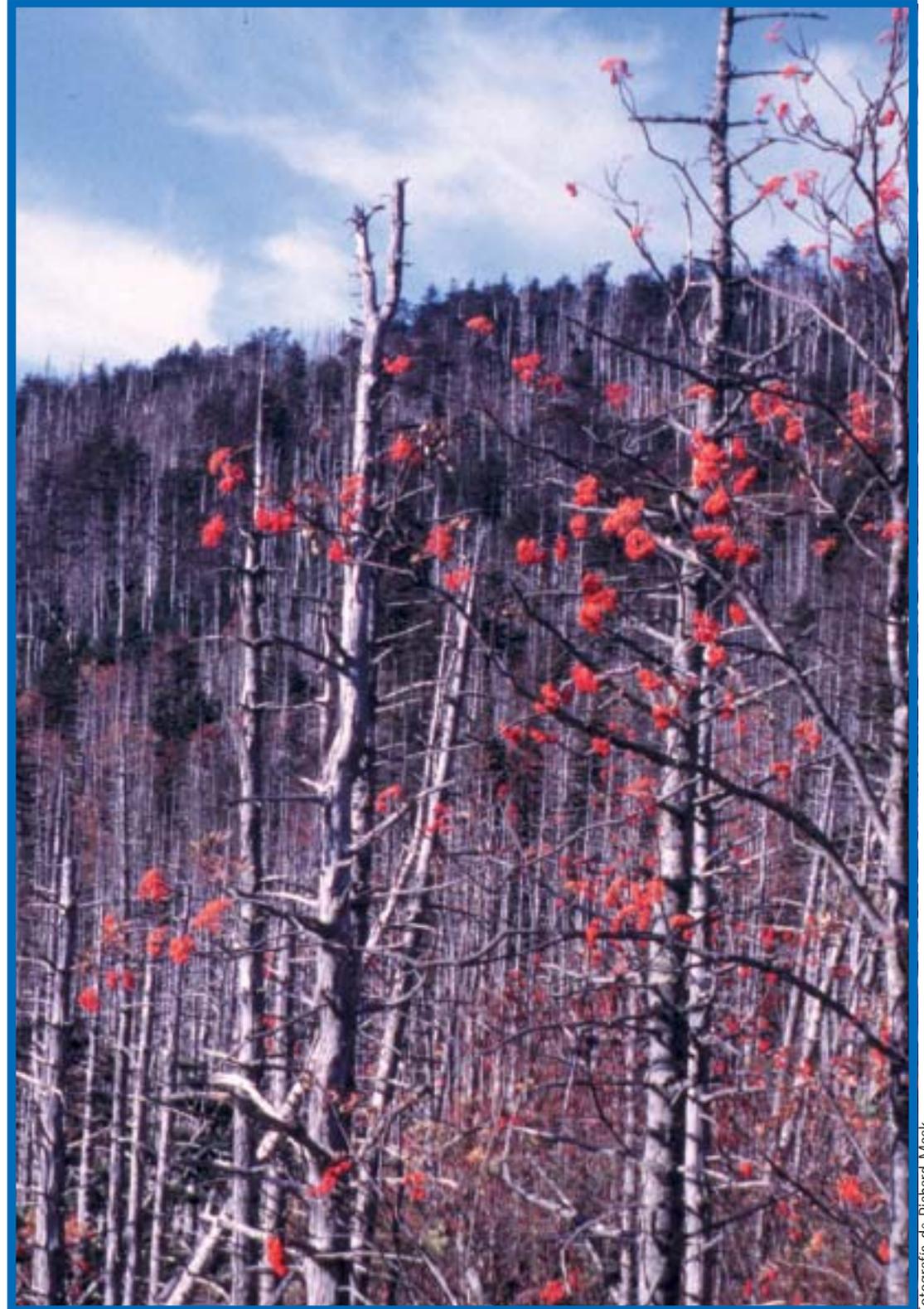


Tópicos en Ecología

Traducción al español de Issues in Ecology
Publicado por la Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecología)

Número 5, Primavera 2000

Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología, Consecuencias Globales y Control



Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología, Consecuencias globales y Control

por Richard N. Mack, Chair, Daniel Simberloff, W. Mark Lonsdale, Harry Evans, Michael Clout, y Fakhri Bazzaz

Los seres humanos han causado una redistribución sin precedentes de los seres vivos de la Tierra. Tanto accidental como deliberadamente, a través de la migración, el transporte y el comercio, los seres humanos continúan dispersando un número siempre creciente de especies a través de barreras antiguamente insuperables, tales como océanos, cadenas montañosas, ríos y zonas climáticamente hostiles.

Entre las consecuencias de mayor alcance de este reordenamiento se encuentra el incremento de los invasores biológicos, que son especies que se establecen en nuevas áreas en las cuales proliferan, se distribuyen y persisten en detrimento de especies y ecosistemas nativos. En un mundo sin límites, son pocas, o ninguna, las zonas que permanecen a salvo de estas invasiones y ciertos lugares, tales como las islas oceánicas, están sujetos a altas tasas de invasión.

A pesar de la llegada permanente de nuevas especies de plantas, animales y microorganismos, la suerte de los inmigrantes es decididamente muy variada. Pocas especies sobreviven y solo una pequeña fracción se naturaliza. De las que se naturalizan, la mayoría no causa mayor alteración en su nueva área de distribución. Sin embargo, algunas especies naturalizadas se vuelven invasoras y pueden causar un severo daño ambiental. Algunas de las razones potenciales por las cuales ciertas especies inmigrantes se pueden tornar invasoras son: algunas especies escapan de controles naturales como predadores o parásitos, otras encuentran nichos vacantes, otras son favorecidas por los disturbios causados por los seres humanos, que alteran las comunidades nativas. Cualquiera que sea la causa los invasores exitosos pueden, en muchos casos, causar un enorme daño ecológico.

De la literatura científica analizada por los autores de este informe (un Panel de científicos), queda claro que:

- Los animales invasores pueden causar la extinción de especies vulnerables a través de predación, herbivoría, competencia y destrucción del hábitat.
- Las plantas invasoras pueden alterar completamente los regímenes de fuego, el ciclo de nutrientes, la hidrología y los balances de energía de un ecosistema nativo, también pueden disminuir sensiblemente la abundancia o sobrevivencia de especies nativas, e incluso pueden detener la navegación o favorecer inundaciones.
- Muchos animales y plantas exóticas pueden hibridarse con especies nativas.
- En agricultura, las principales plagas de cultivos en zonas templadas son especies exóticas. Los gastos combinados de control de plagas y pérdidas de cosechas constituyen un "impuesto extra" sobre la producción de alimentos, fibras y forraje.
- El costo global de las enfermedades en plantas y animales causadas por organismos transportados a nuevas zonas en las que se encuentran con nuevos huéspedes susceptibles, es actualmente incalculable.

El identificar a los futuros invasores y tomar medidas efectivas para prevenir su establecimiento y dispersión es uno de los mayores desafíos para la ecología, la agricultura, la acuicultura, la horticultura, el comercio de mascotas, la conservación y el comercio internacional. El Panel encuentra que:

- Es muy difícil identificar los atributos generales de futuros invasores.
- Dadas las enormes diferencias en el comercio entre las distintas regiones y por ende la tasa de arribo de potenciales invasores, parece ser aún más difícil predecir qué especies locales serán susceptibles a futuras invasiones.
- Es rara la erradicación de un invasor ya establecido y los esfuerzos en el control varían enormemente en su eficacia. El éxito del control depende más del compromiso y del esfuerzo continuo que de las herramientas en sí mismas (trampas, insecticidas, liberación agentes de control biológico, etc.).
- El control de invasiones biológicas es más efectivo cuando emplea tácticas a largo plazo para todo un ecosistema, que cuando se utiliza una estrategia enfocada en atacar invasores individuales.
- La prevención de invasiones es mucho menos costosa que los controles posteriores a la entrada.

Un primer paso efectivo sería cambiar las leyes de cuarentena nacionales e internacionales adoptando un criterio de "culpable hasta se pruebe su inocencia", en lugar de la estrategia actual de negar la entrada sólo a aquellas especies que han probado ser nocivas o perjudiciales. Las consecuencias globales de fallar en el manejo de las invasiones pueden ser severas, incluyendo pérdidas extensivas en ciertas regiones de recursos agrícolas, forestales y pesqueros y la alteración de los procesos ecológicos que proveen los recursos naturales de los cuales los emprendimientos humanos dependen. Dada su escala actual, las invasiones biológicas también han tomado su lugar como unos de los mayores factores de cambio global, junto a los cambios atmosféricos y oceánicos producidos por los humanos. Si las invasiones biológicas no son tenidas en cuenta, influenciarán a los otros factores del cambio global en formas profundas pero aún impredecibles.

Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología, Consecuencias globales y Control

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas pueden ocurrir cuando los organismos son transportados a áreas nuevas y a menudo distantes, donde sus descendientes proliferan, dispersan y persisten. En un sentido estricto, las invasiones no son un fenómeno nuevo ni provocado exclusivamente por los humanos. Sin embargo, la magnitud geográfica, la frecuencia y el número de especies involucradas han crecido enormemente como consecuencia directa de la expansión del transporte y el comercio en los últimos 500 años y en particular en los últimos 200 años. Pocos hábitats en la Tierra permanecen libres de especies introducidas por los humanos y muchos menos pueden considerarse inmunes a esta dispersión. Las especies involucradas presentan tal mezcla de categorías taxonómicas y orígenes geográficos que desafían cualquier clasificación existente.

Las consecuencias adversas de las invasiones son diversas y están interconectadas. Los invasores pueden alterar características ecológicas fundamentales, tales como las especies dominantes en una comunidad, las propiedades físicas del ecosistema, el ciclo de nutrientes y la productividad vegetal.

Los efectos combinados de las invasiones causadas por los seres humanos amenazan los esfuerzos de conservar la biodiversidad, mantener la productividad de sistemas agrícolas, sustentar el funcionamiento de los ecosistemas naturales y también proteger la salud humana. A continuación detallamos la epidemiología de las invasiones, las hipótesis sobre las causas de las invasiones, el costo ambiental y económico y las herramientas y estrategias para reducir este costo.

LA EPIDEMIOLOGÍA DE LAS INVASIONES

Las invasiones biológicas constituyen sólo uno de los resultados de hecho el menos probable de los resultados- de un proceso con muchos estados, que comienza cuando los organismos son transportados de su área de origen a nuevas regiones. Primero, muchos, si no la mayoría, mueren en la ruta hacia la nueva localidad. Si logran llegar al nuevo sitio es probable que los inmigrantes sean destruidos rápidamente por una multitud de agentes físicos y biológicos. Es prácticamente imposible obtener datos cuantitativos del número de especies que son realmente dispersadas desde su área original, la cantidad de arribos y la cantidad que posteriormente muere. Sin embargo,

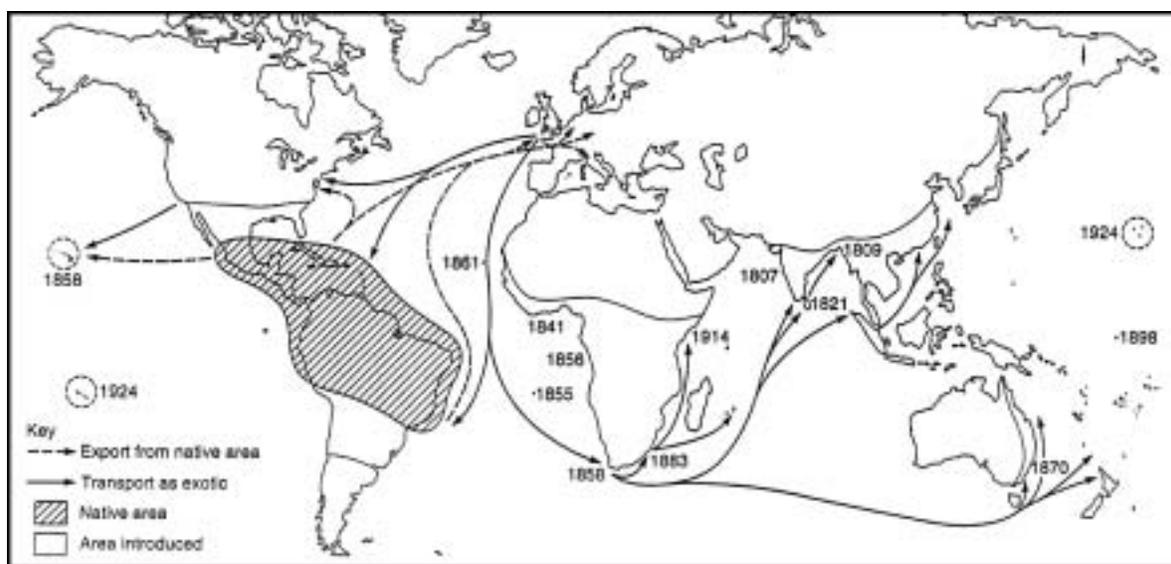


Figura 1 - Algunos invasores, tales como el arbusto *Lantana camara*, han sido introducidos repetidamente en nuevas áreas como resultado de la colonización global y el comercio. Como la disposición de años de introducciones lo indican, *Lantana* fue introducida durante los siglos XIX y XX en muchas y nuevas áreas tropicales y subtropicales. En cada nueva área se ha tornado altamente destructiva, tanto en comunidades agrícolas como naturales (Cronk and Fuller 1995).

