

4. Consecuencias del cambio climático

4.1 ECOSISTEMAS Y PAISAJES ALTERADOS

El IPCC ha pronosticado que, como resultado de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura global, “en el transcurso de este siglo, la *resiliencia* de muchos ecosistemas (su capacidad natural de adaptación) probablemente se verá superada por una combinación sin precedentes de cambios en el clima y en otros motores de cambio global (especialmente, cambio de uso de la tierra y sobreexplotación), si las emisiones de gases con efecto invernadero y otros cambios continúan con el ritmo que actualmente llevan. Para el 2100, los ecosistemas se verán expuestos a niveles de CO² atmosférico sustancialmente más altos que en los pasados 650 000 años, y a temperaturas más altas que las de los últimos 740 000 años. Esto alterará la estructura, reducirá la biodiversidad y perturbará el funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas; a la vez que comprometerá los servicios que esos ecosistemas ofrecen actualmente” (Parry *et al.* 2007).

Se pueden identificar cuatro grandes respuestas ecológicas:

1. Cambios geográficos mayores (la expansión de los bosques boreales hacia la tundra, la expansión de la vegetación arbustiva en las praderas, etc.).
2. Cambios mayores en la composición debido a las grandes modificaciones climáticas (de bosque húmedo a seco, de praderas áridas a desierto, el cambio en el nivel del pH del mar).
3. Cambios mayores en los patrones de perturbaciones (más incendios, más sequías y más inundaciones).
4. Pérdida de especies debido a los desajustes en el calendario de las especies, a la competencia con especies nuevas en el ecosistema y al estrés directo.

Algunas de las implicaciones de estos cambios se analizan en las secciones siguientes. En general, los hábitats y especies más amenazados son aquellos que no tienen a dónde ir. Entre ellos están las comunidades en las cumbres de montañas, las especies que viven en fragmentos aislados de hábitat, las especies insulares y las que quedan atrapadas al subir el nivel del mar sin posibilidad de emigrar a la tierra firme.

Se han observado numerosos cambios en la distribución y abundancia de comunidades de plantas y tipos de hábitats. Hay cada vez más evidencias provenientes de todo el mundo de que las especies y ecosistemas se están transformando debido al cambio climático (Walther *et al.* 2002). Muchos de esos cambios son cíclicos y, por lo tanto, son más evidentes en latitudes templadas donde el inicio de las estaciones se puede monitorear fácilmente. En muchos países se han observado cambios en los patrones migratorios (Parmesan, 2006). En los trópicos,

algunos cambios son más evidentes en las regiones montañosas, donde las franjas de vegetación podrían estar subiendo por el incremento de la temperatura. En Costa Rica, por ejemplo, los cambios en la precipitación atribuidos al cambio climático se han relacionado con las epidemias de hongos y con una catastrófica disminución en las poblaciones de anfibios y lagartijas anolis (*Norops* sp.; Pounds, Fogden y Campbell, 1999).

Además de los efectos directos producidos por la variación de la temperatura o de la precipitación sobre los ecosistemas, la respuesta humana al cambio climático también causa un impacto. La intención de reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, por ejemplo, hace que se incremente la demanda por los biocombustibles. Algunos temen que esto conducirá a que aumente la competencia por los terrenos donde se cultivan los alimentos, con el consiguiente riesgo para la seguridad alimentaria, especialmente de los más pobres (Recuadro 9). La pérdida de cultivos debido a los cambios climáticos hará que se deforesten nuevos terrenos actualmente bajo cobertura natural o seminatural. Además, las condiciones más calurosas inducirán a que se busque cultivar en las faldas de las montañas o a mayores altitudes.

RECUADRO 9

El incremento en la demanda de biocombustibles provoca la conversión masiva de los bosques

La demanda global por ciertos cultivos ha sido impulsada en los últimos años, debido a que algunos gobiernos se han puesto como meta reemplazar un porcentaje de los combustibles fósiles usados cada año por biocombustibles. A nivel mundial, los niveles de CO² se incrementan porque la quema de carbón, gas y petróleo emite a la atmósfera el carbono que las plantas fijaron hace millones de años. En teoría, la energía producida con biomasa y los vehículos alimentados con bioetanol producido a partir de maíz (*Zea mays*) o caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y biodiesel de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) o de semilla de colza (*Brassica napus*) son menos dañinos para el ambiente porque, aunque también generan CO², este proviene de plantas que forman parte del ciclo actual de carbono (es decir el carbono que poseen fue recientemente tomado de la atmósfera por fotosíntesis). Las cuentas del carbono, sin embargo, incluyen todas las emisiones resultantes de la producción del biocombustible –una tarea que ejecuta el programa Evaluación del Ciclo de la Vida. Donde se han destruido bosques naturales para instalar plantaciones de cultivos para la fabricación de biocombustibles, se estima que las emisiones resultantes a mediano plazo son mayores a aquellas producidas en el caso que se hubiera continuado a usar combustibles fósiles. El tiempo de reemplazo (tiempo que se tarda en reemplazar el carbono que se liberó durante el establecimiento de la plantación) es crítico (UNEP, 2009a). Para algunos ecosistemas, ha sido calculado 420 años como el tiempo de reemplazo antes de que el biocombustible “pague” la deuda de carbono en que se incurrió con la instalación de plantaciones bioenergéticas (Fargione et al. 2008). El desplazamiento de cultivos alimentarios para producir biocombustibles intensifica la presión sobre los ecosistemas naturales y exacerba la escasez de alimentos.

Continúa

Recuadro 9 continuación

En el futuro, parece probable que la madera se convertirá en una materia prima cada vez más importantes para la producción de biocombustibles. Si los bosques convertidos en plantaciones se ubican en turberas, como el hábitat del orangután en algunas partes de Indonesia, las emisiones resultantes de gases con efecto invernadero serán aun más impresionantes. No solo se liberará el carbono secuestrado en los bosques sino que, al secarse las turberas, estas se descompondrán y liberarán el carbono almacenado a lo largo de miles de años (Page et al. 2011). Las emisiones provenientes de estas fuentes son las principales responsables de que Indonesia sea el tercer gran emisor de gases con efecto invernadero, después de Estados Unidos y China, no obstante tenga una industria relativamente pequeña. La UNEP concluye: *“La producción y uso de biocombustibles de aceite de palma en turberas deforestadas de los trópicos (...) puede provocar un aumento significativo en las emisiones de gases con efecto invernadero: hasta 2 000 por ciento o más, en comparación con los combustibles fósiles. Esto se debe principalmente a la liberación de carbono de los suelos y de las tierras. Sin embargo, si los cultivos de palma aceitera o de soya se establecieran en terrenos degradados o abandonados, se tendría una contribución positiva contra la emisión de gases con efecto invernadero”* (UNEP, 2009a).

La presión económica para que se incremente la producción de biocombustibles sigue liderando la conversión de los bosques. En Sarawak, Malasia, donde ya existen casi un millón de hectáreas de bosque tropical convertidas en plantaciones de palma aceitera, el gobierno planea doblar sus plantaciones a 2 millones de ha para el 2020. (Wong, 2010). El Ministro Malayo de Desarrollo, Datuk Seri James Masing, declaró que las plantaciones se instalarán principalmente en terrenos en los que tienen derechos ancestrales las comunidades indígenas y los cuales cubren 1.5 millones de ha. Esto ha generado conflictos entre los industriales y los usuarios tradicionales del bosque, como los Penan. Según este informe, el gobierno ya ha aprobado más de 720 000 ha de terrenos bajo derechos consuetudinarios para esta empresa conjunta. Un nuevo estudio económico (Wich et al. 2011) asegura que el valor del carbono fijado por hectárea en el hábitat del orangután es hasta tres veces más alto que lo que se obtendría con las plantaciones de palma aceitera.

RECUADRO 10

Las altas montañas de África Oriental no solo pierden sus casquetes glaciares

Las montañas de África Oriental juegan un papel crucial en la provisión de agua potable; sin embargo, varias de ellas ya se encuentran en peligro debido al cambio climático.

El área de captación en la parte alta del monte Kenia abarca la zona afro-alpina protegida por el Parque Nacional Monte Kenia (cerca de 70 000 ha) y la Reserva Forestal Nacional Monte Kenia (cerca de 200 000 ha). Esta amplia zona es una de las cinco fuentes de agua potable que abastecen a la población del país, y es, además, el hogar de una biodiversidad de importancia nacional y global. Seis especies de grandes mamíferos, escasas o amenazadas, habitan allí: la población más grande de elefantes

Continúa

Recuadro 10 continuación

africanos (*Loxodonta africana*) que viven en bosques; el rinoceronte negro (*Diceros bicornis*), de los que solo quedan unos pocos individuos; el leopardo (*Panthera pardus*); el hilóquero (*Hylochoerus meinertzhageni*), un cerdo salvaje de gran tamaño; el bongo de montaña (*Tragelaphus euryceros isaaci*), una especie de antílope africano en peligro crítico y el duiker de frente negra (*Cephalophus nigrifrons hooki*). También hay muchos ungulados, primates, carnívoros y pequeños mamíferos, y 53 de las 67 especies de aves presentes en los biomas de tierras altas africanas que existen en Kenia. Entre ellas, el poco conocido y amenazado estornino de Abott (*Cinnyricinclus femoralis*); (Kenya Wildlife Service, 2010; Bird Life International, 2011).

Las áreas protegidas en el área de captación alta están separadas del área de captación media por zonas de transición y de amortiguamiento de uso múltiple a lo largo del perímetro externo de la Reserva Nacional. La integridad de todo el ecosistema tiene beneficios directos para el uso agrícola de las áreas alrededor, si se protegen de la degradación y la erosión y sus severos impactos negativos como: sedimentación, deslaves y pérdida de fertilidad de los suelos. Algunos estudios han calculado que la presencia del bosque en el monte Kenia (Categoría II, 58 800 ha y Reserva de la Biosfera, 71 759 ha) ha ahorrado a la economía del país más de 20 millones de USD. mediante la protección de las áreas de captación de dos de los principales sistemas fluviales del país: los ríos Tana y Ewaso Ngiro (Emerton, 2001).

