Gerald G. Marten

Ecología Humana

CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE.

PROLOGO DE MAURICE STRONG

Presidente de Earth Council y Secretario General de la Cumbre de la Tierra 1992

Prólogo

El desarrollo ecológicamente sustentable se ha convertido en una preocupación universal. Es un reto que merece la atención y acción de todos nosotros. Proceden esfuerzos para promover el desarrollo sustentable en muchos frentes, pero aún está lejos de ser una realidad.

Un público bien informado es un ingrediente crítico para el desarrollo sustentable. Todas las acciones que ejercen algún impacto sobre el ambiente provienen en última instancia de individuos. La opinión pública estimula a los gobiernos, corporaciones y otros sectores de la sociedad a llevar a cabo acciones apropiadas. Incluso los líderes políticos comprometidos con el desarrollo sustentable no pueden imponerlo sobre personas que no lo comprenden o no le dan importancia. Y a la inversa, hasta el más reticente de los líderes políticos no puede dejar de perseguir la sustentabilidad cuando su pueblo se lo exige.

La mayoría de las personas están preocupadas por el medio ambiente, pero se sienten abrumadas por la complejidad y la escala de los problemas. Dada la diversidad de perspectivas e intereses que compiten entre sí, frecuentemente resulta difícil saber qué información es confiable. Las numerosas fuerzas, tanto sociales y ambientales, que se oponen al desarrollo sustentable tienen tanta inercia tal que parece poco probable modificar el curso actual del deterioro ambiental sin que ocurran cambios importantes en las actitudes y conductas de la gente. El imperativo del desarrollo sustentable nos está obligando a pensar de nuevas maneras, pero el camino hacia un futuro ecológicamente sustentable no está en absoluto claro.

El desarrollo ecológicamente sustentable solamente podrá ser posible una vez que comprendamos la fundamental interdependencia de la sociedad humana y el medio ambiente natural. La ecología humana, como la ciencia que estudia las interrelaciones entre humanos y ecosistemas, nos brinda una perspectiva de sistemas completos que vincula a las ciencias naturales y

sociales. Es una perspectiva amplia que puede contribuir a esclarecer los problemas medioambientales y sugerir cómo lidiar con ellos. Aunque la ecología humana ha demostrado su valor como aproximación interdisciplinaria para resolver problemas ambientales, todavía no ha logrado adquirir una identidad clara con un cuerpo teórico establecido. Ha llegado el momento de que la ecología humana se convierta en una disciplina científica importante por derecho propio. La apuesta que todos tenemos colocada en un futuro ecológicamente saludable es demasiado grande como para conformarse con menos.

El libro de *Ecología Humana: Conceptos Básicos para el Desarrollo Sustentable* es un paso valioso hacia convertir a la ecología humana en una disciplina científica que cualquiera puede y debe entender para guiar sus propias acciones. El Dr. Marten presenta un conjunto coherente de conceptos acerca de cómo funcionan los ecosistemas y cómo interactúan los sistemas sociales humanos con los ecosistemas. Esto ayudará a los lectores a entender la complejidad de las interacciones hombre/medio ambiente, permitiéndoles hacer conexiones que antes no habían identificado en muchas áreas de sus vidas. Los ejemplos que utiliza el Dr. Marten para ilustrar los conceptos han sido tomados de situaciones reales que cubren una amplia gama de tópicos y nos conducen a diversas partes del mundo. Nos permiten ver cómo saltar de la teoría a la práctica.

Por ejemplo, una vez conscientes de los 'sistemas adaptativos complejos', los lectores empezarán a percatarse de la existencia de patrones ordenados en los cambios que ocurren a su alrededor. Una vez al tanto de los 'mosaicos paisajísticos', los lectores pondrán más atención en las implicaciones que tienen los cambios en sus paisajes para la calidad de su vida en el futuro. El carácter de 'conmutador' que tiene el funcionamiento de los ecosistemas esclarece la manera en que la utilización inapropiada de los recursos del ambiente puede conducir a la degradación irreversible. El concepto de 'coadaptación' entre sistemas sociales y ecosistemas contribuye a explicar porqué padece problemas ambientales la sociedad moderna, mientras apunta hacia los cambios fundamentales necesarios para lidiar con los problemas.

El Dr. Marten nos proporciona las herramientas conceptuales para comprender y evaluar las complejidades que enfrentamos, de manera que nos encontraremos mejor equipados para elegir cursos de acción que tengan resultados positivos, tanto en el corto como en el largo plazo. La recompensa final será alcanzada cuando los conceptos ecológicos y de sistemas que se encuentran en este libro se apliquen al desarrollo sustentable. El libro explica cómo es que el sistema económico existente y

otras instituciones sociales contemporáneas promueven una interacción hombre/medio ambiente insostenible, y describe instituciones sociales que pueden contribuir a generar una interacción ecológicamente sustentable. Proporciona ejemplos de acciones exitosas emprendidas por el gobierno, el sector privado y la sociedad civil para desarrollar relaciones más saludables con el medio ambiente.

El alcance y la claridad de este libro lo hacen accesible e informativo para un amplio público. Sus mensajes deberían ser un componente esencial de la educación de todos los estudiantes entre el bachillerato y la universidad. El libro será igualmente significativo para quienes deseen tener una comprensión fundamental de las fuerzas que moldean el futuro de sus hijos y sus nietos, y para todos aquéllos conmovidos por los millones de personas cuyas vidas han sido destruidas o socavadas por el deterioro ambiental. En breve, este es un libro que proporciona una relación clara y comprensible de conceptos que se pueden aplicar a nuestras vidas individuales y colectivas para perseguir el futuro prometedor y seguro al que todos aspiramos.

Maurice Strong
Ex – Director Ejecutivo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)
Ex – Secretario General, de las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972) y la Cumbre de la Tierra (Rio de Janeiro, 1992)
Presidente, Consejo de la Tierra

Prefacio

Hace veinte años trabajé en el sureste de Asia con un grupo de agrónomos, científicos sociales y ecólogos. Los agrónomos estaban utilizando la tecnología de la Revolución Verde para desarrollar nuevos sistemas de producción para la agricultura a pequeña escala propia de la región. Era esencial lograr un cambio para alimentar a la población creciente. Los nuevos métodos ofrecían posibilidades impresionantes para incrementar tanto la producción de alimentos como el nivel de ingresos de los campesinos, pero en muchos casos, los campesinos se negaban a utilizarlos. Era comprensible que los agrónomos se encontraran desilusionados y buscaran la asistencia de colegas de las ciencias sociales para intentar averiguar cómo convencer a los campesinos de que merecía la pena aprovechar las oportunidades.

Los científicos sociales dedicaron mucho tiempo a hablar con los campesinos, y descubrieron muy pronto que los campesinos eran más innovadores que conservadores. Muchos de ellos experimentaban rutinariamente con nuevas cosechas y técnicas de cultivos en un rincón de sus granjas, y las adaptaban a una escala mayor cuando era evidente que podían tener éxito. Los campesinos sabían por experiencia que era frecuente que las nuevas variedades de cultivo no tenían un desempeño particularmente bueno en las tierras marginales que muchos de ellos se veían obligados a utilizar. Aún cuando los suelos eran adecuados, las variedades mejoradas requerían un gran aporte de agua y de insumos costosos, como fertilizantes y plaguicidas, para alcanzar rendimientos altos, y estos insumos se encontraban muy por encima de la capacidad adquisitiva de muchos de los campesinos pobres. Los campesinos también temían que los nuevos métodos de cultivo pudiesen conducir en el largo plazo a problemas imprevistos que demandarían soluciones fuera de su alcance. Sus aprensiones resultaron estar justificadas, ya que varios años más tarde surgieron problemas de suelos en algunas de las áreas con sistemas agrícolas nuevos. La mayoría de los campesinos sentía que no podían permitirse cometer errores irreversibles, ya que no tenían alternativas para ganarse la vida fuera de sus granjas.