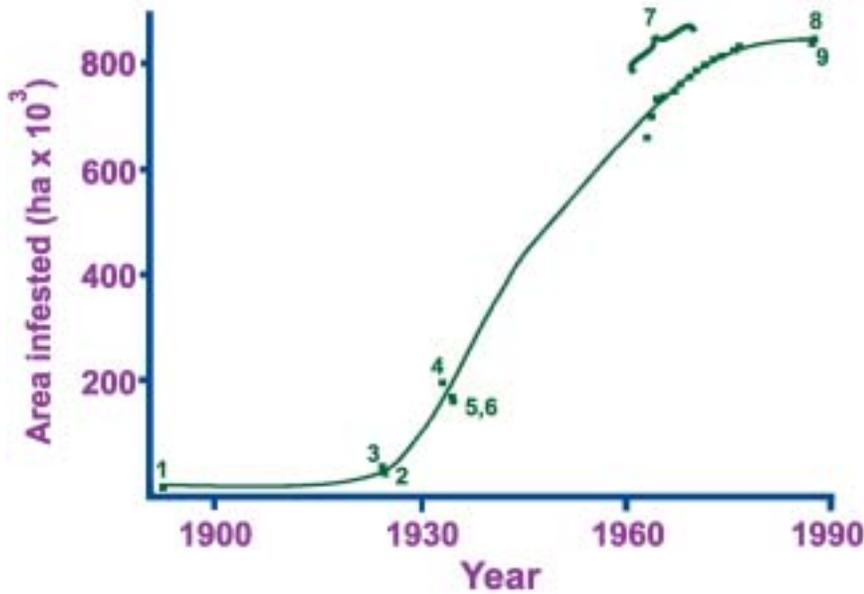


Figura 2 - Muchas especies invasoras ocupan nuevas áreas de manera acelerada, exhibiendo períodos de proliferación y dispersión con marcadas fases de retardo temporal y de crecimiento logarítmico. Esta lenta tasa inicial de ocupación puede ser indistinguible de la tasa de dispersión mostrada por especies no invasoras (pero exóticas) en su nueva área de dispersión, dificultando así la identificación temprana de futuros invasores. La invasión de plantas terrestres comúnmente muestra este patrón. Por ejemplo, la dispersión de la tuna o cacto *Opuntia aurantiaca* en Sudáfrica (Moran y Zimmerman 1991). En contraste, los invasores en otros grupos taxonómicos pueden no mostrar fase de retardo temporal y desde su arribo ocupar rápidamente la nueva área.

dado el número de especies observadas en sólo una oportunidad muy lejos de su área de origen, la extinción local de inmigrantes inmediatamente después de su arribo debe ser enorme.

A pesar de estas amplias extinciones, ya sea durante el tránsito o inmediatamente luego de su arribo, ocasionalmente los inmigrantes sobreviven y se reproducen. aún en estos casos, sus descendientes quizás sobrevivan por sólo unas pocas generaciones antes de extinguirse localmente. Sin embargo, aún así una pequeña fracción de estas especies inmigrantes llega a persistir y se naturaliza. En este punto, su persistencia no depende ya de la recurrencia en las inmigraciones desde su hábitat nativo; aunque, de hecho el mayor número de individuos y la alta frecuencia de nuevos arribos eleva la probabilidad de que una especie se establezca permanentemente.

Entre las especies naturalizadas que persisten tras este extremadamente severo proceso reductor, unas pocas se volverán invasoras. A menudo se establecen analogías entre las epidemias causadas por parásitos y los invasores bióticos, pues muchos factores importantes de la epidemiología de las enfermedades tiene paralelos directos en el estudio de invasiones. A continuación exploramos la epidemiología y los mecanismos subyacentes que permiten a ciertas especies volverse invasoras.

Los Seres Humanos Como Agentes de Dispersión de Potenciales Invasores

Por milenios los seres humanos han servido de agentes de dispersión, tanto accidental como deliberadamente. El incremento mundial en la inmigración de plantas, animales y microorganismos, a grandes rasgos sigue los pasos del incremento en el transporte y el comercio. Desde comienzos del año 1500 los europeos transportaron especies del viejo mundo a sus nuevos asentamientos en el hemisferio Occidental, así como a otras

partes del mundo. Los manifiestos del segundo y subsiguientes viajes de Cristóbal Colón, por ejemplo, mencionan el transporte deliberado de especies consideradas cultivos y ganado potenciales. El comercio global ha crecido astronómicamente desde entonces, proveyendo una oportunidad para el correspondiente crecimiento de las invasiones biológicas. En consecuencia, las invasiones biológicas pueden ser vistas como un evento predominantemente post-colombino. Puesto en perspectiva, el movimiento de organismos provocado por los humanos, accidental o deliberadamente en los últimos 200 a 500 años, indudablemente empequeñece en frecuencia e impacto al movimiento de organismos por fuerzas naturales en cualquier período de 500 años de la historia de la Tierra.

La proporción de los distintos tipos de organismos que han invadido como resultado de movimientos accidentales versus deliberados, claramente varía según el grupo taxonómico.

- Muy pocos o ningún microorganismo invasor ha sido introducido deliberadamente. Las introducciones deliberadas de microorganismos comúnmente involucran levaduras para fermentación o mutualismos, tales como los hongos micorrízicos (micorrizas), que son asociaciones simbióticas entre ciertos hongos y las raíces de la mayoría de las plantas.
- Entre los insectos, algunas introducciones deliberadas han tenido consecuencias adversas, incluyendo a los abejorros en Nueva Zelanda. Sin embargo la mayoría de los insectos invasores han sido probablemente introducidos accidentalmente.
- La introducción de invertebrados marinos probablemente se asemeja a la de los insectos. Unas pocas especies han sido introducidas deliberadamente, tales como la ostra del Pacífico importada desde Japón al estado de Washington en Estados Unidos, pero un número creciente de invasores tales como el



Figura 3 - Las especies invasoras a menudo alteran drásticamente el ecosistema que ocupan modificando la composición de especies nativas y también la frecuencia de fuego, la química del suelo y la hidrología. Los Pantanos de Florida han sido muy alterados por el efecto combinado de muchas especies de plantas invasoras, incluyendo al árbol de Pimienta Brasileira o Aroeira Vermelha (*Schinus terebinthifolius*). A) La comunidad natural potencial de este hábitat está compuesta por grupos de bosquesillos en una matriz de pantanos. B) La invasión de Pimienta Brasileira ha transformado radicalmente estos ecosistemas en virtuales monocultivos del árbol invasor con efectos devastadores en la biota nativa.

mejillón Cebra, han arribado como contaminantes accidentales en el agua de lastre de los barcos.

- En contraste, la mayoría de los invasores vertebrados, principalmente peces, mamíferos y aves, han sido introducidos deliberadamente. Sin embargo, algunos de los peores invasores vertebrados, se han dispersado accidentalmente, por ejemplo, las ratas, las culebras arbóreas pardas y las lampreas marinas.
- Algunas plantas invasoras han sido introducidas accidentalmente como contaminantes entre semillas agrícolas y otras cargas. Muchas, si no la mayoría, de las plantas invasoras han sido introducidas deliberadamente incluyendo algunas de las peores plagas, como el Camalote (o Lirio de Agua), el árbol Melaleuca (o Cayeputi) y el Tamarisco.

La preeminencia de especies deliberadamente introducidas que luego se vuelven invasores enfatiza que no todas las plagas arriban subrepticamente, muchas de ellas son producto de planificaciones humanas deliberadas y desastrosamente erróneas (Fig. 1).

La Transformación de Inmigrantes a Invasores

La progresión de inmigrante a invasor a menudo conlleva un período o fase de retardo temporal, seguido de una fase de rápido crecimiento exponencial que continúa hasta que la especie alcanza los límites de su nueva área y su crecimiento poblacional disminuye (Fig. 2); aunque, por supuesto, este escenario simplificado tiene muchas variantes. Primero, algunas invasiones

tales como las abejas africanizadas en América y el mejillón Cebra en la zona de los grandes lagos en EE.UU., puede pasar por una fase de retardo temporal muy breve, o ni siquiera eso. Segundo, muchas especies inmigrantes no son abundantes ni adquieren una amplia distribución por décadas y durante este tiempo permanecen inconspicuas. Por ejemplo, los árboles de Pimienta Brasileira (Aroeira Vermelha o Chichita) fueron introducidos en Florida, EE.UU. en el S. XIX pero no fueron notables sino hasta comienzos de la década del '60. Actualmente están establecidos en más de 280.000 hectáreas en el sur de Florida, a menudo formando bosques densos que excluyen cualquier otra vegetación (Fig. 3).

Durante la fase de retardo temporal puede ser difícil distinguir a las poblaciones condenadas de los futuros invasores. La mayoría de las extinciones de las poblaciones inmigrantes ocurren durante la fase de retardo temporal y sin embargo la dinámica de una población condenada es a menudo indistinguible de la dinámica de futuros invasores, los cuales van creciendo lenta pero inexorablemente. Esta similitud en área y tamaño frustra los intentos de predecir los futuros invasores mientras aún son pocos y presumiblemente controlables.

Cómo es que los invasores sobreviven a la fase de retardo temporal y por qué ocurre esto, es aún una conjetura. Es probable que cualquier retardo en el crecimiento de la población y en el área de expansión del potencial invasor sea el resultado de muchas fuerzas y factores que operan solos o en combinación:

- El número y la distribución de la contaminación inicial de los inmigrantes: Comúnmente las invasiones son más

rápidas si las contaminaciones son muchas, pequeñas y dispersas comparadas con una única y gran contaminación.

- Los límites de detección del crecimiento de una población: Se podría considerar erróneamente que una especie se encuentra en un período de retardo, simplemente debido a la incapacidad de detectar poblaciones aún pequeñas y aisladas pero sin embargo crecientes en una nueva área.
- La selección natural que produce nuevos tipos genéticos adaptados a la nueva área: La fase de retardo reflejaría el tiempo necesario para el surgimiento de nuevos genotipos adaptados, sin embargo ésta explicación ha sido difícil probar.
- Alteración del hábitat: El fenómeno de retardo temporal puede simplemente reflejar el tiempo entre que los inmigrantes entran y la posterior alteración del hábitat (por ejemplo, el régimen de fuego, el ganado o la hidrología) que les permite proliferar.
- El azar de las fuerzas ambientales: El orden, el momento y la intensidad de los peligros ambientales son críticos para cualquier población, pero las consecuencias de períodos de alta mortalidad son más severas en poblaciones pequeñas. Por lo tanto, una pequeña población de inmigrantes puede subsistir o bien perecer como consecuencia de una combinación azarosa de fuerzas naturales a través del tiempo y las generaciones: si los primeros años en la nueva área son benignos o severos, o si las fuerzas naturales eliminan a pocos individuos reproductivos y sus descendientes, o a todos.