El cambio climático empieza a afectar las áreas de captación en el monte Kenia, lo cual se muestra con la reducción de los casquetes glaciares y la disminución en la cantidad de lluvia. Durante el siglo XX, los glaciares del monte Kenia perdieron el 92 por ciento de su masa y en los últimos años se han reducido drásticamente tanto en volumen como en extensión. En el pasado reciente, el derretimiento de la nieve alimentaba los ríos y mantenía la humedad en el área de influencia, con lo que se moderaba la época seca. En la actualidad, los periodos de derretimiento de la nieve son más cortos y ocurren anticipadamente, lo que trae consecuencias para los ríos y manantiales: el caudal se reduce en la época seca y la tierra se vuelve más seca e improductiva. El bosque se ve afectado por incendios más frecuentes, en tanto que la regeneración de la vegetación se vuelve más lenta. Según los campesinos locales, esta situación hace que aumenten los conflictos entre los humanos y la fauna silvestre debido a la proximidad de los asentamientos humanos a las áreas protegidas (UNEP 2009b).

La falta de agua de deshielos y la degradación de la vegetación ha hecho que la fauna silvestre emigre aguas abajo en busca de agua y alimento; en consecuencia, los conflictos son ahora la preocupación principal de los miembros de la Asociación para la Conservación de los Bosques del Este del Monte Kenia, en el distrito de Meru South (IFAD, 2009).

Ante esta situación, el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola del Proyecto Piloto Monte Kenia del Este, comprometido con el manejo de los recursos naturales y con un proyecto asociado financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) están impulsando diversos mecanismos para reducir los conflictos entre la fauna silvestre y los seres humanos por el uso de los recursos y para limitar los daños a los cultivos agrícolas. Estas medidas incluyen el desarrollo de una estrategia a largo plazo de corredores para la migración y el establecimiento de barreras para

Recuadro 10 continuación

la fauna –por ejemplo, el uso de cercas eléctricas alimentadas por energía solar y la formación de capacidades en las comunidades para que les den el mantenimiento necesario. También se están tomando medidas para rehabilitar ciertas áreas naturales y plantaciones forestales, y se está dando capacitación al personal del Servicio de Áreas Silvestres de Kenia para que sean capaces de resolver los conflictos. Estas medidas ayudarán a la interacción pacífica entre la fauna y las comunidades en los alrededores de las áreas protegidas (FIDA, 2009; FMAM, 2004; República de Kenia, 2002).

En la vecina República Unida de Tanzania, los bosques montanos del Kilimanjaro son dominados por vegetación perennifolia de bosque nuboso que –mediante la interceptación de neblina y filtración hacia aguas subterráneas y/o corrientes juega un papel determinante para la provisión de agua a los ecosistemas aguas abajo. En los últimos 70 años, el Kilimanjaro ha perdido más de un tercio de su cobertura arbórea debido a la deforestación en las partes bajas y a la quema en las partes altas; en las últimas tres décadas, los incendios causados por el cambio climático han provocado la pérdida de casi 150 km² de bosques (Hemp, 2009).

Un estudio sobre los cambios de vegetación en las laderas del Kilimanjaro durante los últimos 30 años, a partir de parcelas fijas y análisis de imágenes de satélite revelaron cambios en los regímenes de los incendios. El fuego altera la composición de especies y la estructura de los bosques, lo que está afectando a los ecosistemas del Kilimanjaro de manera más severa que el derretimiento de los glaciares. De hecho, en condiciones naturales, los bosques del Kilimanjaro por encima de los 1 300 m reciben casi 1 600 millones m³ de agua al año: el 95 por ciento proviene de la lluvia y el 5 por ciento de la interceptación de la neblina. Como resultado, cerca de 500 millones m³ de agua (31 por ciento) se filtra hacia las aguas subterráneas o a las corrientes. Los cambios en la composición de la vegetación y en los regímenes de precipitación han reducido los bancos de niebla casi a cero. La pérdida de 150 km² de bosques desde 1976 debido a los incendios representa una pérdida anual estimada en 20 millones m³ de agua captada de la niebla. Esto equivale al abastecimiento anual de agua de 1.3 millones de personas que habitaban en la región del Kilimanjaro (13 209 km²) en el 2002 (Hemp, 2009; National Bureau of Statistics, 2006).

Los datos meteorológicos existentes sugieren que la precipitación media anual en el área se redujo en un 39 por ciento en los últimos 70 años, y que las temperaturas máximas diarias se incrementaron a razón de más de 2 °C por década. Junto con la mayor radiación solar resultante de la disminución de la cobertura nubosa, estos factores son responsables de la intensificación de los incendios (Hemp, 2009).

El fuego no solo transforma la cobertura del suelo sino que también mantiene los nuevos tipos de suelo, con lo que cambia completamente la composición de especies vegetales y el papel que juegan en el ecosistema. Debido a la reducción de las precipitaciones en las principales zonas nubosas, el fuego ha provocado una fuerte discontinuidad en la composición y estructura de los bosques subalpinos de 20-30 m de alto, a 2800-3000 m de altitud. Especies no nativas, como *Erica excelsa*, se han vuelto dominantes y forman densos rodales monoespecíficos de 10 m de altura. Es claro que la disminución de las lluvias trae implicaciones significativas en la fauna nativa, aunque todavía no han sido bien estudiadas. La mayoría de los incendios ocurren debido al descuido humano (p.ej. los colectores de miel o los cazadores furtivos), pero no serían tan devastadores si el clima no fueran tan seco (Hemp, 2009).

Las islas son las que están en mayor riesgo por los cambios en el uso de la tierra, tanto si están rodeadas por agua o por un hábitat terrestre diferente, pues no cuentan con las posibilidades de que las especies se puedan mover hacia otros lugares. Las actividades humanas aumentan fuertemente el nivel de riesgo por la reducción y fragmentación de los hábitats y por la consiguiente formación de islas ecológicas rodeadas por paisajes dominados por actividades humanas, tales como terrenos agrícolas o plantaciones forestales intensivas. Para muchas especies, y de hecho, para comunidades ecológicas completas, estas barreras construidas por el hombre (físicas, químicas y ecológicas) restringen a corto plazo el movimiento natural de animales individuales y el cambio gradual de poblaciones de plantas y pequeños animales territoriales a mediano plazo.

Las inundaciones costeras y la salinización constituyen otro de los efectos del cambio climático a nivel de paisaje, a medida que sube el nivel del mar. Los ecosistemas terrestres de tierras bajas en los trópicos estarán cada vez más expuestos a las tormentas a medida que los arrecifes coralinos desaparezcann. El deterioro de los arrecifes es el resultado de la acidificación del océano y del blanqueamiento del coral debido a la presencia de CO² disuelto en el agua, así como al incremento en la temperatura del agua superficial (Hays, Richardson y Robinson, 2005).

4.2 CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN, COMPOSICIÓN E INTERACCIONES ENTRE LAS ESPECIES

La distribución de las especies está determinada por la temperatura, la lluvia, las barreras geográficas y otros factores ecológicos –como las formaciones geológicas subyacentes que no serán afectados por el cambio climático. En lugares donde la temperatura y la precipitación son los principales factores limitantes para la distribución de una especie, se puede anticipar que los mapas de distribución cambiarán igualmente. A medida que en cada estación, las isotermas del hemisferio norte se mueven más hacia el norte y las del sur más hacia el sur, las poblaciones de plantas y animales que buscan condiciones óptimas harán lo mismo, suponiendo que hay espacio para moverse y que la especie está en capacidad de hacerlo



ELAINE R. WILSON

La distribución del lúgano americano (Carduelis pinus) se ha movido hacia el norte en casi 58 km.

(Recuadro 11). Los individuos de especies animales con capacidad de movimiento pueden emigrar a medida que sus condiciones ecológicas óptimas cambian, pero las plantas y animales sésiles no. La distribución de aquellos con ciclos de vida relativamente cortos también avanzará pues la selección natural favorece a los que se ubican en el frente de las condiciones cambiantes y reduce las tasas de

RECUADRO 11

Las aves de Europa y Norte América muestran similares cambios hacia el norte

En el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Thomas y Lennon (1999) compararon la distribución de pájaros entre 1968-1972 y 1988-1991. Ellos descubrieron que las especies del sur se habían movido hacia el norte, en un promedio de 18,9 km durante los 20 años de la evaluación (es decir 0,945 km/año). Este cambio fue válido para las especies del sur que incrementaron en número; las poblaciones que se redujeron también habían modificado su límite norte, pero un poco más al sur. Para las especies del norte, no hubo un cambio sistemático en una dirección u otra.

Con el mismo método, Brommer (2004) comparó la distribución de aves en Finlandia entre 1974-1979 y 1986-1989. Encontró que los pájaros del sur se movieron hacia el polo en aproximadamente la misma distancia (18,8 km) pero en la mitad del tiempo (12 años, a razón de 1,567 km/año). Esta diferencia indica que las especies norteñas de alta latitud –como las de Finlandia son más sensibles al cambio climático que las de Europa Central. Al igual que en el estudio de Thomas y Lennon (1999), las especies del norte no mostraron márgenes de cambio significativos.

Un patrón de cambio similar se ha detectado en Norteamérica. Hitch y Leberg (2007) compararon la distribución de aves entre 1967-1971 y 1998-2002. De nuevo, las especies del sur mostraron cambios más hacia el norte (2,35 km/año). El mayor margen de cambio en Norteamérica se puede deber al calentamiento más fuerte en el continente. Al igual que en los estudios británico y finlandés, las especies del norte no mostraron tendencias generales en los cambios de distribución.

Un estudio comparativo de la distribución de especies de aves en el estado de Nueva York, Estados Unidos, entre 1967-1971 y 1998-2002 es el único que ha encontrado cambios significativos en las especies del norte (Zuckerberg, Woods y Porter 2009). De las 44 especies norteñas evaluadas, 22 modificaron su límite sur hacia el polo en 11,4 km en promedio. Entre esas especies están el lúgano americano (*Carduelis pinus*), el tordo arrocero (*Dolichonyx oryzivorus*) y la reinita cachetigris (*Vermivora ruficapilla*), con cambios de límites de 57,5 km, 39,0 km y 15,0 km, respectivamente.