A medida que los agrónomos y los científicos sociales aprendían más de los campesinos, empezaron a darse cuenta de lo importante que resultaba la inserción en las realidades de la vida cotidiana de los campesinos para la nueva tecnología agrícola, y la importancia de que resultara ecológicamente sustentable. También descubrieron que tenían mucho que aprender de los métodos agrícolas tradicionales de los campesinos, que habían demostrado ser ecológicamente sustentables durante siglos. Todo esto hizo que los agrónomos comprendieran que tendrían más éxito trabajando con una perspectiva más amplia que la que habían tenido anteriormente. El resultado fue el establecimiento de una red de colaboración para la investigación, con la participación de agrónomos, científicos sociales, ecólogos y campesinos, cada uno de los cuales tenía algo qué aportar a la tarea de desarrollar una agricultura que los campesinos realmente pudieran utilizar.

Esta historia ilustra solamente uno de los miles de retos que enfrenta la humanidad a medida que las economías, tecnologías, culturas, y maneras en que los pueblos utilizan los recursos naturales cambian en el mundo actual, que evoluciona tan rápidamente. Estos retos están encapsulados en el concepto de 'desarrollo sustentable', frecuentemente definido como la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Hay quienes consideran que el desarrollo sustentable es el mayor reto de nuestros días, pero es difícil que los individuos involucrados sepan lo que pueden hacer realmente para contribuir a alcanzarlo.

La ecología humana, que es la ciencia de las interrelaciones entre las personas y el medio ambiente, puede contribuir a afinar nuestras percepciones acerca de los que sucede con el medio ambiente, y cómo éste y su gente funcionan conjuntamente. Este tipo de comprensión es un paso esencial para alcanzar una acción efectiva.

El término de 'ecología humana' tiene una historia larga y variada. Fue utilizado por primera vez durante la década de los veintes, cuando un pequeño grupo de sociólogos urbanos utilizaron conceptos ecológicos para explicar lo que estaban observando en algunas ciudades. Los sociólogos urbanos encontraron útiles las metáforas ecológicas porque algunos de los conceptos ecológicos iniciales eran de hecho conceptos generales de sistemas, que resultaban también válidos para la sociedad humana. Esta forma de ecología humana, que fue prominente hasta los años setenta, era totalmente diferente de la ecología humana de este libro.

Durante los sesentas y setentas, los ecologistas biólogos alarmados por la explosión demográfica de la humanidad y sus implicaciones para la destrucción del medio ambiente utilizaron el término de 'ecología humana' para enfatizar el hecho de que los seres humanos estamos sujetos a las mismas limitaciones ecológicas que el resto de los animales. Al mismo tiempo, los antropólogos estaban dirigiendo su atención hacia las formas en que el medio ambiente moldea la cultura, y algunos antropólogos emprendieron estudios de campo de ecología humana utilizando los conceptos ecológicos más prominentes de esos tiempos, como el control demográfico y los flujos de energía. Al aumentar el nivel de conciencia acerca de los problemas ambientales durante los años setenta, académicos de varias disciplinas empezaron a hablar de 'ecología humana'. Estas formas distintas de la ecología humana, que se conformaron a las diferentes disciplinas de las que surgieron, generalmente tenían muy poco en común unas con otras, fuera del hecho de que trataban acerca de la gente y el medio ambiente.

Ya en los años ochenta, los ecologistas biólogos y los científicos sociales estaban trabajando en equipos multidisciplinarios de investigación que enfrentaban problemas prácticos relativos al medio ambiente. Para muchos de estos científicos, incluyéndome a mí mismo, la ecología humana era una perspectiva que se enfocaba en las interacciones de las sociedades humanas y el medio ambiente para resolver problemas. Al trazar las cadenas de efectos a través de los ecosistemas y la sociedad humana, y entender de manera más general cómo interactúan las personas con los ecosistemas, la ecología humana podría contribuir a:

- anticipar las consecuencias ambientales de las actividades humanas a largo plazo;
- evitar sorpresas ambientales desastrosas;
- generar ideas para enfrentar problemas ambientales; y, en general,
- mantener una relación que permita vivir y que sea sustentable con el medio ambiente.

El número de científicos dedicados a estudiar la interacción ser humano-medio ambiente ha ido aumentando a lo largo de los años, y la diversidad de sus antecedentes y perspectivas ha crecido consecuentemente.

Este libro surgió de un curso universitario de la Escuela de Estudios de Política de la Universidad Kwansei Gakuin de Japón. El propósito del curso consistía en ofrecer a los estudiantes un fundamento conceptual para hacer de la ecología humana y el desarrollo sustentable parte integral de sus

vidas personales y profesionales. El libro refleja mi punto de vista personal acerca de la ecología humana e intenta proporcionar un sistema de conceptos claro, comprensible y coherente para comprender cómo funcionan los ecosistemas y cómo interactúan las sociedades humanas y los ecosistemas. El libro abrevia una variedad de ideas ya existentes, integrando principios ecológicos comprobados con conceptos construidos más recientemente bajo la rúbrica de la teoría de sistemas complejos. La última parte del libro se enfoca en los procesos sociales, instituciones sociales, y tecnologías que entran en conflicto con, o contribuyen al, desarrollo ecológicamente sustentable. Mientras que espero que este libro sea extensamente utilizado en el salón de clases, también tendrá valor para cualquiera que esté interesado en el medio ambiente y busque el tipo de comprensión que puede contribuir a hacer cosas que aporten cambios positivos.

La mayoría de los conceptos contenidos en este libro se encuentra firmemente establecida, pero algunos son todavía objeto de debates científicos no resueltos. Un ejemplo es el concepto de las propiedades emergentes (que se introduce en el Capítulo 4). Algunos científicos, entre quienes me incluyo, consideran que cada nivel de organización biológica tiene una 'vida propia' que emerge de la organización de las partes, y no simplemente de las características de las partes en sí mismas. Otros científicos consideran que las propiedades emergentes son construcciones teóricas que carecen de una confirmación científica rigurosa. Utilizo las propiedades emergentes porque estimulan el tipo de pensamiento en sistemas completos que considero esencial para el desarrollo ecológicamente sustentable.

En este libro los conceptos se comunican mediante ejemplos e historias, frecuentemente acompañados por diagramas. A veces he utilizado una aproximación muy amplia en los ejemplos, ya que el enfoque está en la comunicación de los conceptos, más que en el análisis al detalle de situaciones particulares. El libro incluye una lista de Lecturas Adicionales que proporciona a los lectores la oportunidad de explorar con mayor detalle los conceptos centrales y los ejemplos clave. También ofrece una oportunidad para explorar detalles y perspectivas de la ecología humana que no se tratan a profundidad en este libro.

Solamente explorando los detalles de la interacción del ser humano y al medio ambiente en casos específicos se puede lograr una apreciación completa de la ecología humana. Los ejercicios de 'Puntos de Reflexión' que se encuentran al final de cada capítulo pretenden estimular la traducción concreta de los conceptos a las circunstancias propias del lector.