Claramente, algunas poblaciones de inmigrantes sobreviven pese a las probabilidades en contra y crecen hasta alcanzar un umbral de tamaño tal que la extinción por eventos azarosos (demográficos o ambientales) es poco probable. Una de las grandes ironías sobre las invasiones biológicas es que los humanos a través de la agricultura y la ganadería a menudo incrementan las probabilidades de que los inmigrantes alcancen el umbral de tamaño adecuado y puedan establecerse. Las prácticas agrícolas o ganaderas incluyen actividades que protegen poblaciones pequeñas y vulnerables de peligros ambientales tales como sequías, inundaciones, heladas, parásitos, herbívoros o competidores. Gracias a la gran ayuda humana, tales cultivos, bandadas o manadas pueden crecer hasta alcanzar un tamaño tal que la población no se encuentre en peligro de extinción. De hecho la población puede no necesitar ya más de los cuidados humanos y así tender a persistir por sí misma. En este punto la especie se ha naturalizado (asilvestrado) y eventualmente puede volverse invasora. De este modo, los humanos facilitan el incremento en el alcance y en la frecuencia de las invasiones sirviendo tanto como efectivos agentes de dispersión como de protectores de las poblaciones inmigrantes. Los humanos aumentan así las probabilidades de que una especie exótica supere las adversidades que normalmente eliminan a la mayoría de los inmigrantes en una nueva área.

En cierto momento, ya sea luego de años o décadas, las poblaciones de futuros invasores pueden pasar a una fase de

crecimiento acelerado tanto en número como en superficie ocupada (Fig. 2). Esta erupción a menudo ocurre rápidamente y hay muchas descripciones de invasiones que han pasado por esta fase, a pesar de los esfuerzos para controlarlas. Eventualmente, la especie invasora alcanza los límites ambientales y geográficos en la nueva área y la población persiste pero no se expande.

IDENTIFICACIÓN DE FUTUROS INVASORES Y DE COMUNIDADES VULNERABLES

El identificar a los futuros invasores y predecir los probables sitios de invasión tiene un inmenso interés científico y práctico. Científicamente, aprender a identificar invasores tempranamente daría mucha información sobre cómo evolucionaron las características particulares de los organismos y de qué forma se relacionan las comunidades bióticas entre sí. Desde el punto de vista práctico, podría revelar cuáles son los recursos más efectivos para prevenir invasiones futuras.

Las hipótesis o generalizaciones actuales sobre los caracteres que distinguen tanto a invasores exitosos como a comunidades vulnerables, están todas relacionadas con características o circunstancias extraordinarias de especies o comunidades. Es difícil evaluar estas hipótesis dado que se basan sólo en observaciones, correlaciones y clasificaciones a posteriori, más que en experimentos. Es probable que ninguna invasión (a excepción de algunas invasiones de parásitos humanos) haya sido seguida de cerca y cuantificada desde su comienzo. Además, las predicciones de invasiones futuras y comunidades vulnerables están intrínsecamente relacionadas. ¿Cómo podemos saber si una comunidad sufre de una invasión porque es intrínsecamente vulnerable o porque el invasor posee algún atributo extraordinario? Las comunidades que actualmente tienen pocos invasores, ¿Tienen alguna resistencia intrínseca o hasta el momento han sido alcanzadas sólo por invasores débiles?.

Atributos de los Invasores

Los biólogos han tratado por mucho tiempo de explicar por qué tan pocas especies naturalizadas se vuelven invasores. Curiosamente, algunas especies han invadido áreas muy distantes del planeta (como el camalote, los estorninos europeos, las ratas, el arbusto Lantana y las avenas silvestres) lo cual es equivalente a ganar la lotería muchas veces seguidas. Tales "ganadores recurrentes" han generado una pregunta obvia: ¿Comparten las especies invasoras exitosas atributos que aumentan significativamente sus chances de proliferar en una nueva área?

Se han hecho muchos intentos para confeccionar una lista de caracteres comunes, compartidos por los invasores exitosos. El objetivo detrás de estos esfuerzos es claro: si se pudiera detectar un número amplio de características de por ejemplo, insectos, plantas vasculares acuáticas o pájaros invasores, compartidos como grupo, entonces quizá se pueda predecir la identidad de futuros invasores en estos grupos taxonómicos.

Si bien algunos invasores parecen tener caracteres en común, hasta ahora tales listas sólo comprenden un pequeño grupo de especies y las excepciones abundan.

Las especies emparentadas con los invasores, particularmente aquellas en el mismo género, parecen obvios candidatos a ser invasores potenciales. Algunos de las peores plantas invasores mundiales pertenecen a relativamente pocas familias y géneros, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Acacia*, *Mimosa* y *Cyperus*. Tanto la familia del estornino como la del cuervo tiene varias especies invasoras, o al menos ampliamente naturalizadas. Pero la mayoría de los invasores biológicos tienen pocos o ningún pariente agresivo (el camalote, por ejemplo, es la única especie de *Eichhornia* que es invasora). Este hecho puede simplemente reflejar la falta de oportunidades para la inmigración más que la falta de capacidad para invadir. Sin embargo, las evidencias circunstanciales sugieren otra cosa: el agrupar por relación taxonómica ha probado ser un método impreciso para predecir el potencial invasivo de una especie.

La Vulnerabilidad de una Comunidad a la Invasión

Como fue mencionado antes, con los intentos para predecir la relativa vulnerabilidad de una comunidad a las invasiones se han logrado algunas generalizaciones, que incluyen las siguientes.

- **Nichos vacantes:** Algunas comunidades, tales como las islas oceánicas tropicales parecen ser particularmente vulnerables a las invasiones, aunque la evidencia puede ser

errónea. La hipótesis de los nichos vacantes sugiere que las comunidades isleñas y algunas otras están relativamente empobrecidas en el número de especies nativas y por lo tanto no pueden ofrecer “resistencia biológica” a los recién llegados. Como contrapartida, al llegar a una isla muchos invasores potenciales podrían no encontrar en los organismos nativos las asociaciones biológicas necesarias, como polinizadores, simbiosis u otras. Este sería un factor que proveería a una isla de un tipo distinto de resistencia a la invasión. Hasta ahora, sin embargo, ha sido difícil demostrar la existencia de nichos vacantes.

- **Escape de controles biológicos:** Muchos inmigrantes llegan a las nuevas localidades como semillas, esporas, huevos o en algún otro estado de resistencia, pero sin sus “socios biológicos” nativos que normalmente incluyen a sus competidores, predadores, herbívoros o parásitos naturales. Este “gran escape” podría representar una poderosa ventaja para las especies inmigrantes dado que, en ausencia de controles biológicos, su crecimiento, longevidad y éxito reproductivo podrían alcanzar valores mucho mayores. De acuerdo con esta hipótesis, un invasor no persiste y prolifera porque tenga un conjunto de características extraordinarias sino porque fortuitamente llega a una nueva área sin sus “socios biológicos” que pueden enfermar o debilitar su población. Por ejemplo, la comadreja Cola de Cepillo australiana se ha vuelto un invasor en Nueva Zelanda desde su introducción hace 150 años. En Nueva Zelanda tiene



Fotografía de Richard Mack

Figura 4 - Muchos pastos invasores han expandido sus áreas de distribución en distintas partes del mundo a expensas de pastizales y bosques nativos, generalmente facilitados por la remoción de vegetación, fuegos recurrentes y el pastoreo de ganado, inducidos por los humanos. En la isla de Hawai, el pasto *Pennisetum setaceum*, originario del norte de África, ha reemplazado los bosques nativos de *Metrosideros polymorpha* (note atrás los árboles remanentes). El pasto rebrota rápidamente luego de que su hojarasca se ha quemado y las plantas nativas, que son mucho menos tolerantes, eventualmente son eliminadas de estos sitios.

menos competidores por alimentos y refugio, ningún microparásito nativo y solo 14 especies de macroparásitos, comparado con los 76 que tiene en Australia. Las densidades poblacionales en los bosques de Nueva Zelanda son 10 veces más grandes que en Australia. En todo un continente quizás sería inevitable que un inmigrante encuentre nuevos enemigos, especialmente si al expandirse entrara en contacto con un grupo más amplio de especies nativas. La idea del escape a controles biológicos es la más directa para explicar el éxito de un invasor, además genera la motivación para buscar agentes de control biológico entre sus enemigos en su área de distribución original.

- **Riqueza de la comunidad biótica:** Charles Elton propuso en 1958 que la resistencia de una comunidad a las invasiones crece en proporción al número de especies presentes en la comunidad (o riqueza de especies). Para Elton esto deriva de la hipótesis que propone que las comunidades son más "estables" si son ricas en especies. Esta idea es una variante de la hipótesis de nichos vacantes. En otras palabras, si una comunidad tiene muchas especies es probable que los nichos vacantes, si los hay, puedan ser defendidos exitosamente de un inmigrante. En comunidades terrestres, sin embargo, la resistencia a las invasiones de plantas se correlaciona más con la arquitectura de la comunidad vegetal (específicamente, del mantenimiento de un dosel de muchas capas) más que con el número de especies de la comunidad. Por ejemplo, muchas comunidades forestales han permanecido inmunes a las plantas invasoras mientras el dosel se mantuvo intacto. Sin embargo, una vez más, las excepciones abundan.
- **Disturbios antes o durante la invasión:** Los humanos, o las plantas y animales que los humanos dispersan o domesticar, pueden favorecer las invasiones causando disturbios súbitos y radicales en el ambiente. Si las especies nativas no se pueden aclimatar a estos disturbios o evolucionar, la posterior llegada de inmigrantes pre-adaptados puede conducir rápidamente a invasiones. En ambientes terrestres, tales disturbios pueden ser causados por fuego, inundaciones, prácticas agrícolas o herbivoría por ganado; en ambientes acuáticos, por drenajes de pantanos o alteraciones en la salinidad o el nivel de nutrientes de ríos y lagos. Los disturbios antrópicos (causados por el hombre) o la intensificación de los disturbios naturales como el fuego, han tenido un rol significativo en algunas de las más grandes invasiones biológicas, tales como las invasiones en las vastas praderas de zonas templadas en Australia, América del Norte y del Sur. Alternativamente, los disturbios naturales pueden restringir las naturalizaciones, por ejemplo especies exóticas que están limitadas por áreas con tendencia a incendios.

La dificultad de predecir la vulnerabilidad a las invasiones se incrementa en gran medida por el sesgo de las inmigraciones, o sea, es casi imposible poner a prueba los méritos relativos de cada hipótesis debido a factores que confunden, tales como las

enormes diferencias entre las comunidades respecto de la oportunidad que tienen de recibir inmigrantes. La probabilidad de que una comunidad reciba inmigrantes está muy influenciada por su proximidad a un puerto marino u otra fuente mayor de entrada y también por la frecuencia, velocidad y modo de dispersión de los inmigrantes mismos. Por ejemplo, por más de 300 años el comercio siempre creciente ha repartido accidental y deliberadamente especies exóticas en las costas de Sudáfrica y del Noreste de EE.UU. No es sorprendente que en estas zonas sean muchas las especies naturalizadas. En contraste, algunas zonas continentales interiores, tales como el Tibet, tienen un número minúsculo de especies naturalizadas y pocas, o ninguna, especies invasoras. En tales regiones, las comunidades de plantas y animales nativos pueden presentar fuertes barreras a la naturalización y la invasión, pero el aislamiento en sí mismo no puede explicar la falta de invasores.

LAS INVASIONES BIOLÓGICAS COMO FACTORES DE CAMBIO GLOBAL

Las invasiones biológicas producidas por humanos ya han causado una amplia alteración de la biota terrestre, cambiando los roles de las especies nativas en la comunidad, alterando procesos evolutivos y produciendo cambios radicales en la abundancia de especies, incluyendo la extinción de algunas. Estas alteraciones constituyen una de las grandes amenazas a la biodiversidad global, sólo precedida en importancia por la destrucción de hábitats.