En general, estos estudios documentan el movimiento hacia el norte en la distribución de las especies de pájaros del sur provenientes de distintas regiones geográficas. Ese movimiento parece ser un fenómeno común, independientemente del hábitat, conducta migratoria y estrategias de alimentación. Dado que la temperatura influye en el desplazamiento y el éxito de la crianza, migración y distribución de especies, es muy probable que el cambio climático sea el factor que impulsa esos movimientos (Brommer, 2004; Thomas and Lennon, 1999).

supervivencia de los que habitan en el borde sub-óptimo del hábitat en movimiento. Es evidente que, en estas circunstancias se deberán reconsiderar los límites de las áreas protegidas, establecidos para proteger especies o hábitats en particular (p.ej., Hannah *et al.* 2007 para hábitats en México y Suráfrica).

Las especies arbóreas con tiempos de maduración muy lentos y estrechos rangos de temperatura óptima probablemente no sobrevivirán si la velocidad del cambio climático y de los cambios ecológicos asociados es más rápida que su ciclo de vida. Las plántulas en el borde correcto de la dirección de cambio probablemente crecerán pero no alcanzarán la edad reproductiva antes de que el incremento en la temperatura haga que se pierdan las condiciones óptimas.

La vegetación alrededor de las montañas tenderá a moverse montaña arriba, en respuesta al incremento en la temperatura, suponiendo que los patrones de lluvia no cambiarán significativamente (Recuadros 4 y 5). Esto provocará la extinción de especies endémicas adaptadas a las condiciones de cumbres aisladas que ya no tendrán a donde ir.

Tanto las barreras naturales como las construidas representan también un problema para el movimiento de las especies debido a las condiciones cambiantes. La mayoría de las especies terrestres en las islas no podrán emigrar –excepto pájaros, murciélagos e insectos voladores en busca de nuevos hábitats.

El incremento de la temperatura debido al cambio climático es responsable de la expansión de varias especies de insectos hacia mayores altitudes y hacia los polos y de cambios en la fenología estacional, lo que causa un mayor desarrollo y mayores tasas de alimentación. Dos tercios de las 35 especies de mariposas encontradas en Europa se han movido hacia el norte en rangos que van desde 35 km a 240 km (Parmesan *et al.* 1999). En la región del Mediterráneo, esto ha hecho que aparezcan plagas de insectos, como la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*; Recuadro 17), en sitios nunca antes afectados (Battisti, 2008). El insecto ha logrado un alto desempeño y poca mortalidad debido a la desaparición de sus enemigos naturales en sus nuevas áreas de distribución y la existencia de especies hospederas nuevas o usuales. En las Montañas Atlas se han dado ataques severos de orugas de procesionaria en bosques de cedro. Este caso merece una especial atención por las implicaciones que pudiera tener en el manejo de los bosques y las plantaciones forestales en Europa, así como en los árboles ornamentales.

El cambio en la provisión de alimento para las especies de la fauna cambiará también la distribución de las especies, estimulando a algunas poblaciones y reprimiendo a otras. La disminución de caribús o renos (*Rangifer tarandus*) en partes de la región boreal norte es consistente con las predicciones sobre los impactos del cambio climático en la provisión de alimento (Vors y Boyce, 2009);(Recuadro 25).

4.3 CONFLICTOS EN LA INTERFAZ SERES HUMANOS-FAUNA SILVESTRE-GANADO

La resolución de conflictos entre la fauna silvestre y los humanos que comparten una misma área es un tema clave en el manejo de los recursos naturales y la vida silvestre. Las situaciones conflictivas se han acentuado en las últimas décadas al

aumentar la densidad de las poblaciones humanas y la usurpación de hábitats silvestres por parte de dichos pobladores (FAO, 2004; Lamarque *et al.* 2009). Las economías locales y los usos de la tierra son tradicionalmente los principales factores que provocan conflictos, particularmente en las comunidades rurales con economías de subsistencia. Donde se establecen plantaciones a gran escala, desaparecen la mayoría de las especies pero continúan los conflictos fauna silvestre-humanos a lo largo de cualquier hábitat natural sobreviviente.

Los conflictos son comunes en todas las áreas donde coexisten poblaciones humanas y silvestres y donde se comparten recursos limitados. El cambio climático incide indirectamente en la intensidad y frecuencia de tales conflictos al modificar los ambientes y su productividad y al favorecer algunas especies que causan problemas a los humanos. Lo anterior junto con el aumento de la densidad de las poblaciones humanas agrava los conflictos en todo el mundo (Recuadros 2, 3 y 10).

Los conflictos son aun más serios donde la ganadería y la agricultura son importantes para el sustento de las familias rurales. En las comunidades rurales de los países en desarrollo, la competencia con los animales salvajes por los recursos naturales es intensa y la gente es más vulnerable a las pérdidas económicas. Las sequías severas hacen que disminuya la productividad de los recursos naturales y además están asociadas con un considerable incremento de los conflictos fauna silvestre-humanos (Lamarque *et al.* 2009). Considerando las tasas de crecimiento de las poblaciones humanas, las tendencias del cambio climático y el incremento en la demanda por recursos y por acceso a la tierra, es claro que los conflictos fauna silvestre-humanos continuarán en el futuro.

En África, las áreas tradicionales de migración y dispersión de la fauna están ocupadas ahora por poblaciones humanas que han crecido exponencialmente. Debido a las condiciones climáticas cambiantes, los animales salvajes se trasladan a esas áreas y estallan los conflictos. La consecuencia normal es la muerte del animal. Los humanos también invaden las reservas silvestres en busca de recursos naturales –por lo general, forraje para el ganado con lo que se acrecientan los conflictos entre animales domésticos y salvajes.

Uno de los impactos fundamentales de estos cambios es la amenaza a la conectividad entre poblaciones silvestres. Por ejemplo, el Parque Nacional Nairobi sobrevive a la sombra de la ciudad capital de Kenia, con una población saludable de grandes mamíferos pero solo porque está interconectado con otros hábitats adecuados, como el Área de Conservación Kitengela y las llanuras de Athi-Kapiti. Sin embargo, la creciente presión agrícola está poniendo en riesgo la conectividad. Ya se han iniciado negociaciones para asegurar que los corredores silvestres se mantengan abiertos, pero las presiones son cada vez mayores.

La mitigación de conflictos entre seres humanos y animales exige de intervenciones en diferentes niveles, desde lo institucional hasta lo local y personal. Los animales domésticos no pueden ser dejados solos y deben ser protegidos mediante cercas y otras medidas eficientes. En los tiempos de mayores presiones por los recursos limitados, la capacidad de las comunidades rurales locales para coexistir con la vida silvestre se podría reducir sustancialmente (Dickman, 2008). Por lo general,

las pérdidas por ataques de carnívoros son menores que las causadas por otros factores, incluyendo la mortalidad natural de los animales domésticos. Sin embargo, la percepción del daño es mayor que la pérdida misma –particularmente cuando la gente está bajo presión por otros factores como los cambios en su ambiente– (Dickman, 2008).

Las temperaturas más calientes reducen la productividad de la vegetación en ambientes semiáridos; en estas áreas la fauna silvestre compite con los animales domésticos por agua y comida. En el norte de Kenia, las sequías más largas y frecuentes han devastado con las poblaciones de ganado de pastoreo en las últimas décadas, aumentando la presión por los limitados recursos disponibles, los cuales tienen que ser compartidos con la fauna silvestre (Conservation Development

RECUADRO 12

Las inundaciones agravan los conflictos entre agricultores y cocodrilos

Las regiones del sur de Malawi han sido afectadas fuertemente por inundaciones que han destruido poblados y cultivos. En 2010, el Departamento de Manejo de Desastres reportó que 14 distritos del país habían sido clasificados como zona expuesta a inundaciones y que el número de personas afectadas por las inundaciones había aumentado considerablemente desde 1990, con un 15 por ciento de la población rural viviendo actualmente en la periferia de alto riesgo a inundaciones (United Nations in Malawi, 2010).

El río Shire, único desagüe del lago Malawi, es la principal fuente de agua para la gente que vive en las riberas del río, pero es también el hogar de una importante población de cocodrilos del Nilo (*Crocodylus niloticus*). Las fuertes lluvias permitieron que los cocodrilos se desplazaran dentro de las áreas inundadas, cerca de los pueblos habitados. Las inundaciones del río Shire provocaron inundaciones que arrasaron con pequeñas aldeas, convirtiéndolas en pantanos que rápidamente fueron colonizados por los cocodrilos; haciendo imposible que los pobladores locales pudieran regresar y recuperar lo que había quedado de sus casas (Kalowekamo, 2000).

La presencia de los cocodrilos en el sur de Malawi ha sido desde hace tiempo una amenaza para los pobladores. Las autoridades habían autorizado la caza selectiva de 800 animales al año pero, después de firmar el Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de la Fauna y Flora Silvestres (CITES), la caza se ha restringido a 200 al año. En consecuencia, los pobladores locales piensan que las autoridades gubernamentales no están haciendo lo suficiente para resolver este conflicto. Según la Resolución Conf. 11.16 de CITES sobre cría y comercialización de especímenes de especies transferidas al Apéndice II, criados en granjas, y con base en la experiencia exitosa de granjas de cocodrilos en el norte del país, el gobierno ha alentado el establecimiento de nuevas granjas en el sur de Malawi. Esto podría hacer que la amenaza que los cocodrilos representan actualmente para la población se convierta en una oportunidad para los empresarios locales. Dos de las cuatro granjas de cocodrilos establecidas en Malawi –una en el distrito de Thyolo y la otra en el distrito de Chikwawa han iniciado exportaciones en el 2011 (CITES, 2000; Semu-Banda, 2007; Tenthani, 2001).

Centre / International Institute for Sustainable Development and Safeworld, 2009). Esta situación ha reducido la tolerancia a los daños causados por la fauna silvestre y ha aumentado las represalias contra los predadores.