Los reportes en las series anuales del *State of the World* y el *Worldwatch Paper* (Worldwatch Institute, Washington, DC) son fuentes valiosas de información para hacer algunos de estos ejercicios. Para obtener los beneficios máximos, los lectores deben desarrollar sus propios ejemplos – sus propias 'historias' – con tanto detalle como les sea posible. Así, la ecología humana cobrará vida, y los lectores empezarán a desarrollar visiones concretas acerca de las posibilidades de desarrollo ecológicamente sustentable de su propia comunidad.

Los términos técnicos, así como las palabras utilizadas de manera un tanto diferente de su significado general, se presentan en negritas la primera vez que aparecen en el texto. Sus significados se explican en el glosario.

Gerald Marten

CAPITULO 1

Introducción

¿QUÉ ES LA ECOLOGÍA HUMANA?

La **ecología** es la ciencia de las relaciones entre los seres vivos y su medio ambiente. La **ecología humana** trata de las relaciones entre las personas y el medio ambiente. El medio ambiente, en la ecología humana se percibe como un **ecosistema** (ver Figura 1.1). Un ecosistema es todo lo que existe en un área determinada – el aire, el suelo, el agua, los organismos vivos y las estructuras físicas, incluyendo todo lo construido por el ser humano. Las porciones vivas de un ecosistema – los microorganismos, las plantas y los animales (incluyendo a los seres humanos) – son su **comunidad biológica**.

Los ecosistemas pueden ser de cualquier tamaño. Un pequeño estanque en un bosque es un ecosistema, y el bosque entero es un ecosistema. Una granja es un ecosistema, y un paisaje rural es un ecosistema. Las villas, los pueblos y las grandes ciudades son ecosistemas. Una región de miles de kilómetros cuadrados es un ecosistema, y el planeta Tierra es un ecosistema.

Aunque los seres humanos son parte del ecosistema, es útil pensar en la interacción de los seres humanos y el ecosistema como la interacción del **sistema social** humano y el resto del ecosistema (ver Figura 1.1). El sistema social incluye todo acerca de las personas, su **población** y la psicología y **organización social** que moldean su comportamiento. El sistema social es un concepto central en la ecología humana porque las actividades humanas que ejercen algún impacto sobre los ecosistemas están fuertemente influenciadas por la sociedad en que viven las personas. Los valores y conocimientos – que constituyen juntos nuestra cosmovisión como individuos y como sociedad – determinan la manera en que procesamos e interpretamos la información y cómo la traducimos en acción. La tecnología define nuestro repertorio de acciones posibles. Estas posibilidades son limitadas por la organización social, y las instituciones sociales que especifican conductas socialmente aceptables, transformándolas en acciones reales. Al igual que los ecosistemas, los sistemas sociales pueden tener

cualquier escala – desde una familia hasta la totalidad de la población humana en el planeta.

El ecosistema proporciona servicios al sistema social transportando materia, energía e información hacia el sistema social, para satisfacer las necesidades de las personas. Estos **servicios ambientales** incluyen el agua, combustibles, alimentos, materiales para confeccionar vestimentas, materiales de construcción, y oportunidades de recreo. Los movimientos de materia son evidentes; los de energía e información no lo son tanto. Cada objeto material contiene energía, cosa que resulta más conspicua en el caso de alimentos y combustibles, y cada objeto contiene información en la manera en que está estructurado u organizado. La información puede moverse de los ecosistemas a los sistemas sociales, independientemente de la materia. La detección de una presa por un cazador, la observación que un agricultor hace de su parcela, la evaluación del tráfico que hace el habitante de una ciudad cuando cruza una calle, y un refrescante paseo por el bosque, son transferencias de información del ecosistema al sistema social.

La materia, energía e información se mueven del sistema social al ecosistema como consecuencia de las actividades humanas que ejercen algún impacto sobre el ecosistema:

- Las personas afectan al ecosistema cuando utilizan recursos como agua, peces, madera, y tierras de pastoreo.
- Después de utilizar los materiales de los ecosistemas, las personas los devuelven como desechos.
- Las personas modifican o reorganizan intencionalmente los ecosistemas existentes, o los crean nuevos, para satisfacer sus necesidades de la mejor manera posible.

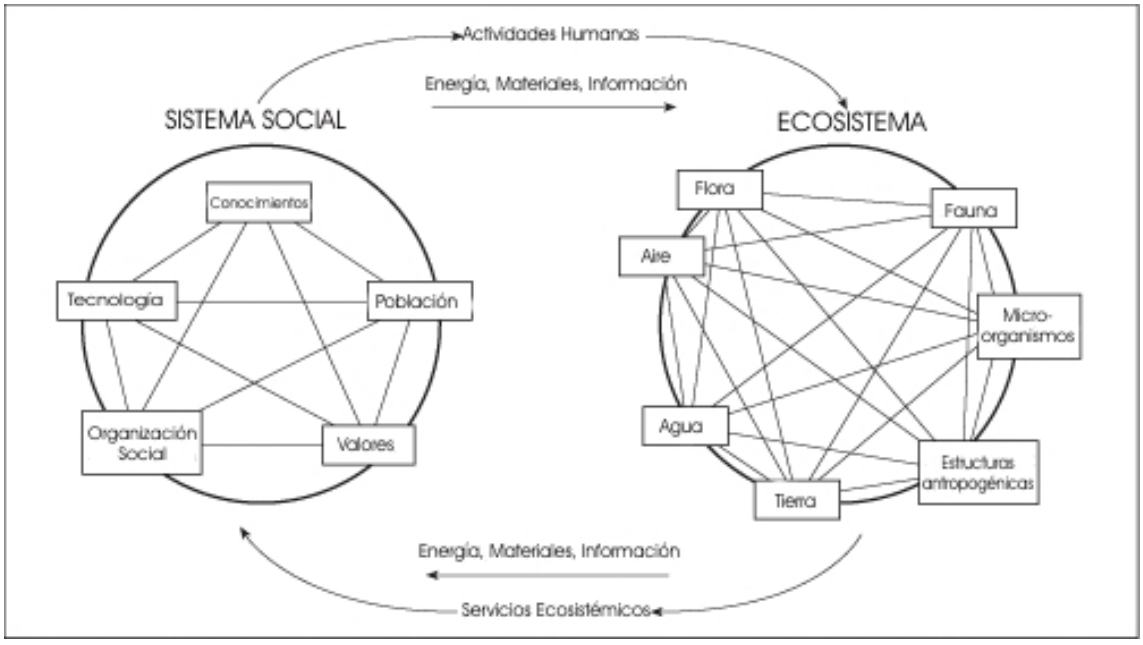


Figura 1.1. Interacción del sistema social humano y el ecosistema.

Mediante la utilización de máquinas o trabajo humano, las personas utilizan energía para modificar o crear ecosistemas moviendo materiales dentro de ellos, o entre unos y otros. Transfieren información del sistema social al ecosistema siempre que modifican, reorganizan o crean un ecosistema. El cultivo que siembra un agricultor, el espaciado entre cultivos, la alteración de la comunidad biológica de un campo mediante el deshierbe, y la modificación de la química del suelo al aplicar fertilizantes no son solamente transferencias de materiales, sino también transferencias de información, ya que el agricultor reestructura la organización del ecosistema de su granja.

Un ejemplo de interacción entre el sistema social y el ecosistema: la destrucción de animales marinos mediante la pesca comercial

La ecología humana analiza las consecuencias de las actividades humanas como una cadena de efectos a través del ecosistema y el sistema social humano. La siguiente historia es acerca de la pesca. La pesca se dirige hacia una parte del ecosistema; es decir, los peces, pero tiene efectos imprevistos en otras partes del ecosistema. Esos efectos desencadenan una serie de efectos adicionales del ecosistema hacia el sistema social y viceversa (ver Figura 1.2).