Los invasores biológicos a menudo destruyen hábitats, por ejemplo alterando las tasas de sedimentación en estuarios y a lo largo de las costas. En el pasado, la escala de estas pérdidas era local, o a lo sumo regional. Hoy en día, sin embargo, como las invasiones ocurren a una escala y velocidad sin precedentes, los invasores en conjunto están alterando procesos ecológicos globales. Aún más, el creciente costo económico causado por las invasiones no está restringido a límites geográficos o políticos. Los invasores son hoy, bajo cualquier punto de vista, uno de los principales factores de cambio global. A continuación presentamos brevemente el rango de los efectos que los invasores biológicos causan a la biodiversidad y a los procesos ecológicos.

Efectos en las Poblaciones

Las invasiones de organismos que causan enfermedades pueden impactar severamente a las especies nativas. Por ejemplo, en el pasado el nogal norteamericano dominó muchos bosques en el Este de EE.UU., especialmente en los faldeos de los montes Apalaches, hasta que la roya asiática (un tipo de hongo) llegó a comienzos del S. XX a la ciudad de Nueva York en un lote de un vivero. En solo unas pocas décadas la roya se dispersó en todo el tercio Este de EE.UU. eliminando prácticamente a todos los nogales norteamericanos en su área original. Otro ejemplo es el caso del mosquito portador del parásito de la malaria de las aves, que fue introducido inadvertidamente en las islas hawaianas en 1826. El propio parásito llegó poco después



Fotografía de Sally Hacker

Figura 5 - Los animales y las plantas invasoras pueden alterar radicalmente tanto a la comunidad como a su ambiente físico. El caracol marino europeo *Littorina littorea* fue introducido aparentemente cerca de Picou, Nova Scotia en la década de 1840. Desde entonces, a lo largo de New England y la costa atlántica de Canadá, ha incrementado la extensión de la costa rocosa a expensas de las áreas originalmente dominadas por pastos y marismas, pues se alimenta (y elimina) las plantas marinas que inducen la sedimentación y la acumulación de barro a lo largo de la costa protegida de las olas.

junto con la abundante cantidad de aves asiáticas que actualmente dominan las partes bajas de las islas. Gracias a la malaria, las aves invasoras asiáticas, que son relativamente resistentes a ella, han excluido de las partes bajas de las islas a las aves nativas de Hawai que son muy susceptibles al parásito.

La predación y la herbivoría por parte de los invasores también pueden devastar a las especies nativas. Por ejemplo, la perca depredadora del Nilo, que fue introducida al Lago Victoria en África, ya ha eliminado o amenaza seriamente a más de 200 de las 300 ó 500 especies de Cichlidos, unos pequeños peces nativos. Otro caso son los gatos domésticos y asilvestrados, que han sido llevados a cada lugar del planeta y se han vuelto terribles depredadores de mamíferos pequeños y de aves, particularmente de las que anidan en el suelo o no vuelan. En muchas comunidades oceánicas, los gatos asilvestrados han devastado las poblaciones reproductivas de aves marinas y aves endémicas terrestres. En Nueva Zelanda los gatos han significado la extinción de al menos seis especies de aves endémicas, así como 70 poblaciones de aves isleñas. En Australia la predación por gatos tiene un gran costo para las poblaciones de pequeños mamíferos nativos, de hecho, los gatos en el S. XIX estuvieron muy relacionados con la extinción de al menos seis especies de marsupiales parecidos a roedores. Las cabras introducidas en la isla Santa Helena en 1513 extinguieron cerca de 50 especies de plantas endémicas (aunque solo siete fueron descritas

científicamente antes de su extinción) y aún hoy representan un grave perjuicio. La invasión de un insecto tachuela sudamericano ha amenazado recientemente la sobrevivencia de plantas endémicas, incluyendo el ahora raro árbol nacional de Santa Helena, *Commidendrum robustum*. Dos años después de que la invasión de insectos tachuela empezara, en 1993, al menos el 25% de los 2000 árboles remanentes habían muerto.

Las especies exóticas pueden también competir con las nativas por los recursos. En Inglaterra las ardillas grises norteamericanas están reemplazando a la ardilla roja nativa, al ser más eficientes en conseguir alimentos. Las invasiones de dos especies de avispas en los bosques de *Nothofagus* en Nueva Zelanda, han perjudicado a la fauna nativa incluyendo tanto a los invertebrados que son predados por las avispas, como a los pájaros que compiten por los recursos. Por ejemplo, el Kakapo es una especie amenazada de loro que habita estos bosques y se alimenta de la secreción azucarada producida por un insecto tachuela nativo. Sin embargo, el 95% de este recurso es ahora utilizado por las avispas invasoras durante el máximo de densidad poblacional del otoño y, en consecuencia, los loros abandonan los bosques durante este periodo. La flora nativa de la isla Galápagos está amenazada por cabras y burros, no solo debido a la herbivoría sino porque éstos ocupan los sitios de anidamiento de las tortugas y las iguanas terrestres y también destruyen la cubierta forestal, afectando así el ciclo de agua en las islas. Las

plantas invasoras tienen muchas maneras de competir con las nativas y el usurpar los recursos de luz y agua son probablemente las estrategias más comunes. Por ejemplo, la Uña de Gato, una planta suculenta exótica, es muy común en las carreteras de la costa de California, EE.UU. Esta planta no sólo forma matas sobre la vegetación nativa en la costa de California, sino que también utiliza la escasa agua disponible que de otra forma estaría disponible para las plantas nativas.

Los ecólogos hablan de “competencia por interferencia” cuando una especie interfiere con otra o perjudica a otra en la competencia por recursos. Esta estrategia ha sido bien demostrada en ciertos animales invasores. Por ejemplo, muchos tipos de hormigas exóticas, ampliamente distribuidas en el Sur de EE.UU. (como la hormiga roja de fuego, la hormiga argentina y la hormiga cabezona) arrasaron una gran proporción de las comunidades de hormigas nativas mediante la agresión. Si bien las citas de competencia por interferencia entre plantas siempre originan controversia, es muy probable que un tipo de pasto, que es un persistente invasor en agricultura (el Agropiro o Cruera), produzca toxinas para eliminar a otras plantas.

Las especies invasoras también pueden eliminar a las nativas cruzándose (hibridándose) con ellas, y si la especie nativa es rara, el peligro es mayor. Por ejemplo, la hibridación con el pato común, introducido desde Norte América, amenaza la existencia (al menos como especie en sí) tanto del pato gris de Nueva Zelanda como del pato hawaiano. La hibridación entre una especie exótica y una nativa puede incluso producir una nueva especie invasora; por ejemplo, un tipo de pasto, el Espartillo norteamericano, fue llevado en el lastre de los barcos al sur de Inglaterra, y ocasionalmente se hibridaba con el Espartillo de allí. Estos individuos híbridos eran estériles, pero uno eventualmente sufrió cambios genéticos que produjeron una especie fértil y altamente invasora de Espartillo. La hibridación puede amenazar a las especies nativas aún cuando sus descendientes no sobrevivan, simplemente porque la cruce reduce el número de descendientes que se suman a la población; por ejemplo, las hembras del visón europeo (una especie de por sí gravemente afectada por el deterioro del hábitat) se cruzan con machos del visón introducido desde Norteamérica, los embriones híbridos son abortados invariablemente y el malgasto de óvulos incrementa la declinación de la especie nativa.

Las especies pueden evolucionar luego de ser introducidas en una nueva área. Por ejemplo, el alga marina tropical *Caulerpa taxifolia* desarrolló tolerancia a aguas más frías en el acuario del Zoológico de Stuttgart y en otros acuarios públicos y privados de Europa. Posteriormente escapó a áreas del Noroeste del Mediterráneo y la nueva tolerancia a las temperaturas de invierno le ha permitido cubrir grandes áreas del suelo marino amenazando a las comunidades cercanas a la costa. La evolución también puede modificar los impactos potenciales de una especie introducida de una forma menos evidente; tal es el caso de una avispa parásita introducida en EE.UU. para controlar pulgón de la alfalfa. Originalmente, esta avispa había sido poco eficaz controlando el pulgón egipcio de la alfalfa, pero por selección natural, luego de

algunos años se volvió muy efectiva. Estas avispas son parásitas porque ponen sus huevos en las larvas del pulgón y así proveen a sus crías de una fuente de alimento. Los estudios en las larvas del pulgón egipcio mostraban que, al principio, un 35 a un 40 % de los huevos colocados por la avispa eran destruidos por la respuesta inmune de la larva. Sin embargo, luego de 15 años sólo un 5 % de los huevos de la avispa eran destruidos por las defensas del pulgón. Esto significa que la avispa se volvió más eficiente como parásita de las larvas del pulgón.

Efectos en la Comunidad y el Ecosistema

La amenaza ecológica más grande de las especies invasoras es la destrucción de ecosistemas enteros, a menudo por plantas invasoras que reemplazan a las nativas. Por ejemplo, el árbol australiano *Melaleuca* hasta hace poco estuvo incrementando su área de cobertura en el Sur de Florida (EE.UU.) a razón de más de 20 hectáreas por día, está reemplazando al Ciprés, a un tipo de pasto de zonas húmedas (conocido como “Sawgrass”) y a otras especies nativas. Actualmente cubre aproximadamente 160.000 hectáreas a menudo formando bosquecillos tan densos que virtualmente excluyen toda otra vegetación. Además, ofrece un hábitat pobre para muchos animales nativos, usa enormes cantidades de agua, e intensifica el régimen de fuego. Otro ejemplo es un arbusto trepador perenne de América del Sur, *Chromolaena odorata* o Cizaña de Siam; no sólo es un invasor agresivo en Asia y África, capaz de suprimir la regeneración de los principales árboles del bosque, sino que además proporciona alimentos que pueden sustentar otras plagas. Otro arbusto neotropical altamente invasivo, *Lantana camara*, en África Oriental sirve de hábitat para la mosca Tse-tse que normalmente habita en arroyos, aumentando así la incidencia de enfermedad del sueño en animales salvajes y domésticos, así como en los humanos (Fig. 1).

Muchas especies invasoras causan estragos en los ecosistemas, incrementando la intensidad o frecuencia de incendios, a los cuales las especies nativas más importantes o clave no están adaptadas. El árbol *Melaleuca* tiene este efecto en Florida, así como numerosos pastos invasores en distintas partes del mundo. En general, los pastos producen una gran cantidad de materia vegetal muerta que se seca rápidamente y es inflamable, y además, muchos de estos pastos pueden rebrotar rápidamente después del fuego (Fig. 4).

En el Parque Nacional de los Volcanes en Hawai, la invasión del pequeño árbol *Myrica faya*, nativo de las Islas Canarias, está transformando el ecosistema entero pues esta especie invasora puede fijar nitrógeno de la atmósfera y, por lo tanto, incrementa la disponibilidad de nitrógeno en suelos volcánicos, pobres en este nutriente, a una tasa 90 veces mayor que las especies nativas. Además, muchas otras plantas exóticas de Hawai sólo pueden habitar en sitios de suelos relativamente fértiles, por lo tanto *Myrica* allana el camino para otras invasiones, aumentando así la amenaza de cambios a gran escala en estas comunidades vegetales. Por otra parte, *Myrica* atrae al pájaro invasor más destructivo en los bosques nativos de Hawai



Figura 6 - La invasión de pastos africanos exóticos en la cuenca del Amazonas podría eventualmente causar la transformación permanente de éstos vastos sumideros forestales de Carbono en praderas o áreas similares a sabanas. La remoción vegetal, que incluye incendios de grandes áreas, crea un ambiente que favorece a estos pastos a expensas de las especies nativas. Una vez que los pastos ocupan estos sitios su permanencia es favorecida por la rápida producción anual de hojarasca, altamente inflamable. Esta conversión tan radical de un área tan grande trae aparejadas importantes consecuencias para la alteración de los ecosistemas a escala global (modificado de D'Antonio and Vitousek 1992).

y competidor de muchas especies de aves nativas, el Ojo Blanco japonés, el cual a su vez, dispersa las semillas de *Myrica*.