4.4 INCENDIOS FORESTALES

El cambio climático también será responsable por el aumento en la frecuencia y severidad de los incendios forestales. La temperatura, en particular, así como la humedad atmosférica, el viento, la sequía y las tormentas eléctricas tendrán todos una fuerte influencia en la ocurrencia de incendios forestales (BC Ministry of Forests and Range Wildfire Management Branch, 2009; Williamson, *et al.* 2009). Estos serán especialmente graves en las áreas donde ya constituyen una amenaza: el sur de África, las Américas, Australia y partes de Europa (Francia, Italia, Portugal y España) (Bosomworth y Handmer, 2007; Miller, 2007). Específicamente, el cambio climático aumentará la temporada de incendios, el número y severidad de eventos y la extensión del área quemada (BC Ministry of Forests and Range Wildfire Management Branch, 2009; Williamson *et al.* 2009; Wotton y Stocks, 2006). Se ha calculado, por ejemplo, que el área quemada en Canadá se incrementará entre 74-118 por ciento anualmente (Williamson *et al.* 2009), y que la temporada de incendios llegará hasta 30 días (Wotton y Stocks, 2006).

Los incendios no solo serán más intensos y frecuentes, sino que, además, se extenderán hacia ecosistemas que tradicionalmente no se incendiaban. Al no estar adaptados al fuego, estos ecosistemas sufrirán daños mayores y de más larga duración. Anualmente, el fuego consume millones de hectáreas de bosques en el mundo y causa la pérdida de biodiversidad y de vidas humanas y animales (FAO, 2005a). Si bien algunos bosques y pastizales han evolucionado positivamente en respuesta a incendios frecuentes debidos a causas humanas y naturales, y han logrado mantener su equilibrio dinámico y alta biodiversidad, otros son afectados negativamente, con la consecuente destrucción o degradación a largo plazo (Goldammer 1998, 1999; FAO 2005a; Myers 2006).



JAE C. HONG/IAAP

Un venado bura (Odocoileus hermionus) trata de escapar de un incendio forestal.

RECUADRO 13
Los incendios desastrosos del 2009 fueron alimentados por el cambio climático

En febrero 2009, después de una sequía sin precedentes, Australia sufrió el incendio forestal más desastroso registrado en toda su historia. La mortal combinación de temperaturas abrasadoras y vientos secos del noroeste provenientes de las regiones desérticas del centro de Australia provocaron que los incendios se extendieran sobre 400 000 ha. Más de 2000 casas fueron destruidas y 173 personas murieron en la conflagración. Se piensa que murieron más de un millón de animales silvestres y 13 000 animales de granja como ovejas, ganado de carne y leche, cabras, aves de corral y cerdos. Muchos animales de compañía también perdieron la vida. Si bien no se logró determinar el impacto real de los incendios en los animales, es claro que las poblaciones de algunas de las especies de plantas y animales ya en peligro de extinción en Victoria fueron devastadas, por lo que su supervivencia a futuro es de pronóstico reservado. Además de los problemas de conservación, el fuego dejó innumerables animales severamente heridos. Muchos de ellos sufrieron quemaduras en sus patas traseras o delanteras, y muchos otros padecieron quemaduras más graves. La mayoría de estos animales fueron sacrificados, a menos que solo tuvieran quemaduras menores que les permitieran rehabilitarse rápidamente y ser liberados. Además, se presentaron miles de animales silvestres y jóvenes huérfanos que murieron de hambre y tantos otros que sufrieron por inhalación de humo, huesos rotos, daños en los ojos, conmociones y deshidratación (Kameniev, 2010; Vox News Engine, 2009).

Los incendios forestales son comunes en Australia y son un factor que regula los ecosistemas naturales. La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria declaró en el 2007 que los incendios en Australia, *"tenderían a aumentar en intensidad y frecuencia"* debido al incremento constante de las temperaturas durante las próximas décadas. Según un estudio del Gobierno australiano, para el 2020 se tendría un incremento superior al 65 por ciento en la cantidad de días de peligro extremo de incendio, en comparación con 1990. La reducción en la cantidad de lluvia en las regiones sureste, suroeste y central de Australia, los cambios en la velocidad de los vientos, el calentamiento continuo y la reducción de la humedad son condiciones que se deberán registrar en un futuro cercano. Estas condiciones probablemente acrecentarán el peligro de incendios y acortarán los intervalos entre eventos –especialmente en el sur de Australia. En particular, la vegetación esclerófila y la biodiversidad asociada en el sureste y suroeste estarán en mayor riesgo que la vegetación de sabanas arboladas en el norte de Australia (Steffen et al. 2009; Walsh, 2009; The Wilderness Society Victoria, 2009).

Se nombró una comisión para investigar las causas de incendios forestales devastadores. El informe resultante resaltaba la necesidad de actualizar las políticas nacionales de control de incendios forestales, incluyendo mejores sistemas para la detección de incendios y técnicas de control, así como monitoreo, alertas tempranas, prevención y preparación (2009 Victorian Bushfires Royal Commission, 2010). En cuanto a la fauna silvestre en el suroeste de Australia, uno de los colaboradores del informe concluyó que, *"Los cambios en los regímenes de incendios y la reducción*

Continua

Recuadro 13 continuación

de las precipitaciones podrían amenazar a especies particulares y tipos funcionales, especialmente a especies de plantas serótinas que no rebrotan (...) y endémicas de distribución restringida en las comunidades de plantas kwongan". Además agregó, "Las sinergias entre amenazas probablemente reforzarán las tendencias actuales de reducción de la biodiversidad y nos llevarán hasta puntos de inflexión mucho más rápidamente de los que suponíamos" (Yates, 2009).

Entre 1960 y el 2000, los incendios forestales quemaron en promedio 380 millones ha/año (rango de 270-570 millones ha/año) a nivel mundial (Schultz *et al.* 2008). Estos incluyen incendios generados por causas naturales como los rayos, y por causas humanas como las quemaduras para limpiar terrenos agrícolas que se salieron de control. Los incendios forestales también pueden provocar cambios en el clima a nivel regional. En bosques perennifolios tropicales, por ejemplo, un alto porcentaje del dosel es destruido a menudo por incendios de baja intensidad (Barlow *et al.* 2003; Cochrane y Schulze, 1999). Puesto que el agua de la transpiración constituye la mayor parte, si no la totalidad, de la humedad normalmente alta en los sistemas forestales tropicales (Makihara *et al.* 2000), la mortalidad de los árboles reduce la cantidad de agua transpirada y aumenta la tasa de secamiento en estos bosques (Holdsworth y Uhl, 1997), volviéndolos más susceptibles a nuevos incendios. Alrededor del 50 por ciento del agua de lluvia en la cuenca del Amazonas se puede reciclar como humedad evapotranspirada (Salati y Vose, 1984). La mortalidad de la vegetación provocada por el fuego, en consecuencia, puede hacer que el clima regional se vuelva más árido. Los aerosoles también interfieren con la precipitación normal y reducen la cantidad de lluvia (Ackerman *et al.* 2000; Andreae *et al.* 2004; Rosenfeld, 1999), con lo que este efecto se exacerba.

Algunos climatólogos piensan que las anomalías causadas por la Oscilación del Sur El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés) se volverán más frecuentes a medida que los gases con efecto invernadero se continúen acumulando en la atmósfera (Timmermann *et al.* 1999; Trenberth y Hoar, 1997; Hansen *et al.* 2006). Un ENSO caliente provoca años húmedos, con mayor crecimiento de plantas herbáceas que alimentarán los incendios durante los años de La Niña (Miller, 2007). Estas anomalías causaron la sequía de 1998 con posteriores incendios en toda Indonesia y eventos similares en la Amazonia (Alencar, Nepstad y Vera Díaz, 2006; Cochrane *et al.* 1999; Cochrane y Laurance, 2002). Los incendios en el sotobosque podrían jugar un papel aun más importante en el futuro de los ecosistemas sensibles al fuego, a medida que eventos climáticos cada vez más extremos afecten a los bosques cada vez más degradados (Balch *et al.* 2008). Estos incendios también afectarán el ciclo hidrológico, la carga de contaminantes en la atmósfera y la dinámica de la circulación atmosférica (FAO, 2005a). Se sabe poco sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales y subtropicales a los cambios antrópicos en el clima y la atmósfera. Un futuro con sequías severas más intensas y frecuentes podría crear las condiciones para que el fuego se extienda y se acorten los periodos de retorno en esos ecosistemas, lo que posiblemente causaría una mayor degradación de los bosques regionales.



MARK PARDEW/AP

*Un bombero ofrece agua a un koala (*Phascolarctos cinereus*) después de los desastrosos incendios en Australia.*

Los efectos de los incendios forestales en la fauna local también pueden ser severos. Los animales que se mueven lentamente son los que corren el mayor riesgo de morir por causa de las llamas y del humo. Escapar del incendio es solo el primer paso para la supervivencia. Al cambiar de hábitat, los animales desplazados podrían no encontrar alimento, o una fuerte competencia por territorio o acceso a refugio y, en consecuencia, morir de hambre o por depredación (Cochrane, 2002). Por ejemplo, los incendios en las sabanas causan poco impacto directo en las hormigas debido a su estructura colonial y de nidos subterráneos, pero sí son muy sensibles a los cambios en hábitat y microclima después del incendio (Anderson *et al.* 2003). No obstante, estos incendios y otros disturbios actúan como fuerzas selectivas a nivel de organismos individuales, ya sea directamente, al afectar su capacidad de mantener sus procesos vitales, o indirectamente, al alterar las condiciones de su hábitat (Gill, 1975, 1981; Noble y Slatyer, 1980, 1981; Rowe, 1983; Ryan, 2002). Para los individuos, los incendios pueden tener efectos benéficos, dañinos o neutrales. A nivel de comunidad, los efectos del incendio pueden ser uniformes en algunos tipos de ecosistemas o en regiones pequeñas. En muchos casos, sin embargo, la concentración de materiales combustibles hace que el comportamiento del incendio sea heterogéneo. La presencia de combustibles, a la vez, resulta en una supervivencia variable espacialmente y reclutamiento heterogéneo después del evento, lo que refuerza el cuadro original de concentración de combustibles (Bond y van Wilgen, 1996).