Las **redes de deriva** son redes de nylon que no se pueden ver dentro del agua. Los peces se enmallan en las redes de deriva cuando tratan de nadar a través de ellas. Durante los años ochenta, los pescadores utilizaron miles de kilómetros de redes de deriva para atrapar peces en todos los océanos del mundo. A mediados de esa década se descubrió que las redes de deriva estaban matando un gran número de delfines, tortugas, y otros animales marinos que se ahogaban al quedar enredados – una transferencia de información del ecosistema al sistema social ilustrada en la Figura 1.2.

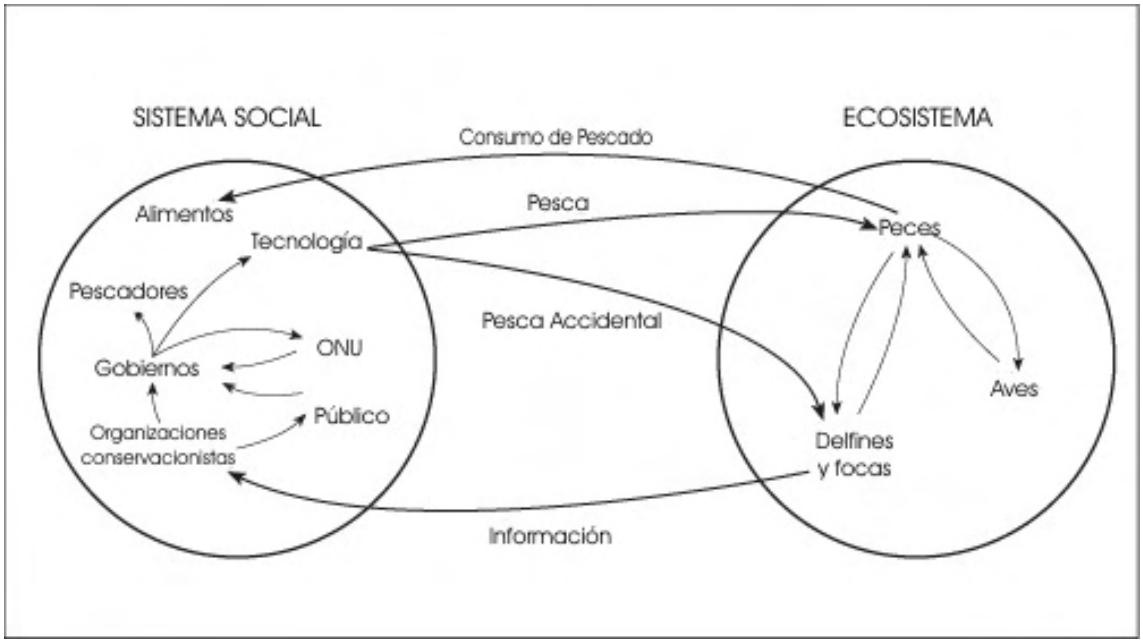


Figura 1.2 Cadena de efectos a través del ecosistema y el sistema social (pesca comercial oceánica).

Cuando las organizaciones conservacionistas se dieron cuenta de lo que las redes le estaban haciendo a los animales marinos, iniciaron campañas en contra del uso de redes de deriva, movilizando a la opinión pública y presionando a gobiernos con el fin de obligar a los pescadores a abandonar esta práctica. Los gobiernos de algunas naciones no respondieron, pero otras llevaron el problema ante la Organización de las Naciones Unidas, que aprobó una resolución para que todos los países dejaran de utilizar redes de deriva. Al principio, muchos pescadores no querían dejar de utilizarlas, pero sus gobiernos los obligaron a cambiar. Después de algunos años, los pescadores cambiaron de redes de deriva a palangres y otras artes de pesca. Los palangres, que ostentan muchos anzuelos con cebo en un cordel que mide con frecuencia varios kilómetros de largo, han sido un arte de pesca muy común durante muchos años. Los palangres usados actualmente por los pescadores ponen en el agua un total de varios cientos de millones de anzuelos en los océanos del mundo.

La historia de la red de deriva muestra cómo las actividades humanas pueden generar una cadena de efectos que pasa de un lado a otro entre el sistema social y el ecosistema. La pesca afectó al ecosistema (al matar delfines y focas), lo que a su vez condujo a un cambio en el sistema social (en la tecnología pesquera). Y la historia continúa hasta hoy. Hace unos seis años se descubrió que los palangres están matando grandes cantidades de aves marinas, especialmente albatros, cuando las líneas son tiradas al agua desde los barcos. Mientras los anzuelos se van desenrollando de la popa de un barco hacia el agua, las aves vuelan hacia ellos para comerse la carnada de los anzuelos que flotan detrás del barco, muy cerca de la superficie del agua (ver Figura 1.3). Las aves son atrapadas por los anzuelos, arrastradas bajo el agua, y ahogadas. Ya que algunas especies de aves podrían ser llevadas a la extinción local si no se suspende su matanza, los gobiernos y los pescadores están investigando modificaciones a los palangres para proteger a las aves. Algunos pescadores están utilizando una cubierta en la popa de sus barcos para evitar que las aves alcancen los anzuelos, y otros están añadiendo peso a los anzuelos para hundirlos más allá del alcance de las aves antes de que éstas puedan llegar a ellos. También se ha descubierto que las aves no acuden a la carnada que ha sido teñida de color azul.

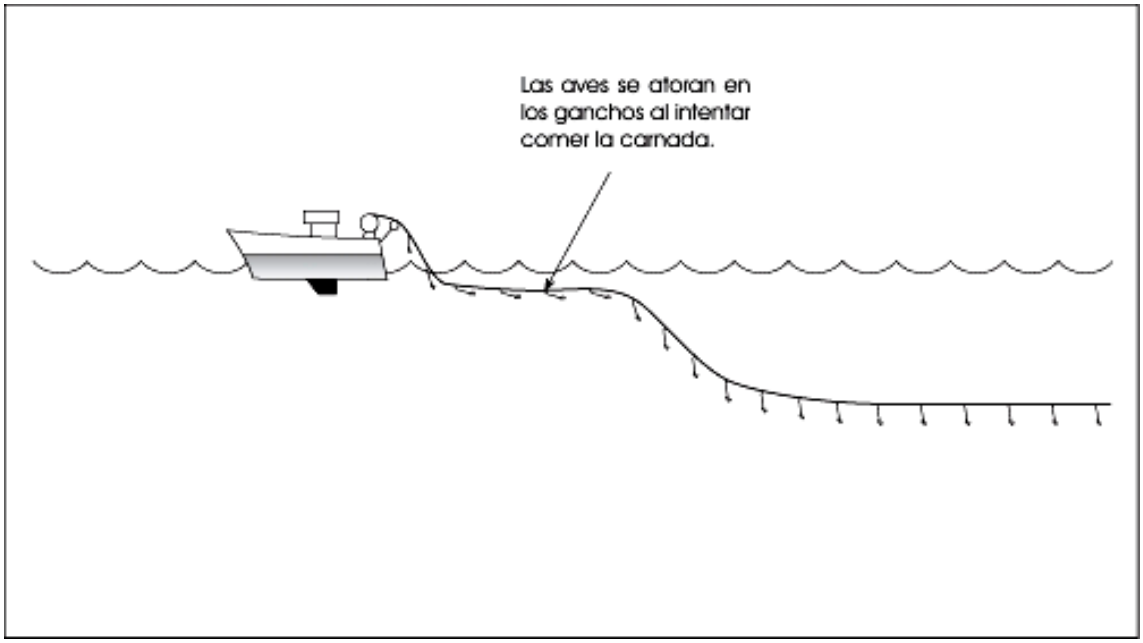


Figura 1.3 Pesca con palangres.