La transformación del ecosistema causado por los invasores, en algunos lugares ha sido tan radical, que incluso el paisaje ha sido profundamente alterado. Por ejemplo "El País del *Bluegrass*" en Kentucky, EE.UU., para la mayoría de los estadounidenses evoca imágenes de un pastizal, incluso pristino. Pero en realidad el "*Bluegrass*" es la *Poa* de los Prados, un pasto invasor euroasiático que reemplazó a la vegetación nativa de la región, luego del asentamiento de colonos europeos que removieron la vegetación original, la cual consistía en extensos bosques abiertos y sabanas con un sotobosque de centeno silvestre y probablemente cañas. El caracol marino europeo, introducido en Nova Scotia, alrededor del año 1840, ha transformado muchas de las entradas marinas a lo largo de la costa nordeste de América del Norte, de marismas y pantanos salinos a playas rocosas (Fig. 5). En otras partes han ocurrido transformaciones similares del paisaje, a gran escala, incluyendo la transformación de los Pantanos de Florida, de pantanos con inundaciones periódicas a un bosque de árboles exóticos con tendencia a incendios (Fig. 3), También incluye la invasión de los finbos o comunidades arbustivas en la zona del Cabo en Sudáfrica, por eucaliptos, pinos, acacias y otros árboles introducidos. El gran uso de agua de parte de estos invasores ha derivado en la disminución de este recurso y de hecho muchos ríos ya no fluyen o lo hacen sólo esporádicamente. Este cambio, a su

vez, ha reducido la producción agrícola y también ha amenazado la extinción de muchas especies de plantas endémicas, como las Proteas que se caracterizan por sus magníficas flores.

Nuestra mejor estimación es que, sin el control adecuado, a la velocidad y magnitud actual, las invasiones influenciarán a otros agentes del cambio global de un modo imprevisible pero profundo, incluyendo por ejemplo, la alteración de los gases del efecto invernadero en la atmósfera. Uno de los ejemplos más lamentables de esto lo proporciona la transformación actual de ecosistemas en la cuenca del Amazonas en Brasil, debido a la quema de bosques y su reemplazo con pastos africanos. La conversión de comunidades boscosas de gran diversidad en tierras de cultivo y pasturas, en muchos casos ha involucrado la siembra deliberada de estos pastos africanos comestibles para el ganado, y el fuego ha favorecido su dispersión y proliferación. El hecho más significativo es, quizás, el que estas praderas contienen mucho menos biomasa vegetal que los bosques nativos y por lo tanto toman menos carbono de la atmósfera. Dado la magnitud de la extensión de los bosques neotropicales, su continua conversión en praderas podría exacerbar el aumento del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera y potencialmente influir en el clima global. Si bien el fuego y los otros agentes relacionados con la remoción de la vegetación han iniciado estos cambios en la cuenca del Amazonas, la existencia de pastos invasores limita cualquier recolonización natural de las especies del bosque nativo (Fig. 6).

Consecuencias Económicas

Los esfuerzos para lograr el apoyo público y gubernamental para la prevención o control de las invasiones a menudo fallan por la falta de entendimiento de la complicada relación entre naturaleza y economía. No obstante, las invasiones biológicas representan una amenaza a la biodiversidad y a los procesos de los ecosistemas, que se traducen directamente en consecuencias económicas tales como pérdidas de cosechas, bosques, pesquerías, y campos de pastoreo. Sin embargo, ningún otro aspecto del estudio de invasiones biológicas está tan pobremente explorado y cuantificado como el de sus consecuencias económicas. Aunque hay numerosos ejemplos anecdóticos de los costos locales e incluso regionales de las invasiones, falta, en forma consistente, información clara y comprensiva sobre estos costos a escala nacional y particularmente global.

Las invasiones biológicas causan dos tipos principales de impactos económicos. El primero es la pérdida en el rendimiento económico potencial, es decir, las pérdidas en la producción de las cosechas y la disminución en la supervivencia, el éxito reproductivo y la producción de animales domésticos y pesquerías. El segundo es el costo directo de combatir las invasiones, incluyendo todos los tipos de cuarentena, control y erradicación. Un tercer tipo de impacto económico, que va más allá del alcance de este informe, haría énfasis en los costos del combate de las especies invasoras que representan una amenaza a la salud humana, tanto como agentes directos de enfermedades o como vectores o portadores de enfermedades causadas por parásitos.

Estos costos forman un "impuesto" oculto, pero oneroso, de muchos bienes y servicios. El contabilizar estos costos, sin embargo, es una inmensa tarea pendiente. Por ejemplo, recientemente un grupo intentó clasificar el costo anual de todas las especies exóticas en EE.UU. Estimaron que las malezas exóticas en los cultivos cuestan a la agricultura estadounidense aproximadamente \$27 mil millones de dólares por año, basado en un valor potencial de la cosecha de \$267 mil millones de dólares. La pérdida de forrajes y el costo de los herbicidas aplicados a las malezas en pasturas causan otros \$6 mil millones de dólares de pérdidas cada año. Cuando este grupo combinó estos costos directos con costos indirectos de actividades tales como la cuarentena, el costo total de todas las especies exóticas (plantas, animales, microbios) excedió los \$138 mil millones de dólares por año. Desde todo punto de vista estas pérdidas son colosales, incluso para una sociedad industrializada y productiva como la de Estados Unidos.

Estas estimaciones ilustran la naturaleza anecdótica y preliminar del conocimiento actual de la economía de invasiones. Una solución sería la aplicación más frecuente de herramientas económicas, tales como los análisis de costo-beneficio, cuando se consideren propuestas para importar especies consideradas económicamente beneficiosas. Cuando se trata de movimientos futuros de especies, la sociedad necesita ser capaz de considerar los resultados utilizando el mismo tipo de análisis económico que se utiliza en otros proyectos con potenciales consecuencias

ambientales, tales como la construcción de diques hidroeléctricos, canales y aeropuertos. Predecimos que los análisis de costo-beneficio de muchas especies invasoras introducidas deliberadamente demostrarán claramente que los costos para la sociedad empujeñecen cualquier beneficio.

PREVENCIÓN Y CONTROL DE INVASIONES BIOLÓGICAS

Las consecuencias de las invasiones biológicas son a menudo tan profundas que éstas deberían ser controladas y las nuevas invasiones, evitadas. Esta sección está dividida en dos partes: la primera trata sobre los esfuerzos para prevenir las invasiones, mediante la prohibición de la entrada de especies exóticas a un área dada; la segunda comprende las acciones para controlar la extensión e impacto de las especies exóticas, incluyendo a las invasoras, una vez que éstas se han establecido en una nueva área.

Prevención de la Entrada de Especies Exóticas

El uso de la cuarentena, la cual intenta evitar que ciertos organismos entren a una nueva área, tiene una larga historia en el combate enfermedades humanas. Nunca el dicho "*un gramo de prevención vale un kilo de curaciones*" fue tan aplicable como en el caso de las invasiones biológicas. La mayoría de las invasiones comienzan con la llegada de un pequeño número de individuos. El costo de excluir estos pocos individuos es normalmente mínimo, comparado al costo y esfuerzo requeridos para su control luego de que las poblaciones se han establecido y crecido. La identificación de un futuro invasor potencial, aunque es difícil, permitiría concentrar los recursos para obstruir su entrada o dispersión, o bien para detectar y destruir las poblaciones iniciales poco después su entrada.

La capacidad de una nación para restringir el movimiento de plantas y animales a través de sus fronteras se regula mediante tratados internacionales. Uno de los más importantes es el Acuerdo en la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (*SPS*, siglas en inglés); bajo este acuerdo, los países miembros Organización Mundial de Comercio (*WTO*, siglas en inglés) pueden restringir movimiento de especies que pueden significar una amenaza a la vida humana, animal o vegetal. La Convención Internacional para la Protección de Plantas (*IPPC*, siglas en inglés) de 1951, regula las cuarentenas para prevenir pestes de cultivos y la Secretaría de la *IPPC* también coordina normas fitosanitarias. El acuerdo *SPS* les exige a los miembros de la *WTO* que basen cualquier medida sanitaria o fitosanitaria en las pautas internacionalmente convenidas.

Desgraciadamente ni la redacción específica, ni la interpretación actual, ni la aplicación de estos acuerdos proporcionan un control totalmente efectivo para los invasores biológicos. Además, las naciones pueden otorgar excepciones basadas en consideraciones político-económicas que importan más que las preocupaciones biológicas. Por otra parte, aún cuando una nación intente prohibir la importación de una

especie, sus esfuerzos pueden ser vanos si la Organización de Mundial Comercio, como autoridad reguladora, dictamina que la prohibición es ilegal o solo una acción comercial proteccionista en lugar de un esfuerzo legítimo para excluir pestes. De esta manera las preocupaciones ambientales y los intereses político-económicos pueden fácilmente entrar en conflicto.

Dentro de estas pautas internacionales, algunos países, incluidos Australia y EE.UU., tradicionalmente han impuesto controles de cuarentena que adoptan el criterio "inocente hasta que se pruebe su culpabilidad"; por ejemplo, han permitido entrada de cualquier planta exótica mientras que no sea reconocida como una maleza. Este criterio ha sido criticado por dos razones opuestas: unos quieren liberar el comercio, quitando barreras arancelarias y minimizando los controles de cuarentena; los opositores quieren que se apliquen medidas preventivas y que se adopte el criterio de "culpable hasta se pruebe su inocencia" para endurecer los protocolos actuales de cuarentena.

El enfoque utilizado desde hace mucho tiempo por los EE.UU. es claramente inadecuado para detener la entrada de organismos exóticos y, de hecho, el Servicio de Inspección de Salud Vegetal y Animal (*APHIS*, siglas en inglés) dependiente del Departamento de Agricultura de EE.UU. está considerando realizar cambios en esta política. Esto podría involucrar evaluaciones de riesgo para estimar el potencial de invasibilidad de una especie propuesta para la importación. En 1997, el Servicio de Inspección de Cuarentena australiano (*AQIS*, siglas en inglés) adoptó un sistema de evaluación de riesgos para monitorear las nuevas importaciones de plantas, basado en sus atributos biológicos y el consecuente riesgo de invasibilidad que éstas poseen.

Tal como fue descrito anteriormente, los intentos de predecir qué especies se volverán invasoras a partir de sus atributos biológicos han tenido un éxito muy variado. En las evaluaciones a posteriori de plantas previamente introducidas, el sistema de monitoreo por el *AQIS* ha tenido una exactitud de aproximadamente 85%. El sistema actual del *AQIS* rechaza el 30% de las especies propuestas para la importación, la gran mayoría son "falso-positivos" que no se habrían vuelto malezas. aún está por verse si tal grado de restricción al comercio puede sostenerse. Tal política favorece el conflicto entre ambientalistas y productores, tales como los horticultores que defienden la libre introducción de especies. Globalmente, es improbable que alguna sociedad llegue a prohibir el libre movimiento de plantas y animales para el comercio. Por lo tanto, el desafío para científicos y gobernantes es identificar a los pocos inmigrantes potencialmente perjudiciales entre una creciente multitud de inmigrantes inocuos.

Erradicación

La erradicación de una especie exótica a veces es posible, particularmente si se la descubre temprano y si los recursos se aplican rápidamente. Sin embargo, el monitoreo realizado

normalmente es insuficiente para descubrir una invasión poco después que ocurre, particularmente en las áreas naturales. Muchas agencias reguladoras tienden a ignorar a las especies exóticas, considerando que los intentos de control no reditúan ni el esfuerzo ni el costo hasta que no sea evidente que una especie es invasora. Desgraciadamente, llegado este punto la erradicación probablemente ya no es una opción. El problema de conseguir que las agencias consideren seriamente a las especies exóticas se exagera por el fenómeno de retardo temporal entre el establecimiento de algunas especies inmigrantes y su surgimiento como invasores.