Como se ve, los incendios son uno de los motores claves de los ecosistemas. Si en verdad queremos entender el cambio climático, el manejo de la vida silvestre, la conservación de la biodiversidad y la salud y seguridad humanas, debemos mejorar

e integrar nuestros conocimientos sobre regímenes de incendios, herbivoría, clima, uso de la tierra y recursos económicos. La consolidación de ese conocimiento para diferentes ecosistemas y regiones geográficas sigue siendo un reto. Si no se logra resolver a corto plazo el desafío que la adaptación al cambio climático/incendios forestales significa, las amenazas para la sociedad y la naturaleza en años venideros simplemente serán mayores.

4.5 SALUD Y ENFERMEDAD DE LA FAUNA SILVESTRE

Se definen como ‘enfermedades infecciosas emergentes’ (EIE) las infecciones que han aparecido recientemente en una población o han existido desde antes pero cuya incidencia o distribución geográfica se ha incrementado rápidamente (Morens, Kolkers y Fauci, 2004). Desde 1940, la ocurrencia de EIE se ha aumentado significativamente y han aparecido más de 300 enfermedades infecciosas en humanos (Jones *et al.* 2008), la mayoría de ellas causadas por virus (Taylor, Latham y Woolhouse, 2001). Más del 60 por ciento de las EIE son de origen zoonótico (Jones *et al.* 2008) y en la última década del siglo XX las EIE zoonóticas constituyeron el 52 por ciento de todas las EIE (Taylor, Latham y Woolhouse, 2001). Entre las EIE zoonóticas que aparecieron desde la década de 1940, la mayoría de los eventos se originaron en la fauna silvestre (71,8 por ciento) y su incidencia continúa aumentando (Jones *et al.* 2008). El virus del Nilo occidental, SARS, y la influenza aviar altamente patológica son, evidentemente, enfermedades originadas en la fauna silvestre, que han atraído la atención de los medios de comunicación debido a su naturaleza transfronteriza y a los riesgos que significan para la salud pública. Se ha pronosticado que el cambio climático causará una evolución aun más rápida de las enfermedades, tanto entre humanos como entre otras especies de plantas y animales.

Las enfermedades juegan un rol vital en las comunidades ecológicas, ya que actúan como regulador de las poblaciones en muchos ecosistemas. A la vez, la biodiversidad de patógenos en las comunidades silvestres amortigua el impacto potencial de un solo patógeno sobre una especie dada en esa comunidad. Los patógenos y los animales han co-evolucionado a lo largo de los siglos, con periodos cíclicos de aparición de las enfermedades al aumentar el tamaño de la población hospedera; como resultado, se tiene un equilibrio preciso entre patógenos y hospederos. La estrategia óptima de un organismo patógeno no es matar a su hospedero, sino utilizarlo para sobrevivir, reproducirse y propagar su progenie. Cuando este equilibrio se rompe por cambios en el sistema ecológico, los patógenos pueden afectar negativamente a sus hospederos o invadir nuevas especies y ambientes

El concepto de salud ecológica a menudo se restringe a la salud vegetal –por ejemplo, en la definición de criterios e indicadores de manejo forestal. Sin embargo, el concepto debería abarcar la salud del ecosistema completo y, además, incluir la salud de la fauna y de la gente que depende de los recursos naturales. Este enfoque es consistente, por ejemplo, con la evidencia cada vez mayor de las estrechas interrelaciones entre salud humana y los bosques (p.ej., Colfer, 2008; Colfer, Sheil y

Kishi, 2006) y el reconocimiento de que estas conexiones podrían ser afectadas por el cambio climático (Menne, Kunzli y Bertollini, 2002). Hay bastante evidencia de que el cambio climático podría incidir en las enfermedades virales transmitidas por los murciélagos; además, se cree que el coronavirus del SARS, la fiebre ébola y la encefalitis nipah tienen que ver en alguna forma con cambios directos o indirectos en las relaciones entre la gente y los murciélagos que habitan en los bosques (González *et al.* 2008; Leroy *et al.* 2009).

Hay muchos factores que contribuyen a la aparición de patógenos; entre ellos, el rápido crecimiento de las poblaciones humanas y de ganado, la intensificación de la agricultura, la invasión a las áreas silvestres, la explotación cada vez mayor de la fauna y de los recursos naturales, la modificación de los paisajes y los ecosistemas y la globalización. Estos factores sin duda contribuyen a que aumente la virulencia de los patógenos, que invaden nuevas especies y se desplazan a nuevos nichos ambientales. El cambio climático también puede jugar un papel más o menos directo en la dinámica y ecología cambiante de las enfermedades en los sistemas naturales.

Tanto los patógenos como sus vectores dependen de factores climáticos, incluyendo temperatura y humedad, para su reproducción y supervivencia. Muchos de los organismos patógenos y vectores ectotérmicos, como los insectos, no se desarrollan ni sobreviven en temperaturas extremas y requieren rangos limitados de temperatura y humedad para su reproducción óptima. Los organismos patógenos toleran un amplio rango de temperaturas; algunos, como las influencias, “prefieren” la estación seca y fría y otros, los climas tropicales calientes. Los cambios en patrones de temperatura, estacionalidad y precipitación pueden tener un impacto significativo, especialmente a nivel de patógenos y de vectores en enfermedades transmitidas por vectores: parámetros abióticos que regulan los rangos bionómicos, de ciclo de vida y de distribución de insectos (Harvell *et al.* 2002). Las temperaturas más cálidas podrían hacer que aumente la incidencia de enfermedades al crecer las poblaciones de vectores y su distribución y al extenderse la duración de la estación durante la cual las especies vectoras infecciosas están presentes en el ambiente.

En las zonas templadas y de altitudes altas, por lo general el invierno es frío, lo que evita que muchos patógenos y especies de insectos logren sobrevivir durante todo el año (Reiter, 2001). Muchas nuevas EIE surgen en las regiones tropicales, donde las temperaturas son calientes y más apropiadas para el ciclo de vida de patógenos y vectores. Si se incrementan las temperaturas y/o las lluvias a nivel mundial, tal como lo pronostican los modelos de cambio climático, los patógenos y vectores normalmente restringidos a sitios cálidos de baja altitud podrán moverse a latitudes y altitudes antes inhóspitas, lo que pondrá en peligro a poblaciones hospederas indefensas.

Los cambios provocados por el clima en ecotipos y la alteración de los recursos que dependen del clima, como la cubierta vegetal, podrían hacer que los animales tuvieran que ajustar sus patrones de movimiento y migración hacia nuevos ecosistemas donde se pudieran encontrar o introducir nuevos patógenos (Altizer, Bartel y Han, 2011).

El cambio climático aumentará la frecuencia de los eventos climáticos extremos que inciden en los ciclos de enfermedades, lo que podría ser más importante que los cambios en las condiciones climáticas promedio (de La Rocque, Rioux y Slingenbergh, 2008). En el 2010, los brotes de fiebre Rift Valley, una enfermedad transmitida por los zancudos en África, mostraron correlación con las lluvias estacionales mayores al promedio y aparecieron aun con lluvias cortas muy fuertes. Muchos insectos vectores han mostrado incrementos explosivos en sus poblaciones debido al aumento en la cantidad de lluvia, particularmente después de largos periodos de sequía. Las inundaciones que acompañan a las fuertes lluvias pueden aumentar la propagación de patógenos transmitidos por el agua, con lo que una mayor cantidad de animales se ven expuestos a infecciones potenciales. Al contrario, la reducción de las lluvias y sequías puede hacer que los animales se congreguen alrededor de las fuentes limitadas de agua y alimento, con lo que aumenta la densidad de las poblaciones y la posibilidad de transmisión de patógenos y parásitos.

El cambio climático también puede afectar la capacidad de inmunización de los hospederos debido al estrés calórico o nutricional (Kelly, 1980). Si el incremento en las temperaturas o eventos climáticos extremos limitan la disponibilidad o abundancia de alimento (p.ej., una sequía que reduce la cantidad de pasto disponible), los animales se pueden volver más susceptibles a fuertes cargas de parásitos y a la mayor exposición y susceptibilidad a los patógenos. Una carga de patógenos mayor de lo normal, o coinfecciones con múltiples organismos, también pueden hacer que una especie de hospedero, normalmente resistente, sucumba a la enfermedad, tal como se observó con los leones del Serengueti (*Panthera leo nubica*); (Recuadro 14).

RECUADRO 14

Los leones africanos diezmados por patógenos influenciados por el clima

Aunque los leones africanos (*Panthera leo*) están ahora legalmente protegidos en todo su rango de distribución, fueron cazados de manera descontrolada en el pasado. Su ecología ha sido bien estudiada y se sabe que algunas poblaciones prosperan en ciertas áreas protegidas del África. Sin embargo, en muchas zonas, el número de individuos está disminuyendo debido principalmente a la expansión de la agricultura y a los consecuentes problemas por el control de los animales y, en algunas áreas, a la pobre regulación de la caza deportiva. El cambio climático trae nuevas amenazas y exacerba las ya existentes.

En 1994, una epidemia de distemper canino (moquillo) diezmó las poblaciones de leones en el Serengueti, al causar la muerte de un tercio de la población residente. En el 2001, el fenómeno se repitió cerca de allí, en la región de Ngorongoro Crater, República Unida de Tanzania. Mediante un estudio retrospectivo se trató de entender estos eventos excepcionales, ya que el distemper canino es una enfermedad endémica en las poblaciones residentes de leones, pero muy pocas veces causa la muerte. Análisis de sangre de leones del Serengueti en 1994 y 2001 detectaron niveles anormalmente altos de *Babesia leo*, un parásito de la sangre transmitido por las garrapatas (*Ixodida* spp.). Este parásito, entre otros, se presenta en bajos niveles en la sangre del león y no afecta la salud del animal. La prevalencia del parásito mostró niveles muy altos en

Continua

Recuadro 14 continuación

las manadas que sufrieron la mayor mortalidad, y niveles moderados en las manadas que no mostraron incremento en la mortalidad. Esto sugiere que una coinfección con *Babesia* y la pérdida de capacidad de inmunización contribuyó, probablemente, a la muerte causada por otros patógenos (Dybas, 2009; Munson *et al.* 2008).