Esta historia continuará durante muchos años, mientras los efectos se muevan entre el ecosistema y el sistema social. Otra parte de la historia es la que atañe a las focas y otros animales piscívoros cuyas poblaciones pueden estar disminuyendo hacia la extinción en algunas áreas, debido a que la pesca excesiva ha reducido la disponibilidad de su alimento. Los efectos pueden reverberar en muchas direcciones a través del ecosistema marino. Parece ser que la disminución de las poblaciones de focas en aguas ribereñas de Alaska es la causa de la desaparición de los impresionantes bosques de algas de esa región. Las orcas que antes perseguían a las focas, se han adaptado a su disminución, cambiando su dieta por nutrias marinas, reduciendo así la población de esta especie. Los erizos de mar son el principal alimento de las nutrias marinas, y se alimentan de algas. La disminución de las poblaciones de nutrias marinas ha ocasionado el incremento de la abundancia de erizos de mar, y estos han diezmado los bosques de algas que constituyen un hábitat único para cientos de especies de animales marinos. (Al final del Capítulo 11 se presenta otro episodio de la historia de la pesca comercial y los animales marinos).

Deforestación y combustible para la cocina en la India

El problema de deforestación en la India es otro ejemplo de actividades humanas que generan una cadena de efectos entre el ecosistema y el sistema social. La siguiente historia muestra cómo una nueva tecnología (generadores de biogás) puede contribuir a resolver un problema ambiental.

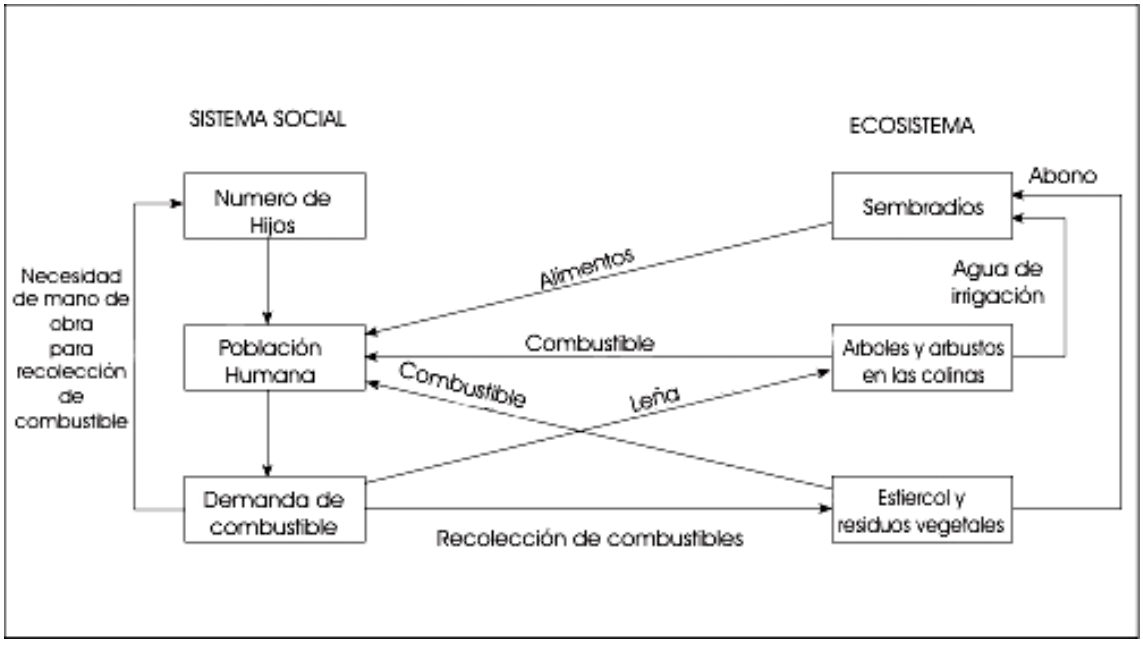


Figura 1.4 Deforestación y combustible para la cocina (cadena de efectos a través del ecosistema y sistema social).

Durante milenios la gente de la India ha cortado ramas de los árboles y arbustos para obtener combustible para cocinar sus alimentos. Esto no era un problema en tanto que no había demasiadas personas; pero la situación ha cambiado con el incremento radical que ha tenido la población de la India durante los últimos 50 años (ver Figura 1.4). Muchos bosques han desaparecido en años recientes debido a la cantidad de árboles y arbustos que se han talado para obtener combustible para la cocina. Actualmente no hay suficientes árboles y arbustos para proporcionar todo el combustible necesario. Las personas han reaccionado ante esta 'crisis de energía' haciendo que sus hijos busquen cualquier cosa que se pueda quemar, como ramitas, residuos de cosechas (los trozos de plantas que quedan en los campos de cultivo después de las cosechas) y estiércol de vaca. La recolección de combustible hace que los niños resulten aún más valiosos para sus familias, de manera que las parejas tienen más hijos. El incremento resultante en la población conduce a una mayor demanda de combustible.

La recolección intensiva de combustible para la cocina tiene varios efectos serios sobre el ecosistema. Al utilizar estiércol de vaca como combustible se reduce la cantidad de estiércol disponible para abonar los campos de cultivo, y la producción de alimentos disminuye. Además, el flujo de agua por las laderas, que irriga los campos durante la temporada de sequía, es menor cuando éstas se encuentran deforestadas. Y la

calidad del agua es menor porque las laderas deforestadas ya no tienen árboles que protejan el suelo de las lluvias intensas, de manera que la erosión es mayor y el agua de riego contiene grandes cantidades de sedimento que es depositado en los canales de riego, tapándolos. Esta disminución de la cantidad y calidad del agua de riego reduce aún más la producción de alimentos. El resultado para la población es una mala nutrición y peor salud.

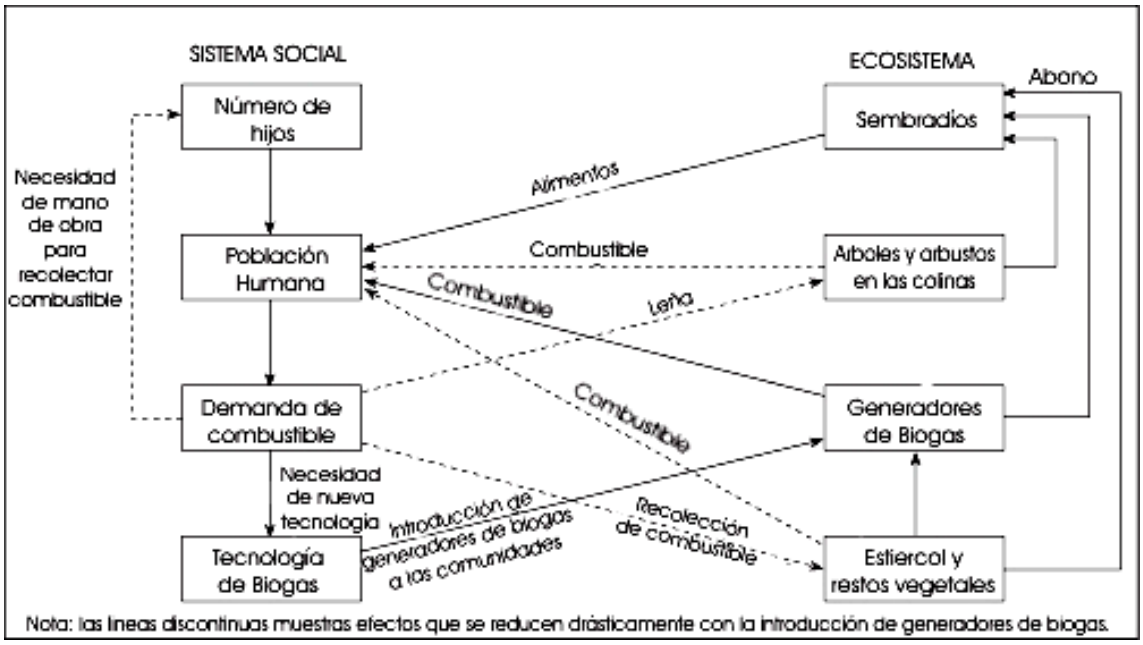


Figura 1.5 Cadena de efectos a través del sistema social y el ecosistema al introducir generadores de biogás a las aldeas.