No obstante, se ha logrado la erradicación de algunas especies exóticas potencialmente perjudiciales. Por ejemplo, entre 1934 y 1937 se erradicó a la mosca asiática de los cítricos del Oeste de los Callos de Florida, EE.UU. Este proyecto de erradicación contó con muchas ventajas: en aquel tiempo no había ninguna carretera al continente y el único puente ferrocarril había sido destruido por un huracán en 1935. El aislamiento también ofreció grandes ventajas en la campaña de erradicación de una mosca parásita mediante la liberación de machos estériles (es una mosca conocida como "*Screwworm fly*", que deposita sus huevos en las heridas de animales y humanos y la larva se alimenta de la carne). El gran éxito de esta estrategia en la Isla Sanibel de Florida, EE.UU. llevó a un ensayo similar en Curaçao y esta erradicación, a su vez, llevó a la liberación masiva de machos estériles en todo el Sudeste de Estados Unidos.

El caracol africano gigante, una peste para la agricultura en muchas partes del área en que fue introducido en Asia y el Pacífico, fue erradicado gracias a las campañas sostenidas contra las poblaciones establecidas, pero que estaban bastante localizadas, en el sur de Florida y en Queensland, Australia. A menudo se logra eliminar poblaciones locales de peces exóticos de agua dulce y los científicos de Nueva Zelanda han erradicado distintas combinaciones de doce especies de mamíferos (desde roedores a animales domésticos asilvestrados) de muchas islas de hasta 2000 hectáreas. También han sido completamente erradicadas unas pocas poblaciones de plantas exóticas, aunque todavía no invasoras, de islas de Nueva Zelanda. Las áreas afectadas, sin embargo, siempre fueron muy pequeñas.

Algunos esfuerzos de erradicación han tenido éxito con especies ampliamente distribuidas. Por ejemplo, la bacteria del carcinoma de los cítricos fue erradicada de una amplia franja del Sudeste de EE.UU. a comienzos del S. XX. Una campaña en la década del '50, exitosamente eliminó la nutria norteamericana de Sur de Inglaterra. La mosca del mediterráneo fue erradicada de un área sustancial de Florida en la década del '30.

En todos estos casos, tres factores importantes contribuyeron al éxito de la erradicación. Primero, los aspectos particulares de la biología de las especies sugirieron qué métodos de erradicación podrían ser los más eficaces. Por ejemplo, en el caso de la bacteria de los cítricos, la especificidad del huésped y la poca capacidad de dispersión fueron cruciales para el desarrollo de una estrategia de erradicación exitosa. Segundo, una adecuada cantidad de recursos estuvo disponible durante

un tiempo suficientemente largo. En otras palabras, la erradicación es imposible si los recursos económicos se cortan ni bien disminuye la amenaza inmediata del impacto económico. Tercero, en los casos mencionados hubo un gran apoyo, tanto de las agencias pertinentes como del público. Así por ejemplo, las personas cumplieron rigurosamente las cuarentenas y las distintas medidas sanitarias.

Aun en los casos en que la erradicación no es completa, el esfuerzo bien puede haber demostrado ser rentable y haber prevenido un daño ecológico sustancial. Por ejemplo, una larga campaña para erradicar de muchos cultivos a una planta parásita de raíces de origen africano (conocida como "*Witchweed*") en las Carolinas, EE.UU., redujo la invasión de 162.000 a 6.000 hectáreas. Los métodos empleados (herbicidas, fumigaciones en el suelo para eliminar semillas y la regulación de los cultivos y maquinarias contaminadas con semillas) hubieran sido usados de todos modos, simplemente para controlar a este invasor.

Otros proyectos de erradicación masiva, sin embargo, han sido tan desastrosos que han generado escepticismo en el público y en algunos casos, incluso han empeorado el problema. La extensa campaña para erradicar las hormigas rojas de fuego del Sur de EE.UU., ha sido denominada por E. O. Wilson, un prestigioso ecólogo de la Universidad de Harvard, como "el Vietnam de la entomología" y fue un terrible desastre que costó \$200 millones de dólares. Las hormigas no sólo volvieron a invadir las zonas de las que habían sido eliminadas por

insecticidas, sino que lo hicieron más rápidamente que muchas especies de hormiga nativas. Además, se eliminaron muchos competidores y predadores potenciales y se encontraron rastros de los pesticidas utilizados en una gran variedad de organismos que nunca fueron objetivo, incluidos los humanos. Durante la campaña, de 20 años de duración, el área de introducción de la hormiga roja de fuego se multiplicó varias veces y, triste es decirlo, en ese momento se conocía lo suficiente sobre la biología de estas hormigas como para haber predicho esos resultados.

Control de Mantenimiento

Si la erradicación de una especie falla, la meta pasa a ser el "control de mantenimiento" de esa especie en niveles de abundancia aceptables. Existen principalmente tres métodos de control que se usan ampliamente, en forma individual o en combinación: el químico, el mecánico y el biológico.

El control químico es probablemente la principal herramienta en el combate de las plagas exóticas en la agricultura. Como fue mencionado antes, los pesticidas junto a la cuarentena regional han controlado exitosamente la hierba parásita de las raíces ("*Witchweed*") en algunos condados de Carolina del Norte, EE.UU. Los productos químicos siguen siendo las herramientas principales para combatir a los insectos que se vuelven plagas. En América del Norte (al igual que en muchos otros lugares) tales plagas son casi invariablemente de origen extranjero.



Fotografía de Richard Mack

Figura 7 - El control mecánico de los invasores si bien puede ser efectivo, normalmente no es práctico en áreas muy extensas. En algunos casos, sin embargo, el costo ambiental supera el costo de los extensos trabajos de remoción. Los bosques de árboles invasores en la provincia del Cabo en Sudáfrica, tales como *Acacia saligna*, son tan densos que su remoción revela la escasez de plantas nativas que sobrevivieron debajo del invasor (notar la franja de vegetación removida en el lado izquierdo de la foto). La detección y destrucción repetida de las plantas invasoras supervivientes son esenciales para el control prolongado.



Fotografía de Gary Piper

Figura 8 - Idealmente el control biológico consiste en la introducción de una especie que ataca vorazmente sólo a las poblaciones de la especie a controlar. Eventualmente tanto la especie a controlar como el agente de biocontrol se vuelven raros, pero normalmente no se extinguen. El pequeño escarabajo *Chrysolina quadrigemina* ha probado ser un efectivo agente de control de la maleza *Hypericum perforatum* (Hipérico) en EE.UU. y en otras partes del mundo.

Los controles químicos, desgraciadamente, a menudo conllevan riesgos para la salud de los seres humanos y para muchas especies que no son objetivo de control, por ejemplo, son bien conocidos los problemas asociados al DDT. Además, la continua evolución de resistencia a estos productos en la peste, el alto costo y la necesidad de aplicaciones repetidas hacen que sea imposible la continuidad del control químico. Por ejemplo si la meta fuera controlar químicamente una especie invasora en una gran área natural, el solo costo de los productos químicos sería prohibitivo. Incluso cuando no hay ninguna evidencia firme de que los productos químicos involucrados representen un riesgo para la salud humana, el uso masivo de éstos sobre áreas densamente pobladas genera inevitablemente una enorme oposición pública, tales como las recientes protestas en contra de las campañas de fumigación aérea con *malathion*, para controlar la mosca del mediterráneo, en California y Florida, EE.UU.

Los métodos mecánicos para controlar organismos exóticos muchas veces son eficaces y normalmente no generan crítica en el público (Fig. 7), incluso a veces pueden utilizarse para generar su interés y apoyo. En la reserva *Blowing Rocks Preserve* de Florida, personal voluntario ayudó a remover el pino australiano, la Pimienta Brasileira (o Aroeira Vermelha) y otras plantas invasoras, y a plantar más de 60.000 individuos de 85 especies nativas; el costo del trabajo voluntario hasta la fecha

fue valuado en más de \$100.000 dólares. La recolección a mano de caracoles africanos gigantes fue un componente importante de la erradicación exitosa en las campañas en Florida y Queensland. Sin embargo, los gastos de equipamiento, la dificultad práctica de encontrar a los organismos en cuestión y la escala geográfica de ciertas invasiones frecuentemente hacen que el control mecánico sea imposible.

La caza se cita a menudo como un método eficaz para mantener el control de animales exóticos y, de hecho, la caza y el trapeo fueron cruciales para el éxito de las campañas de erradicación de mamíferos en las pequeñas islas de Nueva Zelanda, así como para la erradicación de la nutria en Inglaterra. En las Islas Galápagos, los oficiales del Parque Nacional han establecido una campaña a largo plazo para erradicar los mamíferos exóticos y en los últimos 30 años las cabras han sido eliminadas de cinco islas. En contraste, es poco probable que la caza por sí sola pueda ser un método de control eficaz de mamíferos invasores. En Nueva Zelanda se incentivó la caza de la comadreja australiana Cola de Cepillo de 1951 a 1961 a través de un sistema de bonificaciones y la utilización de los animales para pieles. Más de un millón de animales por año fueron cazados o atrapados hacia fines de la década del '50. No obstante, las comadrejas continuaron expandiéndose.

Los problemas con los controles químico y mecánico han llevado la atención al control biológico, que consiste en la

introducción de un enemigo natural específico de la especie invasora. En cierto sentido esto es una invasión planificada. La idea es establecer en la nueva área al menos algo del control biológico natural que la especie invasora tiene en su área original. Ciertos proyectos de control biológico han tenido éxito en controlar invasiones perjudiciales muy extendidas, reduciéndolas a niveles aceptables con costos mínimos. Los ejemplos incluyen el renombrado caso del control de la tuna invasora (un tipo de cacto) en Australia, por medio de la polilla *Cactoblastis cactorum* de Argentina; el control de la maleza Gamba Rusa (o Lagunilla) sudamericana en los estados de Florida y Georgia, EE.UU. por medio de un escarabajo pequeño; y el control en África de una peste sudamericana de la yuca por una avispa sudamericana (Fig. 8). En cada uno de estos casos el enemigo natural controló a la peste a perpetuidad, sin mayor intervención humana. Cuando la peste incrementa su población, los enemigos naturales aumentan correspondientemente, logrando la disminución de la peste, que a su vez causa la declinación de la población del enemigo natural. Ninguno es eliminado por completo y ninguno se vuelve abundante.

Problemas en el Control Biológico

El método de control biológico recientemente ha recibido importantes críticas dado que muchas especies que no eran objetivo de control, incluso algunas de ellas foco de esfuerzos de conservación, han resultado atacadas y hasta extinguidas por los agentes de biocontrol exóticos. Por ejemplo, la extensa introducción de un caracol predador, originario del continente americano (*Euglandina rosea*) para controlar el caracol africano gigante, ha llevado a la extinción a muchas especies de caracoles endémicas del archipiélago Hawaiano. En estos casos, la especie predatora atacó a muchas especies de presa, por lo cual impidió que se establezca una relación de control mutuo entre la especie predatora y una única especie de presa.

Algunos insectos utilizados como agentes de biocontrol a pesar de que habían pasado por rigurosas evaluaciones de especificidad, una vez liberados, atacaron a otras especies. Por ejemplo, un pulgón euro-asiático, introducido en América del Norte para controlar el Cardo de Caballo (un cardo invasor) ataca ahora cardos nativos. Las especies atacadas incluyen una especie mencionada en la lista federal de EE.UU. como amenazada y otras especies endémicas de distribución muy restringida en al menos dos Refugios para la Conservación de la Naturaleza, tres Parques Nacionales y tierras estatales. La controversia sobre la magnitud de estos problemas se enfoca principalmente en dos temas: 1) si es que realmente existe el monitoreo suficiente como para detectar tales impactos en organismos que no son objetivo de control y 2) la probabilidad de que un agente de control biológico introducido evolucione y ataque nuevos hospedantes. El hecho de que los agentes de control biológico puedan dispersarse y evolucionar, tal como puede hacerlo cualquier otra especie introducida en una nueva área, implica que la evaluación preliminar debe ser extensa y realizada bajo condiciones de extrema seguridad.