Fue posible conectar ambos eventos con las condiciones ambientales particulares en 1994 y 2001, los cuales fueron años particularmente secos, lo que favoreció la propagación de garrapatas en los ecosistemas del Serengueti. Los niveles de garrapatas en los herbívoros del Serengueti fueron particularmente altos en esos años, pues las sequías prolongadas debilitaron a los animales. Los leones que se alimentaban de esas presas fáciles quedaron expuestos a niveles altos de infección por *Babesia* debido a la gran concentración de garrapatas en los herbívoros. La infección disparó la inmunosupresión que hizo que los leones quedaran susceptibles al distemper. Las sequías y las condiciones ecológicas resultantes que provocaron el problema son cada vez más comunes en el ecosistema del Serengueti. Según Munson *et al.* (2008), si los eventos climáticos extremos se vuelven más frecuentes debido al cambio climático, la mortalidad provocada por la interrupción del balance ecológico entre hospederos y patógenos también se volverá común y tendrá impactos devastadores en las poblaciones de leones (Dybas, 2009; Munson *et al.* 2008).

Muchas especies de animales silvestres existen en lugares pequeños y aislados o en rangos restringidos, donde los patógenos oportunistas se pueden propagar rápidamente y causar pérdidas en gran escala y aun la extinción local de las poblaciones. Esto ya ha ocurrido en muchas regiones del mundo; por ejemplo, la extinción de anfibios debido a quitridiomycosis en los trópicos americanos (Pounds *et al.* 2006) y de aves nativas por la malaria aviar (*Plasmodium relictum*) (Recuadro 15) en Hawai. Enfermedades como la rabia y el distemper canino (moquillo) también pueden haber incidido en la extinción de los perros salvajes africanos (*Lycan pictus*) en el ecosistema Mara-Serengueti, en el este de África (Ginsberg, Mace y Albon, 1995; IUCN/SSC Canid Specialist Group, 1997).

Un ejemplo reciente es el brote de pasteurelosis, en el 2010, en las poblaciones de saiga (*Saiga tatarica*) en Kazakstán. En el transcurso de una semana, casi 12 000 saigas (principalmente hembras y jóvenes) murieron en la región de los Urales; esto representó una pérdida de más de la mitad de la población local y cerca del 15 por ciento de la población total en Kazakstán (Telegraph Media Group Limited, 2010). De nuevo en el 2011 hubo una mortandad durante la estación de cría que mató 441 saigas, aunque no se logró diagnosticar. Los brotes de pasteurelosis podrían haber incidido en la disminución de las poblaciones de saigas en 1981, 1984 y 1988 (Lundervold, 2001). La bacteria *Pasteurella haemolytica* se produce de manera natural en saigas saludables (Lundervold, 2001), pero no es claro si las condiciones climáticas poco usuales como “un invierno extremadamente frío seguido de una primavera inusualmente caliente” en el 2010-2011 (Telegraph Media Group Limited, 2010) pudo haber incidido en el último evento de mortalidad. La presencia de tóxicos y contaminantes ambientales también podría explicar la mortandad; no obstante, ninguna causa ha sido confirmada (Lillis, 2011).

RECUADRO 15
Malaria aviar y cambio climático en las islas de Hawai

La malaria aviar (*Plasmodium relictum*) llegó a lo que actualmente es Hawai, Estados Unidos, a principios de 1900, con la introducción de presas de caza y aves exóticas. Esta reubicación del patógeno provocó una caída estrepitosa en las poblaciones de especies de aves nativas. Los pájaros endémicos de Hawai no tenían defensas inmunológicas y una vez expuestos, se infectaban y morían rápidamente. En 1968, Warner encontró grandes poblaciones endémicas de pájaros hawaianos en las montañas de Hawai por encima de los 600 m, donde no había mosquitos, y muy pocas especies nativas por debajo de esa altitud. El rango del mosquito vector de la malaria, *Culex quinquefasciatus*, se limita a las altitudes más bajas de las islas, pues no se logra reproducir a temperaturas menores de 13 °C. Estudios posteriores han encontrado que la distribución del *Culex* puede alcanzar altitudes mayores, pero que los mosquitos tienden a concentrarse cerca del agua a altitudes bajas más hospitalarias, donde encuentran numerosos lugares para el crecimiento de las larvas. Los niveles más altos de infección con malaria aviar se han dado en bosques de altitudes medias (1 500 m) donde el mosquito vector se encuentra con las especies de pájaros nativos susceptibles (Atkinson y Utzurrum, 2010; van Riper *et al.* 1986; Warner *et al.* 1986).

Después de la aparición de la malaria aviar, muchas especies nativas adaptaron sus rangos de distribución y sus hábitos de alimentación, pues a mayores altitudes mejoraban las posibilidades de supervivencia. Las especies que continuaron a alimentarse en altitudes bajas, ajustaron sus hábitos al comportamiento del mosquito; los pájaros se alimentaban por la mañana y regresaban a altitudes más altas al atardecer, cuando el mosquito se vuelve activo. Esta conducta adaptativa ha salvado a varias especies endémicas de la extinción, aunque el tamaño de las poblaciones es todavía pequeño y restringido a las zonas de montaña (Atkinson y Utzurrum, 2010; Benning *et al.* 2002; van Riper *et al.* 1986; Warner *et al.* 1968).

Evaluaciones realizadas durante la pasada década confirman un fuerte incremento en la prevalencia de la malaria aviar en todas las elevaciones y en todo Hawai. Esto se puede atribuir, en parte, a la mayor actividad humana que genera nuevos lugares aptos para el desarrollo de las larvas, aunque también es probable que el cambio climático tenga algo que ver. Se piensa que un incremento de 2 °C en la temperatura provocaría pérdidas radicales en las especies de aves endémicas refugiadas en las altitudes protectoras. Al aumentar la temperatura, el mosquito *Culex* podrá reproducirse y sobrevivir a mayores altitudes y, de nuevo, los pájaros tendrán que adaptar su comportamiento para evitar los mosquitos, o sucumbirán a la malaria. Al combinarse la deforestación para crear campos agrícolas y el incremento en la temperatura, se piensa que algunas islas perderán hasta el 85 por ciento de sus hábitats forestales de bajo riesgo para los pájaros, lo que sin duda significará la extinción de poblaciones de aves nativas, especialmente de aquellas con poblaciones reducidas debido a otras presiones antrópicas (Atkinson y Utzurrum, 2010; Benning *et al.* 2002; van Riper *et al.* 1986; Warner *et al.* 1968).

RECUADRO 16 El cambio climático repercute en las rutas de migración y en el riesgo de enfermedades

Cada año, miles de millones de animales –desde mariposas, libélulas y abejas hasta murciélagos, pájaros, antílopes y ballenas– emigran a través del globo. Las especies que vuelan pueden cruzar continentes u océanos; las especies terrestres atraviesan montañas y ríos y las especies acuáticas pueden remontar corrientes o atravesar medio mundo por debajo del agua. El movimiento de los animales migratorios responde,

La migración animal y el riesgo de contraer enfermedades infecciosas

Animal	Lugares y distancias recorridas	Principales enfermedades infecciosas	Principales amenazas a la migración
 Salmón chinuc (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	Los adultos de 3-4 años se desplazan hasta 1500 km desde el Océano Pacífico hasta sus sitios de desove, aguas arriba en ríos del noroeste de EE.UU.	Pulga marina (<i>Lepeophtheirus</i> sp), mixozoos (<i>Henneguya</i> sp)	Construcción de represas, modificaciones a los cursos de agua hechas por humanos, deforestación, criaderos de peces.
 Tortuga marina verde (<i>Chelonia mydas</i>)	Los adultos se desplazan más de 2300 km a sus sitios de anidación en aguas tropicales y subtropicales en el Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Mediterráneo y Océano Indo-Pacífico.	Herpevirus que forma tumores (fibropapilomatosis), tremátodos cardiovasculares espiroquidos	Caza y depredación de los huevos, captura accidental, destrucción de hábitats de anidamiento y forrajeo.
 Sapo boreal (<i>Anaxyrus boreas</i>)	Migración anual para reproducirse; recorren hasta 6 km desde sus sitios de hibernación (probablemente subterránea) a estanques en lugares elevados en el Oeste de los EE.UU.	Hongo quitrido (<i>Batrachochytrium</i> sp), tremátodo parasítico (<i>Ribeiroia</i> sp), oomiceto (<i>Saprolegnia</i> sp)	Construcción de carreteras, pérdida de hábitats para la cría debido a la deforestación.
 Vuelvapedras (<i>Arenaria interpres</i>)	Migración anual de hasta 27 000 km desde sus lugares de anidamiento en el Ártico a los sitios en donde pasan el invierno en las costas de todos los continentes, excepto Antártica.	Virus de la influenza aviar, virus del Nilo occidental, múltiples endoparásitos	Pérdida de hábitat debido a represas y extracción de agua, sobreaprovechamiento de los recursos alimentarios en las escalas intermedias.
 Zorro volador (<i>Pteropus</i> spp)	Se desconoce la distancia máxima que estas especies recorren: puede variar de 50-1000 km a través del sureste asiático y Australia.	Virus Paramyxo, como el Nipah y el Hendra	Pérdida de lugares de alimentación debido a la deforestación, pérdida de hábitat debido al cambio de uso de la tierra.
 Libélula verde (<i>Anax junius</i>)	No se conocen las distancias exactas que recorre, pero los adultos viajan más de 700 km anualmente, desde el sur de Canadá y norte de EE.UU. hasta América Central.	Protozoario eugregarino (<i>Geneiorhynchus</i> sp)	Desconocidas: posiblemente la destrucción de sus hábitats de cría en agua dulce.
 Ñu azul (<i>Connochaetes taurinus</i>)	En el Serengeti, los animales se desplazan durante las estaciones seca y húmeda a través de un área de 30 000 km ² .	Peste bovina (<i>Morbillivirus</i> sp), brucelosis (<i>Brucella</i>), enfermedades de patas y boca (<i>Aphtae zoooticae</i>)	Cambios en la cobertura del suelo (reducción de la cobertura arbórea), frecuencia de incendios, exposición a animales domésticos infectados.
 Zorzal de Swainson (<i>Catharus ustulatus</i>)	Se desplazan hasta 10 000 km anualmente entre sus lugares de cría en Canadá y norte de EE.UU. para pasar el invierno en América Central y del Sur.	Virus del Nilo occidental, enfermedad de Lyme, parásitos de la sangre (<i>Haemoproteus</i> y <i>Plasmodium</i>)	Pérdida de hábitat en sus lugares de anidamiento y de invierno, choques contra edificios durante la migración.
 Ballena gris (<i>Eschrichtius robustus</i>)	Migraciones anuales de más de 18 000 km desde sus lugares de alimentación en el mar de Bering a sitios de cría a lo largo de las costas de Baja California.	Pulga de ballena (cyamid, amphipods, <i>Cyamus</i> spp), barnacles (<i>Cryptolepas</i>), múltiples endoparásitos	Actividad industrial cerca de las lagunas de crianza, exploración petrolera a lo largo de las rutas de migración, hostigamiento por parte de embarcaciones.