Esta cadena de efectos, que involucra al crecimiento demográfico humano, la escasez de alimentos y la disminución de su producción, es un círculo vicioso del que es difícil escapar. Sin embargo, los generadores de biogás son una nueva tecnología que puede ayudar a mejorar la situación. Un generador de biogás es un gran tanque en el que las personas depositan los desechos humanos, el estiércol de los animales y los residuos vegetales, para que se descompongan. El proceso de descomposición genera una gran cantidad de gas metano, que puede utilizarse como combustible para cocinar alimentos. Una vez que ha finalizado la descomposición, los desechos animales y vegetales que permanecen en el tanque se pueden retirar, y ser colocados como fertilizante en los campos de cultivo.

Si el gobierno de la India introdujera generadores de biogás en las comunidades rurales, la gente tendría gas metano para cocinar, de manera que ya no requerirían

recolectar madera (ver Figura 1.5). Los bosques podrán crecer de nuevo para proporcionar agua para riego limpia y abundante. Una vez utilizados en los generadores de biogás, los desechos animales y vegetales podrán usarse para fertilizar los campos, la producción de alimentos incrementará, las personas estarán mejor nutridas y más saludables, y no necesitarán un gran número de niños para recolectar los escasos combustibles para cocinar.

Sin embargo, la manera en que se introduzcan los generadores de biogás en las comunidades puede determinar si esta nueva tecnología logra realmente aportar los beneficios ecológicos y sociales que se esperan de ella. La mayoría de las comunidades indias tiene unos cuantos agricultores ricos que poseen la mayor parte de las tierras. El resto de las personas son agricultores pobres que tienen muy poca, o ninguna, tierra. Si la gente debe pagar un precio elevado por los generadores de biogás, solamente las familias ricas podrán adquirirlos. Los pobres, que carecerán de generadores de biogás, obtendrán dinero recolectando estiércol de vaca para venderlo a los ricos, que lo usarán para alimentar sus generadores de biogás. A los pobres pueden no importarles demasiado los beneficios ecológicos de los generadores de biogás, porque un mejor suministro de agua para riego ofrece mayores beneficios a los agricultores ricos, que tienen más tierras.

En consecuencia, los beneficios de los generadores de biogás podrían favorecer a los más ricos, incrementando la brecha entre ricos y pobres. Los agricultores más pobres, que ven pocos beneficios a su favor, pueden continuar destruyendo los bosques, y la comunidad en conjunto podría obtener pocos beneficios de la nueva tecnología. Para mejorar esta situación, es importante asegurarse de que todos puedan obtener generadores de biogás. De esta manera todos gozarán de sus beneficios, y se romperá el círculo vicioso de la escasez de combustible y la deforestación.

DESARROLLO SUSTENTABLE

Las consecuencias no intencionadas como las descritas en la historia acerca de la pesca y los animales marinos no son infrecuentes. Muchas actividades humanas generan

impactos en el medio ambiente de maneras que son sutiles o inconspicuas, o involucran cambios tan lentos que las personas no se dan cuenta de lo que está sucediendo hasta que el problema es grave. Los problemas pueden aparecer de repente, y a veces a distancias muy considerables de los sitios donde se llevaron a cabo las actividades humanas que los ocasionaron.

El **mal de Minamata** es un ejemplo clásico de una consecuencia no intencionada. Hasta los años sesenta, el mercurio se utilizaba en muchos procesos industriales, como la producción de papel y plásticos. Las fábricas de plásticos de la región de Minamata en Japón descargaban rutinariamente desechos de mercurio en las aguas costeras adyacentes. Aunque se sabía que el mercurio era muy tóxico, nadie se preocupaba, porque se pensaba que el océano era muy grande. Sin embargo, las bacterias que habitaban alrededor de los desagües de las fábricas estaban transformando el mercurio en el aún más letal mercurio metano, que se estaba acumulando año tras año en el ecosistema costero. El mercurio era biológicamente acumulado al pasar de un nivel a otro de la **cadena alimenticia**, desde el **fitoplancton** (plantas microscópicas) al **zooplancton** (animales diminutos), a pequeños peces, y finalmente a los peces lo suficientemente grandes como para que la gente los comiera. Nadie se estaba dando cuenta de que la concentración de mercurio en los peces era más de un millón de veces mayor que la concentración en el agua de mar circundante.

Durante los años cincuenta, más de 1000 personas en la región de Minamata contrajeron una enfermedad que mató a varios centenares, dejó sobrevivientes con daños neurológicos devastadores y produjo severas deformaciones congénitas en muchos recién nacidos. Una vez que los pescados contaminados con mercurio fueron identificados como la causa del problema, los habitantes locales emprendieron una campaña para que las fábricas hicieran algo al respecto. Finalmente, después de varios años, el gobierno ordenó a las fábricas que dejaran de descargar mercurio; pero la gran cantidad de mercurio que ya se encontraba en el ecosistema costero continuó circulando a través de la red alimenticia. Pasaron cerca de 50 años antes de que los peces de la región de Minamata pudiesen comerse con seguridad de nuevo. Este dramático incidente condujo eventualmente a la eliminación mundial del mercurio en los procesos industriales de gran escala, aunque por desgracia el mercurio todavía se utiliza en la extracción de oro de las minas de parte de África, Latinoamérica y Asia.

Una reciente tragedia en Corea del Norte demuestra lo grave que puede resultar un error ecológico. Varios millones de personas han muerto de hambre durante los últimos cinco años debido a fracasos agrícolas ocasionados por inundaciones. Las causas son complejas, pero la deforestación parece jugar un papel importante en esta historia. La deforestación comenzó hace cien años con la explotación de los bosques coreanos bajo el colonialismo japonés, y continuó tras la división de Corea después de la Segunda Guerra Mundial. En vista de que el norte era la región industrial de Corea y el sur la región agrícola, el aislamiento del norte lo obligó a incrementar su producción de alimentos expandiendo las tierras agrícolas en lo que otrora fueron bosques. La utilización de madera a gran escala como combustible tanto doméstico como industrial, y la tala de árboles para la exportación de madera en rollo, redujeron aún más los bosques del norte.