Los Problemas Socio-Económicos de la Exclusión y el Control

Las dificultades en el control de las invasiones biológicas ilustran el problema de llevar a cabo recomendaciones de base científica en una arena en que diversos sectores de la sociedad tienen un rol importante. En cada nivel de prevención y control, los problemas espinosos son probablemente tanto socio-económicos como científicos.

Un problema común con los métodos actuales de erradicación y control es que éstos dan por sentada la buena voluntad y cooperación de los ciudadanos. Debido a una gran variedad de razones, una importante proporción de personas e industrias están de acuerdo con la introducción, al menos en condiciones controladas, de muchas especies exóticas y son escépticos respecto a los argumentos de que pueden escapar y/o que serán problemáticas si escapan. De esta forma, a menudo hay una oposición organizada a las propuestas de endurecer las regulaciones y frecuentemente también hay negligencia o incluso desobediencia a las leyes existentes.

La industria de la horticultura a menudo está a la vanguardia de la oposición al control firme de especies exóticas. Esta es una industria grande y diversa con una gama de importaciones que van desde operaciones pequeñas, familiares, especializadas en unas pocas especies, hasta grandes corporaciones que importan centenares de especies taxonómicamente diversas. Además, por un lado, algunos horticultores tienen publicaciones y sitios en Internet donde se mofan de la existencia de problemas ecológicos a causa de especies introducidas. Por otro lado, muchos importadores de plantas reconocen los peligros y al menos obedecen las medidas de cuarentena y las listas negras de especies conocidas como invasoras. Sin embargo, en conjunto a través de asociaciones de comercio, o individualmente, los horticultores intentan influir en el proceso político que concierne a la regulación de especies exóticas. Además, las personas que compran plantas a los importadores generalmente están bajo regulaciones mucho menos restrictivas y sometidas a un menor control en el uso de estas plantas.

Los horticultores también se han aliado, al menos de manera laxa, con otros grupos interesados en tener un acceso relativamente libre a la flora del mundo. Por ejemplo, los departamentos estatales de transporte de EE.UU., a cargo de revegetar carreteras, así como el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU., encargado de controlar la erosión, tradicionalmente han preferido especies exóticas para estos fines. Actualmente, al menos algunos departamentos estatales de transporte están favoreciendo el uso de plantas nativas, pero una larga historia de interacción entre estos departamentos y los horticultores privados retarda este proceso.

Los intereses agrícolas y sus agencias reguladoras han tenido una actitud ambigua en relación con las especies introducidas. Por un lado, promueven la importación de cultivos y ganado útiles y de buen rendimiento. Por el otro, esperan controlar la entrada de parásitos, pestes y malezas agrícolas. Por ejemplo, el pulgón del cardo, controvertido



Fotografía de Richard Mack

Figura 9 - Las consecuencias perjudiciales de las especies introducidas son muy evidentes. El Camalote o Lirio de Agua *Eichhornia crassipes*, nativo del Amazonas, ha menudo ha sido considerado como una de las plantas invasoras más dañinas del mundo. En muchos de sus nuevos hábitats tropicales rápidamente ha formado una gruesa, y a menudo impenetrable, cubierta sobre la superficie de lagos y ríos. Lago Man Sagar cerca de Jaipur, India.

agente de biocontrol que ataca a otras especies, fue introducido en América del Norte por el departamento de Agricultura de Canadá y se extendió a los EE.UU. gracias al Departamento de Agricultura de EE.UU. y a varias agencias agrícolas estatales de este país.

La industria de mascotas a menudo invierte mucho en especies exóticas. Al igual que la industria de la horticultura, abarca un gran rango en lo que se refiere al tamaño, alcance y naturaleza de la especialización y no hay ninguna postura firme hacia las amenazas que representan las especies exóticas ni perspectivas de un control riguroso. Sin embargo, también al igual que los horticultores, la actitud general de la industria de mascotas hacia la regulación estricta de introducciones, manifestada a través de políticas y de publicidad tanto individual como de organizaciones de comercio, va desde el escepticismo hasta la total hostilidad.

Muchas mascotas y animales domésticos han escapado de los importadores y criadores (por ejemplo en oportunidades de incendios o tormentas que destruyeron las jaulas) y algunos de estos animales se han vuelto invasores. En Inglaterra, las nutrias que escaparon de granjas peleteras lograron naturalizarse y formaron poblaciones que luego debieron ser objeto de una larga campaña de erradicación. Muchas veces no son los distribuidores de mascotas sino sus dueños quienes deliberadamente sueltan los animales. Al igual que con los horticultores, una vez que el animal se vende, el distribuidor no tiene ningún control posterior sobre las acciones del comprador y es poco probable que éste último obedezca (o incluso conozca) las regulaciones formales.

Las controversias sobre el manejo de caballos asilvestrados (o "salvajes") en EE.UU. y Nueva Zelanda ilustra los conflictos que rápidamente surgen entre los ecologistas y otros segmentos de la sociedad sobre algunos animales domésticos que se han asilvestrado. En ambos países los caballos asilvestrados representan una documentada amenaza para las especies y ecosistemas nativos. Todavía algunos grupos en EE.UU., sostienen que los caballos que escaparon hace aproximadamente 500 años de los exploradores españoles en América del Norte "pertenecen" al Oeste, siendo el reemplazo moderno de los equinos nativos que se extinguieron del continente hace aproximadamente 10.000 años. En Nueva Zelanda, sin embargo, no había ningún mamífero nativo (salvo por algunas especies de murciélagos) antes de que fueran introducidos deliberada o accidentalmente por los humanos. De hecho, los caballos fueron introducidos en Nueva Zelanda hace menos de 200 años.

En Nueva Zelanda, los caballos asilvestrados han ocupado el centro de la Isla Norte desde la década de 1870. El uso de la tierra y la caza redujeron progresivamente la cantidad a unos 174 animales en 1979. Sin embargo, en 1981, las protestas del público resultaron en la creación de una área protegida para los caballos restantes. Gracias a la protección, los caballos aumentaron a 1576 animales en 1994 y cada cuatro años doblan su población. Para responder al daño causado en los ecosistemas nativos por la creciente población de caballos, el Departamento de Conservación de Nueva Zelanda recomendó eliminar una tropilla de aproximadamente 500 animales. El plan de manejo, que incluía la matanza de animales, provocó

una intensa protesta del público. Estas protestas lograron la modificación de un plan de manejo científicamente basado y la decisión, en 1997, de atrapar tantos caballos como fuera posible para su venta. Si bien se logró la venta de varios cientos de caballos, el destino a largo plazo de las tropillas de tamaño creciente permanece sin solución. El callejón sin salida de Nueva Zelanda en el control de los caballos asilvestrados se repite en Nevada, EE.UU., donde ha surgido una intensa disputa entre los administradores de tierras y los activistas a favor de los caballos, acerca del impacto ecológico de éstos, el tamaño de las tropillas y los métodos apropiados para el control de las poblaciones. En términos prácticos, probablemente la manera más simple de lograr la reducción de la población sería atrapar a animales escogidos, pero la resistencia pública evita esta opción.

En EE.UU., la influencia del sentimiento público en la política tanto en el manejo de caballos como también de los burros asilvestrados probablemente da una idea de la reacción pública a los esfuerzos serios para controlar los gatos asilvestrados. La amplia evidencia muestra que los gatos son la amenaza más seria a la existencia de muchos vertebrados pequeños. En Inglaterra, un estudio estima que sólo los gatos domésticos causan la muerte de unos 20 millones de pájaros anualmente. La cantidad de muertes causadas por los gatos asilvestrados, si bien se desconoce, claramente incrementa estos valores. En Australia ya se ha generado un acalorado debate sobre la erradicación de gatos asilvestrados y la esterilización de gatos domésticos. Discusiones similares, que ponen a los ambientalistas en contra del público general están sucediendo en EE.UU. y Europa. En las próximas décadas, pocos casos de invasiones biológicas merecerán más de la opinión imparcial de ecólogos que el dilema causado por los gatos.

Las agencias de caza y pesca han sido tradicionalmente grandes importadores de especies exóticas, particularmente peces, aves de caza y mamíferos. Recientemente, al menos algunas agencias de caza y pesca han reconocido la necesidad de una mayor regulación sobre las especies exóticas, pero el hecho de que todavía soliciten la importación de nuevas especies sugiere una actitud ambigua. Además, muchas personas y organizaciones liberan especies para la caza en nuevas localidades. Algunas de las liberaciones de peces y otros animales constituyen deliberadas violaciones a las leyes. Por ejemplo, en la región Norte de las Montañas Rocallosas, un grupo de personas liberó clandestinamente una especie de pez exótico en muchos lagos de montaña, estas personas transportaron los peces en mochilas para asegurarse de que hasta los lagos más aislados reciban individuos pues juzgaron que serían una biota "conveniente" para estos ecosistemas acuáticos. Incluso acciones aparentemente inocuas pueden tener impactos ecológicamente catastróficos. La liberación de los cebos o carnadas vivas, al final del día de pesca por parte de los pescadores, ya ha llevado a la extinción de varias especies en EE.UU. a través de la hibridación, incluido el Peceto de Pecos, un pequeño y robusto pez que habita (o habitaba) en lagunas salobres en el Sudoeste de EE.UU.

Estrategias a Largo Plazo Para el Control de Invasiones Biológicas

La prevención eficaz y el control de las invasiones biológicas requieren de estrategias a largo plazo y a gran escala en lugar de un acercamiento enfocado en combatir invasores individuales. Uno de los problemas de este enfoque, particularmente en una región donde los organismos invasores abundan, es la posibilidad de "cambiar una peste por otra". Por ejemplo, la introducción de un agente de biocontrol exitoso contra sólo una de las especies invasoras puede ser ecológicamente inútil a menos que haya una estrategia para eliminar a los invasores restantes. Este problema puede ocurrir a menudo, y quizás haya ocurrido en el caso del incremento de cardo amarillo como maleza invasora en California al mismo tiempo que la invasión de Hipérico (otra maleza) disminuía gracias al impacto de su agente de biocontrol, en los años '50. Un enfoque estratégico que tenga en cuenta el ecosistema, en lugar de simplemente eliminar sólo a los invasores más dañinos sería particularmente apropiado en las áreas protegidas pero lamentablemente rara vez se emprende una estrategia de este tipo.

En algunas naciones están poniéndose en práctica tal tipo de enfoques, más amplios, para el control de invasores. Por ejemplo, en Sudáfrica se puso en práctica un proyecto a gran escala para eliminar de las cuencas hídricas a todas las especies leñosas invasoras en un programa a 20 años. La estrategia nacional, que involucra a muchas especies y regiones, consiste en la remoción manual de bosquecillos para permitir el reestablecimiento de la vegetación nativa, el tratamiento de tocones con herbicidas de raíces, y el uso de controles biológicos para prevenir la reinvasión de especies leñosas exóticas. Aunque este programa costará \$150 millones de dólares estadounidenses, es mucho más barato que otras alternativas, tales como la construcción de diques para asegurar el suministro de agua, y tiene el beneficio extra de crear miles de puestos de trabajo.

INVESTIGACIONES FUTURAS Y POLÍTICAS PRIORITARIAS

La investigación extensiva en la ecología de invasiones biológicas sólo tiene unas décadas. Aunque se ha aprendido mucho, hay demasiados datos que son sólo anecdóticos; falta aún una síntesis definitiva, generalización y predicción. A continuación se mencionan las áreas en que sería importante contar con nuevas políticas, nuevas investigaciones, o ambas cosas.