Fuentes: Altizer, S., Bartel, R. & Han, B.A. 2011. Animal migration and infectious disease risk. *Science*, 331(6015): 296–302. Reimprimido con permiso de AAAS. Fotografías: salmón chinuc: FISHBIO; Tortuga marina verde: M. Zinkova; sapo boreal: J. Kiesecker; vuelvapedras: N. Bachele; zorro volador: J. Epstein; libélula verde: E. Zelenko; ñu azul: J. Rushmoore; zorzal de Swainson: D. Margeson; ballena gris: SeaWorld San Diego.

Continúa

Recuadro 16 continuación

típicamente, a cambios estacionales y su razón de ser es la búsqueda de alimento abundante o de hábitats apropiados para cumplir con las necesidades propias de su ciclo de vida, como crianza, muda de pelo o plumas o pasar el invierno (Newman 2011).

Para las aves migratorias, el momento de llegada a los territorios de anidamiento o de pasar el invierno determina el éxito reproductivo, la supervivencia y la buena forma física (Arzel, Elmerg y Guillemain, 2006; Cotton, 2003; Ely *et al.* 2007; Laaksonen *et al.* 2006). Las especies migratorias buscan llegar a los territorios de anidamiento y de desarrollo de los polluelos en periodos que coincidan con los picos de abundancia de alimento (Arzel *et al.* 2009). Los patrones climáticos cambiantes pueden hacer que las migraciones no se den en el momento apropiado, con lo que se reduciría el éxito reproductivo y el tamaño de las poblaciones (Both *et al.* 2006). Se ha comprobado que las fluctuaciones del clima global afectan la supervivencia y fecundidad de los adultos (Boyd y Fox, 2008; Sillett, Holmes y Sherry, 2000), y hay cada vez más evidencias de que el momento ideal para la migración de aves es afectado por el cambio climático (Ahola *et al.* 2004; Both y te Marvelde, 2007; Macmynowski *et al.* 2007; Parmesan, 2007; Saino y Ambrosini, 2008; van Buskirk, Mulvihill y Leberman, 2009). Sin embargo, en la mayoría de los casos es todavía muy pronto para afirmar cuáles serán las implicaciones a largo plazo de estos efectos en la supervivencia de las aves migratorias.

Características más precisas de la migración, como la conectividad entre subpoblaciones, influirán en la capacidad de las especies migratorias para adaptarse a condiciones ambientales cambiantes debido al cambio climático (Webster *et al.* 2002). Si, por ejemplo, la conectividad entre subpoblaciones del ánsar indio (*Anser indicus*) es fuerte, los individuos en cada subpoblación habrán enfrentado presiones selectivas similares, tanto en los lugares de anidamiento como de invierno. Esta presión selectiva podría resultar en la adaptación local que limite el impacto del cambio climático en gran escala (Takekawa *et al.* 2009; Webster *et al.* 2002). Estudios hechos por la FAO, el Departamento de Exploración Geológica de los Estados Unidos y otros colaboradores demuestran que la alteración de hábitats en China, incluyendo los efectos del calentamiento de los glaciares que aumentan la escorrentía hacia los terrenos pantanosos de la Meseta Tibetana-Qinghai, podría estar afectando los patrones migratorios de los gansos y desajustes en su calendario. Con la excepción de un individuo, todos los gansos del lago Qinghai, China, pasaron el invierno en la Meseta Tibetana-Qinghai, cerca de Lhasa, y su número cada vez mayor en la zona podría deberse a los efectos del cambio climático y del desarrollo agrícola (Takekawa *et al.* 2009). Desde la perspectiva del riesgo de transmisión de enfermedades, si los gansos no hacen vuelos de larga distancia que les permitan aprovechar mayores extensiones de pantanos durante el invierno en India –en lugares como los parques nacionales de Keoladeo y Chitwan– la mayor concentración de aves silvestres en el lado norte del Himalaya hará que aumenten las tasas de transmisión de virus aviares, como el muy nocivo H5N1.

La migración asegura la supervivencia de las especies. Sin embargo, se debe reconocer, que cuando los animales se mueven a través de grandes extensiones, llevan con ellos organismos comensales (bacterias, virus, hongos o priones) que no causan enfermedades a sus hospederos pero sí podrían afectar a otros hospederos indefensos

Recuadro 16 continuación

u otras especies. Los cambios en el uso del hábitat y en los patrones migratorios asociados con el cambio climático, uso de la tierra o la expansión de los sistemas agrícolas podría hacer que patógenos (y vectores) reubicados entren en contacto con nuevos hospederos potenciales (incluyendo a los humanos), con implicaciones que podrían ser muy graves (Newman 2011).

Los científicos piensan que el cambio climático hace que las temperaturas suban en el Ártico más rápidamente que en ninguna otra parte del planeta. Ya se han dado invasiones de especies de más al sur, como el oso grizzly (*Ursus arctos horribilis*), el zorro rojo (*Vulpes vulpes*), el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el salmón del Pacífico (*Oncorhynchus* spp.) y la ballena asesina (*Orcinus orca*). Todos estos recién llegados se han asentado en áreas tradicionalmente ocupadas por el oso polar (*Ursus maritimus*), el zorro del Ártico (*Vulpes lagopus*), el caribú o reno (*Rangifer tarandus*), la trucha alpina (*Salvelinus alpinus*) y la ballena beluga (*Delphinapterus leucas*). Además de causar la hibridación de especies del Ártico, como resultado del apareamiento entre especies emparentadas del norte y del sur –y consecuente pérdida de diversidad genética- las especies invasoras del sur traen enfermedades para las cuales los del norte no tienen defensas. Patógenos como el nematodo filiforme (*Trichinella* spp.) han invadido a los osos polares, zorros del Ártico y seres humanos. La brucelosis, una enfermedad bacteriana del ganado, perros animales silvestres y seres humanos, ha atacado a las ballenas barbada (*Mysticeti* spp.). El peligro de que el virus del distemper de la foca ataque a las ballenas narval (*Monodon monoceros*) y beluga es bastante real, ya que no tienen defensas contra él; la migración de un solo individuo de ballena piloto (*Globicephala* spp.), foca común (*Phoca vitulina*) o delfín (*Delphinus* spp.) podría introducir el virus (Struzik, 2011).

Nota: Después de una campaña a nivel mundial para erradicar la enfermedad, y un último caso diagnosticado en el 2001, las Naciones Unidas declararon, el 8 de agosto del 2011, que la peste bovina había sido erradicada (FAO 2011a).

Al cambiar las condiciones que afectan el ciclo de vida, la distribución y ecología de los patógenos, vectores y hospederos, aumenta el potencial del cambio climático para alterar de manera significativa la susceptibilidad de las poblaciones de plantas y animales ante agentes infecciosos oportunistas. El cambio climático es, sin duda, un importante cofactor que influye en la aparición de patógenos en todo el planeta, y puede jugar un papel aun mayor si los cambios en temperatura, clima y ecosistemas alcanzan los niveles proyectados.

4.6 ESPECIES INVASORAS Y PLAGAS

El calentamiento global y las invasiones biológicas son los dos agentes principales del cambio climático que afecta a nuestro planeta; estos fenómenos, inducidos por el ser humano, a menudo se dan de manera sinérgica y contribuyen a la reducción de la diversidad biológica (Recuadro 26).

Las especies invasoras foráneas afectan a las especies y hábitats nativos por predación, competencia o forrajeo. La magnitud de estos impactos es evidente cuando uno considera que, en los siglos recientes, las invasiones biológicas han

sido la causa principal de la extinción de especies: las especies invasoras han sido identificadas como un factor clave en el 54 por ciento % de todas las extinciones conocidas y el factor único en el 20 por ciento de los casos (Clavero y García-Berthou, 2005). En general, el movimiento de especies fuera de su rango natural, debido a la influencia del ser humano, ha generado un gran empobrecimiento de la diversidad de especies y alterado la funcionalidad de ecosistemas y hábitats.

Debido a sus efectos en los ecosistemas, las invasiones no solo afectan la diversidad biológica sino también los medios de vida de los humanos de muchas formas: interrupción de ecosistemas, daño a los servicios que ofrecen, limitación del acceso a agua y alimento a las comunidades locales (Vilà *et al.* 2010). Muchas de las plagas agrícolas más peligrosas son de origen foráneo, así como muchos de los parásitos y patógenos que afectan la silvicultura y la pesca y causan enormes impactos sociales. La Gran Hambruna que afectó a Irlanda a finales del siglo XIX fue provocada por la introducción del tizón tardío (*Phytophthora infestans*), que causó la pérdida del 80 por ciento de la cosecha de papas.