Los bosques desempeñan una valiosa función al captar agua pluvial y liberarla hacia los arroyos y los ríos que proporcionan agua para las ciudades y la agricultura. La alfombra de hojas en descomposición de los suelos de los bosques absorbe agua como una esponja, y la retiene para soltarla gradualmente hacia los arroyos a lo largo de todo el año. Cuando las **cuencas hidrológicas** pierden sus bosques, los suelos pueden perder su capacidad para absorber agua pluvial como lo hacían anteriormente. El agua pluvial fluye más rápidamente por la cuenca, lo que ocasiona inundaciones durante la temporada de lluvias, y una disminución en el suministro de agua durante la temporada de secas. Corea del Norte fue deforestada durante casi un siglo antes de que se hicieran aparentes las desastrosas consecuencias. Hoy, las inundaciones devastadoras y la pérdida de cosechas se han convertido en eventos normales. Este error no se podrá corregir rápidamente, debido a que la reforestación lleva mucho tiempo. Lo que es peor, las mismas fuerzas que ocasionaron la deforestación han creado un círculo vicioso que la intensifica aún más. La deforestación ha reducido la producción agrícola, lo que ha generado la necesidad de importar fertilizantes y alimentos, forzando a Corea del Norte a cortar aún más árboles para pagar los bienes importados con los ingresos generados por la exportación de recursos forestales.

El **desarrollo sustentable** puede definirse como la satisfacción de las necesidades del presente sin que se comprometa la capacidad de las generaciones

futuras para satisfacer sus propias necesidades. Se trata de dejar a nuestros hijos y nietos la oportunidad de tener una vida digna. El propósito del desarrollo ecológicamente sustentable es mantener saludables a los ecosistemas. Se trata de interactuar con los ecosistemas de maneras tales que les permita mantener la suficiente integridad funcional como para continuar proporcionando a los seres humanos y a todas las demás criaturas del ecosistema los alimentos, agua, refugio y demás recursos que necesitan. Corea del Norte no ha sido ecológicamente sustentable porque no ha sido capaz de mantener suficiente cobertura forestal en las cuencas hidrológicas forestales, tan esencial para mantener un paisaje saludable. Tampoco el exterminio de los animales marinos, la destrucción de los bosques para obtener combustible para las cocinas, o la contaminación de los ecosistemas marinos con mercurio, son formas de desarrollo ecológicamente sustentable.

El desarrollo sustentable no significa sostener el crecimiento económico. Es imposible sostener el crecimiento económico si esto depende de incrementar permanentemente las cantidades de recursos provenientes de ecosistemas con capacidades limitadas para proporcionarlos. El desarrollo sustentable tampoco es un lujo que se debe perseguir después de que se han alcanzado el desarrollo económico y otras prioridades tales como la justicia social. Los ecosistemas deteriorados, mermados en su capacidad para satisfacer las necesidades humanas básicas, cancelan las oportunidades para alcanzar el desarrollo económico y la justicia social. Una sociedad saludable otorga igual atención a la sustentabilidad ecológica, al desarrollo económico y a la justicia social, porque se fortalecen entre sí.

La intensidad de las demandas sobre los ecosistemas

Hay una estrecha relación entre la sustentabilidad de la interacción hombre-ecosistema y la intensidad de las exigencias que la gente hace a los ecosistemas. Todos dependemos de los ecosistemas para obtener recursos energéticos y materiales. Algunos recursos, como los depósitos de minerales y combustibles fósiles, son **no renovables**; otros recursos, como los alimentos, el agua y los productos forestales, son **renovables**. La gente utiliza estos recursos, y después los devuelve al ecosistema como desechos, tales como el drenaje, la basura, o los efluentes industriales (ver Figura 1.6).

En términos generales, cuantos mayores son las demandas sobre los ecosistemas, en términos de la intensidad del uso de los recursos, resultan menos sustentables. El uso intenso de los recursos no renovables acaba más rápidamente con su disponibilidad, deteriorando la capacidad de los ecosistemas para proporcionarlos (esto se explica con mayor detalle en los Capítulos 6, 8 y 10). La interacción sustentable con los ecosistemas solamente es posible si las demandas se mantienen dentro de ciertos límites. Este no ha sido el caso durante las últimas décadas, ya que el crecimiento demográfico de la humanidad, así como el crecimiento industrial y económico, y el florecimiento del consumo material, han incrementado dramáticamente la escala de utilización de los recursos naturales. A medida que ha aumentado la conciencia ambiental, se han dado cambios en el sistema social para reducir la intensidad de las exigencias a los ecosistemas. En años recientes se ha dado un desplazamiento desde tecnologías que desperdician recursos, hacia tecnologías que los utilizan más eficientemente y reducen la contaminación.

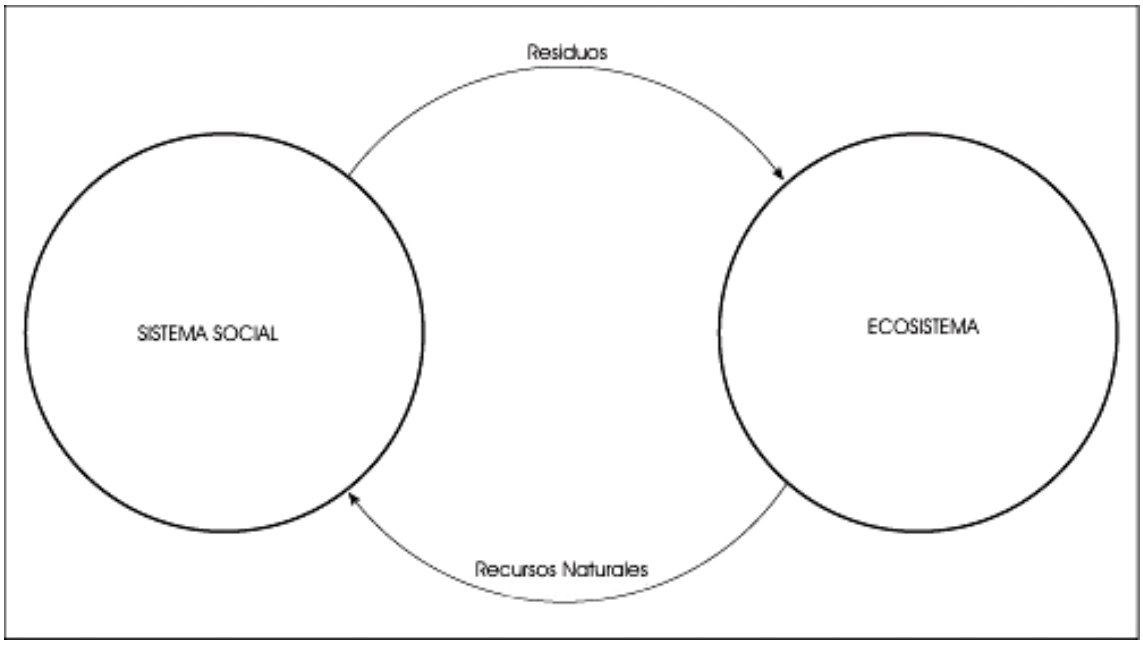


Figura 1.6 Uso humano de los recursos naturales.

Una población pequeña puede gozar de altos niveles de consumo sin exigir demasiado del medio ambiente. Aún utilizando las tecnologías más eficientes que se puedan imaginar, un exceso de personas viviendo en pobreza puede verse obligada a hacer exigencias insostenibles al medio ambiente. El nivel de consumo de las naciones más ricas es enormemente mayor que el de las más pobres. El impacto de la población en las naciones más ricas no sólo radica en el gran número de personas que ya tienen,

sino también en el hecho de que sus intensas demandas se extienden a ecosistemas más allá de sus fronteras. Las naciones del mundo en desarrollo aspiran al desarrollo económico con niveles más altos de producción industrial y de consumo, aspiraciones que se ven obstaculizadas por el crecimiento demográfico acelerado que actualmente tipifica a esa parte del mundo.