1. Claramente se necesita un mayor entendimiento de la epidemiología de las invasiones. Como parte de esta meta, se necesitan mejores evaluaciones del área geográfica ocupada por las invasiones actuales, sea para tomar decisiones sobre políticas públicas como por razones científicas. Pocas herramientas son tan eficaces para informar al público como mapas sucesivos en el tiempo mostrando el avance de una invasión. Con relación a esto puede hacerse una analogía entre la necesidad de mapas

- dinámicos de invasiones y los mapas climáticos modernos pues los mapas climáticos permiten a los espectadores reconocer inmediatamente el origen, la dirección, intensidad y hasta las fuerzas colaterales que determinan el clima. También enfatizamos aquí la necesidad de coleccionar información de manera más activa sobre la biología de las inmigraciones que no prosperan, pues la comprensión de las razones del fracaso en el establecimiento de la vasta mayoría de inmigrantes puede eventualmente ayudar a discernir tempranamente a los heraldos de una invasión inminente.
2. La experimentación en la epidemiología de invasiones es una extensión lógica del punto (1). Hasta ahora, los datos más exhaustivos provienen de observar el destino de los insectos liberados como control biológico y de los pájaros introducidos en islas. Es necesario realizar liberaciones experimentales inocuas, con organismos que puedan manipularse, para explorar el enorme rango de eventos a las cuales todas las poblaciones inmigrantes puedan estar sujetas.
 3. Son raras las estimaciones económicas del verdadero costo de invasiones biológicas y casi siempre involucran una sola especie en áreas pequeñas. Hacen falta análisis de costo-beneficio que con precisión y eficacia pongan en evidencia el daño infligido a la economía mundial por las invasiones biológicas. Esta necesidad es similar al mandato que la Organización Mundial de la Salud cumple al analizar y difundir información sobre el costo económico de las enfermedades humanas.

4. La mayoría de los miembros de la sociedad toma conciencia del problema de las invasiones biológicas sólo cuando lo experimentan por sí mismos, generalmente cuando hay algún tipo de costo económico involucrado. Estos casos a menudo incitan a la acción, o por lo menos la reacción pública, pero ésta es efímera y local. Es necesaria una mayor conciencia pública y gubernamental sobre los efectos crónicos y globales de los organismos invasores y las herramientas disponible para detener su dispersión y restringir el impacto ecológico y económico. Las acciones para crear conciencia sobre los problemas de las invasiones biológicas, necesitan igualar o exceder los esfuerzos para atraer la atención pública sobre los problemas relacionados al cambio climático global.

CONCLUSIONES

Las invasiones biológicas están alterando las comunidades naturales del mundo y sus características ecológicas de una forma sin precedentes. Si no se implementan estrategias eficaces para disminuir los impactos más perjudiciales de las invasores, nos arriesgamos a empobrecer y homogenizar los mismos ecosistemas de los cuales dependemos para sostener la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la pesca y otros recursos que nos proveen de servicios naturales irremplazables. Dada la escala actual de las invasiones biológicas y la falta de políticas efectivas para prevenirlas o controlarlas, la importancia de las invasiones biológicas se ha vuelto comparable a los cambios atmosféricos y al cambio en el uso de la tierra como los grandes factores antrópicos de cambio global.



Figura 10 - Las nutrias han causado grandes daños en pantanos del sur de Luisiana, llegando en algunos casos, a la pérdida completa del pantano al ser éste convertido en un cuerpo de agua abierto. La fotografía aérea muestra los cambios en la vegetación a lo largo de ocho meses dentro de un estudio de cuatro años, dirigido por Lori Randall y Lee Foote del *National Wetlands Research Center -USGS* en Lafayette, LA, EE.UU. Los cercos experimentales protegen a la vegetación del pantano de las nutrias, de otra forma la biomasa vegetal sería reducida en un 80-90% (el perímetro punteado en blanco destaca una zona sin cercos donde las nutrias se alimentan). Tal reducción de la biomasa vegetal lleva a la disminución de la acumulación de sedimentos y a la eventual pérdida del hábitat del pantano.

AGRADECIMIENTOS

El panel agradece a David Tilman por su previsión en la organización de la serie *Issues in Ecology* y a *The Pew Charitable Trusts* por el apoyo financiero al proyecto que produjo este informe. Agradecemos a Yvonne Baskin, pues su habilidad en la corrección mejoraron el informe técnico y produjeron una versión más lúcida del informe de divulgación para el público general. A G.H. Orians le agradecemos sus comentarios en una versión anterior del manuscrito. Agradecemos a L. Foote, J. Grace, S. Hacker, G. Piper, y L. Randall por la utilización de fotografías; y a L. Hiding y F. Kearns por su habilidad en la edición y diseño de la publicación.

LECTURAS SUGERIDAS

- Cronk, Q. C. B. and J. L. Fuller. 1995. *Plant Invaders*. Chapman and Hall, London.
- Kaiser, J. 1999. Stemming the tide of invading species. *Science* 285: 1836-1841.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zuniga and D. Morrison. 2000. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. *Bioscience* 50(1):53-65.
- Vitousek, P. M., C. M. D'Antonio, L. L. Loope, and R. Westbrooks. 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84: 468-478.
- Williamson, M. 1996. *Biological Invasions*. Chapman and Hall, London.

Este informe resume lo encontrado por un panel de científicos. El informe completo está publicado en la revista científica *Ecological Applications* (Volumen 10, Número 3, páginas 689-710, Junio de 2000), donde se discuten y se citan extensamente las referencias de la literatura científica más relevante sobre este tema. De esa lista hemos escogido los que mencionamos a continuación, como ejemplo de publicaciones científicas y resúmenes en los cuales se basa este informe.

- Bertness, M. D. 1984. Habitat and community modification by an introduced herbivorous snail. *Ecology* 65: 370-381.
- Crawley, M. J. 1989. Chance and timing in biological invasions. Pages 407-423 in J. Drake, F. di Castri, R. Groves, F. Kruger, H. A. Mooney, M. Rejmanek, M. Williamson, editors. *Biological invasions: a global perspective*. Wiley, New York, New York, USA.
- D'Antonio, C. M., and P. M. Vitousek. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23: 63-87.
- Huffaker, C. B. and C. E. Kennett. A ten-year study of vegetational changes associated with the biological control of Klamath weed. *Journal of Range Management* 69-82.
- Mack, R. N. 1995. Understanding the processes of weed invasions: The influence of environmental stochasticity.

Pages 65-74 in C. Stirton, editor. *Weeds in a changing world*. British Crop Protection Council, Symposium Proceedings No. 64. Brighton, U.K.

- Porter, S. D. and D. A. Savignano. 1990. Invasion of polygene fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology* 71: 2095-2106.
- Moran, V. C. and H. G. Zimmerman. 1991. Biological control of jointed cactus, *Opuntia aurantiaca* (Cactaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 5-27.
- Simberloff, D., D. C. Schmitz, and T. C. Brown. (editors) 1997. *Strangers in paradise*. Island Press, Washington, D.C. USA.
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment. 1993. *Harmful non-indigenous species in the United States*. OTA-F-565. U.S. Congress Government Printing Office. Washington, D.C., USA.
- Weiss, P. W. and S. J. Milton. 1984. *Chrysanthemonoides monilifera* and *Acacia longifolia* in Australia and South Africa. Pages 159-160 in B. Dell, editor. *Proceedings of the 4th International Conference on Mediterranean Ecosystems*. University of Western Australia, Nedlands, Western Australia.

PANEL DE CIENTÍFICOS

Este informe presenta el consenso alcanzado por un panel de seis científicos, elegidos de forma de incluir un amplio rango de expertos en el área. Este informe pasó por un proceso de cuidadosa revisión y fue aprobado por el panel de editores de *Issues in Ecology*. Los miembros del panel de científicos son:

- Dr. Richard N. Mack (*Director del Panel*) School of Biological Sciences, Washington State University, Pullman, WA, 99164, EE.UU.
- Dr. Daniel Simberloff, Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Tennessee, Knoxville, TN, 37996-1610, EE.UU.
- Dr. W. Mark Lonsdale, CSIRO Entomology and CRC for Weed Management Systems, GPO Box 1700, Canberra, ACT 2601, AUSTRALIA
- Dr. Harry Evans, CABI BIOSCIENCE, UK Centre (Ascot), Silwood Park, Buckhurst Rd., Ascot, Berkshire SL5 7TA, REINO UNIDO.
- Dr. Michael Clout, School of Biological Sciences, University of Auckland, Private Bag 92019, Auckland, NUEVA ZELANDA.
- Dr. Fakhri Bazzaz, Biological Laboratories, Harvard University, 16 Divinity Ave., Cambridge, MA 02138, REINO UNIDO.

Escritor de Ciencia

Yvonne Baskin es una escritora de ciencias que revisó el informe del panel, para que la comunicación de los resultados a un público no científico sea más eficaz.

ISSUES IN ECOLOGY

Issues in Ecology fue diseñado para informar, en un idioma entendible por personas que no son científicos, el consenso de un panel de científicos expertos en problemas relacionados con el medio ambiente. *Issues in Ecology* se edita gracias a un subsidio otorgado por *Pew Scholars in Conservation Biology* a David Tilman y a *Ecological Society of America*. Todos los informes pasan por un proceso de revisión por colegas y son aprobados por el consejo de redacción antes de su publicación.

Concejo Editorial de *Issues in Ecology***Editor:**

Dr. David Tilman, Editor-in-Chief, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097, United States. E-mail: tilman@lter.umn.edu

Miembros del Concejo Editorial:

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, United States.
 Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209, United States.
 Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1003, US.
 Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-2914, United States.
 Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA 30602-2202, United States.
 Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195, United States.
 Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532, United States.
 Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708-0340, United States.

Informes anteriores

Los informes anteriores de *Issues in Ecology*, disponibles en *Ecological Society of America* incluyen:

- Vitousek, P.M., J. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger, and G.D. Tilman. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences, *Issues in Ecology* No. 1.
 Daily, G.C., S. Alexander, P.R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P.A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S.H. Schneider, D. Tilman, and G.M. Woodwell. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems, *Issues in Ecology* No. 2.
 Carpenter, S., N. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith. 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen, *Issues in Ecology* No. 3.
 Naeem, S., F.S. Chapin III, R. Costanza, P.R. Ehrlich, F.B. Golley, D.U. Hooper, J.H. Lawton, R.V. O'Neill, H.A. Mooney, O.E. Sala, A.J. Symstad, and D. Tilman. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes, *Issues in Ecology* No. 4.

Copias Adicionales

Para recibir copias adicionales de este informe o informes anteriores de *Issues in Ecology* (cada uno tiene un costo de US\$ 3) por favor escriba a:

Ecological Society of America

1707 H Street, NW, Suite 400
 Washington, DC 20006, United States.
 Teléfono: + +1 (202) 833-8773
 Correo electrónico: esahq@esa.org



La serie *Issues in Ecology* está también disponible electrónicamente en http://www.esa.org/sbi/sbi_issues/

Traducción al castellano:

Cecilia Nuñez, Argentinall Reviewer: Rodolfo Golluscio

Fotografía de tapa: Gran mortalidad de *Abies fraseri* (abeto de Fraser) en el Domo de Clingman, en el Parque Nacional Smokey Mountains. Desde la llegada del letal insecto invasor *Adelges piceae* al Parque, hace menos de 30 años, casi todos los *A. fraseri* que antes eran prominentes, han sido destruidos. Los escasos árboles supervivientes en su mayoría son *Picea rubens*.

Acerca de los *Issues in Ecology* (*Tópicos en Ecología*)

Los *Issues in Ecology* se diseñaron para comunicar, en un lenguaje comprensible para un público no científico, el consenso de un panel de científicos expertos en temas relevantes para el medio ambiente. Los *Issues in Ecology* son financiados por el programa "Pew Scholars in Conservation Biology" y por la *Ecological Society of America* – ESA - (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Se publican a intervalos irregulares, en la medida en que los informes se completan. Todos los informes se someten al sistema de "revisión por pares" (otros expertos) y deben ser aprobados por el Comité Editorial antes de su publicación. Los editores y la editorial, la *Ecological Society of America*, no se hacen responsables de las opiniones vertidas por los autores en las publicaciones de la ESA.

Los *Issues in Ecology* son una publicación oficial de la *Ecological Society of America* (la Sociedad Norteamericana de Ecología), la principal sociedad nacional de ecólogos profesionales. Fundada en 1915, la ESA tiene como meta promover la aplicación responsable de los principios ecológicos a la solución de los problemas ambientales. Para obtener más información, comunicarse con la Ecological Society of America, 1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC, 20006. ISSN 1092-8987