Las invasiones biológicas pueden causar enormes pérdidas económicas, no solo por su impacto directo en la producción de bienes, sino también debido a los recursos que se necesitan para controlar a las especies más invasoras. Solamente en Europa, un cálculo reciente llegó a más de 1 200 millones de EUR al año. A nivel mundial, el daño estimado que causan las especies invasoras excede los 1,4 trillones de USD anuales (Kettunen *et al.* 2009; Pimentel, 2002).

La magnitud de los impactos actuales provocados por especies invasoras está causando gran alarma en la comunidad mundial, ya que las invasiones biológicas aumentan de manera constante debido a la globalización y el crecimiento del turismo, el comercio y el transporte. El número de especies introducidas en Europa, por ejemplo, se incrementó en un 76 por ciento en el periodo de 1970-2007, sin que se perciban signos de efecto de saturación. Tendencias similares se han encontrado en todas las regiones del mundo y en todos los ambientes: marinos, terrestres y acuáticos (Butchart *et al.* 2010). Las preferencias culturales y la comercialización legal e ilegal de animales silvestres y productos animales se debe considerar también un factor incidente, puesto que el movimiento de estas especies coincide con el traslado y difusión de los patógenos que ellas albergan.

Los efectos potenciales combinados de la invasión de especies y del cambio climático son un serio problema que probablemente amplificará los impactos actuales de estos dos motores de cambio en los hábitats terrestres, marinos y de agua dulce. Puede haber nexos entre el incremento de la temperatura, los cambios en los regímenes de precipitación, el calendario y distribución del crecimiento de la vegetación, el incremento en los niveles de los mares y los patrones de introducción y difusión de organismos fuera de sus rangos naturales.

Un ejemplo es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) que desde hace mucho tiempo es una especie invasora en zonas tropicales de Asia y África y ahora también ha invadido los ríos de Italia y España. Se supone que se expandirá mucho más en Europa como consecuencia del aumento de la temperatura, que hace que muchas nuevas áreas se vuelvan apropiadas para esta planta tropical. Muchos organismos

RECUADRO 17
La procesionaria del pino conquista a Europa

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) es un insecto dañino que se encuentra en toda la cuenca del Mediterráneo y sur de Europa (Battisti *et al.* 2006). En su etapa final, la larva constituye un problema de salud pública pues libera pelos urticantes que causan serias reacciones alérgicas en la piel (Battisti *et al.* 2006). Las larvas se alimentan de los pinos (*Pinus* spp.) y a menudo provocan severas defoliaciones que reducen el crecimiento de los árboles, por lo que la especie es considerada como una plaga forestal con efectos económicos desastrosos (Stastny *et al.* 2006). Su principal hospedero es el pino negro austríaco (*Pinus nigra*), aunque cada vez es más frecuente encontrarlo en el pino escocés (*P. sylvestris*) y pino de montaña (*P. mugo*) (Stastny *et al.* 2006). La disponibilidad de plantas hospederas actuales o potenciales hace que el insecto no sufra de limitaciones para su dispersión (Battisti 2004; Robinet *et al.* 2007).

Los brotes de la plaga en el sur de Europa son cada vez más frecuentes (Robinet *et al.* 2007). Durante las últimas tres décadas, la procesionaria del pino expandió sustancialmente su distribución altitudinal y latitudinal, un cambio que se le atribuye al clima (Battisti *et al.* 2006). Un cambio altitudinal sin precedentes de 110 a 230 m en rodales de pino en los Alpes italianos, durante el verano particularmente caluroso del 2003, constituyó más de un tercio de la expansión monitoreada durante los últimos 30 años (Battisti *et al.* 2006).

En Francia, la distribución de la procesionaria del pino ha subido hasta las elevaciones altas del Macizo Central (centro-sur del país) y los Alpes franceses, con una tasa de expansión promedio de 27,1 km/década entre 1997 y 2004, que se aceleró a 55,6 km/década en los últimos diez años. La procesionaria también se ha movido hacia el norte a la cuenca de París (centro-norte del país); incluso en el 2003, se encontró una colonia aislada al este de París, lo que confirma su capacidad de supervivencia lejos de sus áreas actuales de colonización. La modelación sugiere que, en las próximas décadas, una buena parte del noroeste francés tendrá condiciones climáticas favorables para la expansión de la especie (Robinet *et al.* 2007).

La temperatura afecta fuertemente tanto la supervivencia como la dispersión de la procesionaria. Las larvas se desarrollan durante el invierno en nidos comunales y se alimentan si la temperatura dentro del nido es superior a 9 °C y la temperatura nocturna no cae bajo cero (Robinet *et al.* 2007). Las larvas sobreviven el invierno si la temperatura media del aire no es inferior de -6 °C y la mínima absoluta no es inferior de -16 °C (Pimental, Calvão y Ayres, 2011). Durante el verano, las temperaturas nocturnas calurosas aumentan la actividad de vuelo en términos del número de adultos que se dispersan y la distancia real que pueden cubrir (Battisti *et al.* 2006).

Puesto que la temperatura es un factor limitante tan importante para la dinámica de las poblaciones de la especie, los incrementos en la temperatura provocados por el cambio climático incidirán fuertemente en el aumento de la supervivencia y en el rango de expansión de la procesionaria (Robinet *et al.* 2007). Si un año desfavorable aniquila las colonias con temperaturas muy bajas e inanición, la población aun puede persistir en el área y aumentar su rango de cobertura porque la pupa de la

Recuadro 17 continuación

procesionaria del pino puede permanecer en estado de diapausa hasta siete años (Battisti *et al.* 2006).

Muchos autores se centran en los efectos lentos y a largo plazo del cambio climático, al pronosticar la expansión de esta especie. Con base en la expansión extensiva y consistente de la procesionaria del pino en los Alpes italianos durante el verano del 2003, Battisti *et al.* (2006) argumentan que las fluctuaciones climáticas de corto plazo también se deben tomar en cuenta al pronosticar la respuesta de la procesionaria al cambio climático.

RECUADRO 18**Especies invasoras y salud humana**

Uno de los efectos de la invasión al que no se le ha prestado suficiente atención es el impacto sobre la salud humana. Hay muchas clases de mecanismos mediante los cuales las especies introducidas pueden afectar la salud humana. Muchos artrópodos, por ejemplo, muerden y pueden transmitir enfermedades como la fiebre del Nilo occidental, la enfermedad de Lyme y encefalomelopatías. Más del 50 por ciento de los 47 nematodos introducidos en Europa son endoparásitos humanos y causan zoonosis en el ganado y en animales de caza (Vilà *et al.* 2010).

Algunas plantas foráneas también pueden afectar directamente la salud humana. Por ejemplo, la ambrosía común (*Ambrosia artemisiifolia*), una hierba de Norteamérica introducida en muchas áreas de Europa, produce grandes cantidades de polen con alto potencial alergénico. Este polen induce la fiebre del heno y reacciones asmáticas en una alta proporción de la población humana: 10 por ciento de la gente es sensible al polen de ambrosía y el 25 por ciento puede desarrollar reacciones asmáticas. Los efectos en los sistemas de salud en algunas áreas de Europa donde existe la ambrosía son inmensos; solo en Alemania, estos costos excedieron 30 millones de EUR en los últimos años (Reinhardt *et al.* 2003; Vilà *et al.* 2010).

El perejil gigante (*Heracleum mantegazzianum*) es otra planta introducida que afecta directamente la salud humana. Esta planta, nativa del Cáucaso y Asia central, ha sido introducida en muchos países con fines ornamentales y se ha establecido en áreas silvestres de Europa del oeste y Norteamérica. El perejil gigante produce una savia fototóxica que provoca severas fitofotodermatitis (hipersensibilidad de la piel a la radiación UV). Decenas de miles de personas son afectadas cada año y, en el peor de los casos, las quemaduras en la piel pueden tener consecuencias fatales (Vilà *et al.* 2010).

Los efectos de especies foráneas en la salud humana pueden ser también indirectos. El mosquito tigre asiático (*Aedes albopictus*), introducido en muchas partes del mundo, es vector de al menos 22 arbovirus, incluyendo el virus del dengue, el virus chikungunya, el virus del Nilo occidental, la encefalitis japonesa y el virus de la encefalitis equina del oriente. La dispersión de la especie en el norte de Italia ha provocado ya varios brotes de chikungunya y dengue. Las complicaciones del dengue hemorrágico son “una de las causas principales de serias enfermedades y mortalidad infantil en algunos países asiáticos” (Organización Mundial de la Salud, 2011). Algunas

Continúa

Recuadro 18 continuación

veces, los efectos de las invasiones pueden ser más sutiles, como la dispersión de arbustos invasores en África que brindan cobijo a la mosca tse-tse (Vilà et al. 2010).

De igual manera, el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), que ha invadido muchas zonas de Asia y África, favorece la dispersión de esquistosomiasis y malaria porque los vectores de ambas enfermedades (especies de caracoles como *Biomphalaria sudanica* y el mosquito *Anopheles*, encuentran un hábitat óptimo en los ríos invadidos por la planta (Vilà et al. 2010).

marinos invasores han ingresado al Mediterráneo a través del Canal de Suez, y se están expandiendo a toda la cuenca debido al calentamiento del agua del mar. Sobre la tierra, se espera que las comunidades humanas se desplacen como resultado del cambio climático, lo que alentará el desplazamiento de muchas personas y especies, con lo que aumentarán los impactos de las invasiones (Burgiel y Mui, 2010). Por ejemplo, un incremento en el movimiento de especies invasoras debido al cambio



JOHN H. GHENT / USDA FOREST SERVICE / BUGWOOD.ORG

El cambio climático facilita la dispersión de la procesionaria del pino (Thaumetopoea pityocampa) en toda la región del Mediterráneo.

climático, podría causar incendios severos que matarían a las especies de cactus en el desierto de Sonora, Estados Unidos (Karl, Melillo y Peterson, 2009).

Enfrentar el cambio climático y las invasiones biológicas, así como los efectos combinados de dichos impactos, significa un gran desafío para la comunidad mundial.