Intensidad de las exigencias sobre ecosistemas =
Población * Niveles de Consumo * Tecnología

La intensidad de las exigencias sobre los ecosistemas:

- La cantidad total de los recursos materiales y energéticos requeridos para la producción industrial y agrícola; más
- La contaminación generada por la producción industrial y agrícola.

Población: el número de personas que utilizan los productos industriales y agrícolas.

Nivel de Consumo: la cantidad per capita de producción industrial y agrícola. Íntimamente relacionada con la opulencia material de la sociedad.

Tecnología: la cantidad de recursos utilizada y de contaminación generada por unidad de producción industrial y agrícola.

Recuadro 1.1 La intensidad de las exigencias sobre ecosistemas.

ESTRUCTURA DEL LIBRO

La primera mitad de este libro explica cómo funcionan e interactúan los ecosistemas y los sistemas sociales como **sistemas complejos adaptativos** que se auto-organizan. Trata los conceptos de sistemas y los principios ecológicos esenciales para la discusión de la interacción hombre-medio ambiente que se desarrolla posteriormente. El Capítulo 2 utiliza el crecimiento y regulación de las poblaciones animales para ilustrar la retroalimentación positiva y negativa – conceptos clave para entender las dinámicas de los ecosistemas y los sistemas sociales. El Capítulo 3 relata la historia del crecimiento demográfico humano, explicando las causas y consecuencias del crecimiento sin precedentes que vemos en nuestros días. Los Capítulos 4 y 5 explican cómo se organizan los ecosistemas y cómo se aplican los mismos principios de organización a los sistemas sociales humanos. El Capítulo 6 demuestra cómo los ecosistemas cambian continuamente debido a procesos naturales y al impacto de las

actividades humanas. Muestra cómo las actividades humanas pueden ocasionar cambios no intencionados en los ecosistemas – cambios que a veces resultan indeseables e irreversibles.

En la segunda mitad del libro, enfocamos la atención hacia las interacciones entre los sistemas sociales y los ecosistemas. En el Capítulo 7 se presenta un concepto central para la interacción hombre –ecosistema: la coevolución y coadaptación de los sistemas sociales y los ecosistemas. Por lo general, los sistemas sociales que se encuentran coadaptados a los ecosistemas son ecológicamente más sustentables. El Capítulo 8 describe los procesos biológicos que mueven la materia y energía a través de los ecosistemas – y entre los seres humanos y los ecosistemas. Ilustra cómo la cantidad de materia y energía que los ecosistemas pueden proporcionar para el uso humano se ve afectada por la manera en que son utilizadas por la gente. El Capítulo 9 esboza las percepciones y valores que moldean las acciones humanas hacia los ecosistemas, y el Capítulo 10 examina las muchas razones por las que la sociedad moderna interactúa de una manera no sustentable con los ecosistemas de los que depende para sobrevivir. El Capítulo 11 perfila los principios de la interacción sustentable con los ecosistemas y presenta ejemplos de instituciones sociales que hacen realidad la sustentabilidad de esta interacción. El Capítulo 11 termina enfatizando la necesidad de incorporar la capacidad dinámica de adaptación para el desarrollo sustentable a nuestra sociedad moderna. El Capítulo 12 presenta dos estudios de caso que ilustran el desarrollo ecológicamente sustentable. El primero trata de una tecnología ecológica, y el segundo es un programa regional de manejo ambiental.

PUNTOS DE REFLEXION

1.- La Figura 1.4 resume la historia del combustible para la cocina y la deforestación en la India. Mire cada una de las flechas de la figura y escriba el efecto que representa, de modo que pueda trazar la cadena de efectos a través del sistema social de la comunidad y el ecosistema. Por ejemplo, la flecha que va de la ‘Población humana’ a la ‘Demanda de combustible para la cocina’ puede describirse como ‘El incremento de la población humana aumenta la demanda de combustible para la cocina’. Ahora mire las flechas de la Figura 1.5. Empezando con la ‘Demanda de combustible para la cocina’, note cómo la dirección de los efectos de la Figura 1.5 es distinta de la de los de la Figura 1.4,

debido a que la tecnología de biogás forma parte de la historia. Comience con la flecha que va de la 'Demanda de combustible para la cocina' a la 'Tecnología de biogás', que representa que 'Una alta demanda de combustible para la cocina conduce a la tecnología de biogás'. La flecha que corre de la 'Tecnología de biogás' a los 'Generadores de biogás' representa que hay una 'Introducción de generadores de biogás en la comunidad', y así sucesivamente.

2.- Construya un ejemplo de cadena de efectos a través del ecosistema y el sistema social, utilizando información de artículos periodísticos o de revistas, además de su conocimiento personal. Ilustre el ejemplo con un diagrama.

3.- Piense en ejemplos de consecuencias no intencionadas en el medio ambiente, utilizando información de artículos periodísticos o de revistas, además de su conocimiento personal. ¿Porqué tardó tanto tiempo la gente en darse cuenta de lo que estaba sucediendo? ¿Porqué se hizo evidente el problema tan rápidamente?

4.- Fíjese en la ecuación de 'intensidad de demandas sobre los ecosistemas' y piense en cómo están cambiando en su país la población, el consumo y la tecnología. ¿Cuáles son algunas de las formas más importantes en que los cambios en la población, el consumo y la tecnología están cambiando las exigencias de su nación sobre los ecosistemas? ¿Cuál es la contribución de cada uno de estos factores en la magnitud del cambio en las demandas sobre los ecosistemas?

5. ¿Piensa usted que es posible que en su país se dé un proceso de desarrollo ecológicamente sustentable? ¿Es esto posible para todo el planeta? Aún si el desarrollo ecológicamente sustentable fuese posible, ¿piensa usted que realmente llegue a suceder? ¿Le parece más probable que el desarrollo ecológicamente sustentable se lleve a cabo en algunos lugares más que en otros?

CAPITULO 2
Poblaciones y Sistemas de Retroalimentación.

¿Por qué a veces los problemas ambientales aparecen tan de repente? La explicación se debe a las retroalimentaciones positivas y negativas – fuerzas poderosas que moldean el comportamiento de todos los sistemas biológicos, desde las células a los sistemas sociales y los ecosistemas. La retroalimentación es el efecto que tiene un cambio en una parte de un ecosistema o un sistema social sobre esa misma parte después de pasar por una cadena de efectos en otras partes del sistema. La **retroalimentación negativa** genera **estabilidad**. Todos los ecosistemas y los sistemas sociales tienen centenares de circuitos de retroalimentación que mantienen a todas las partes del sistema dentro de los límites necesarios para que el sistema en conjunto continúe funcionando adecuadamente. La **retroalimentación positiva** genera *cambios*. La retroalimentación positiva es la responsable de la aparición súbita de problemas ambientales y de muchos otros cambios rápidos en el mundo que nos rodea.

La comunidad biológica de un ecosistema consiste en las poblaciones de todas las especies de plantas, animales y microorganismos que lo habitan. Las personas interactúan de manera directa o indirecta con estas poblaciones siempre que interactúan con un ecosistema. Este capítulo explica cómo la retroalimentación positiva hace que las poblaciones crezcan rápidamente cuando hay un exceso de recursos. También explica cómo la retroalimentación negativa restringe el tamaño de las poblaciones de todas las especies de una comunidad biológica dentro de los límites que el ecosistema puede sostener.

CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO EXPONENCIAL

Una sencilla historia acerca del **crecimiento demográfico exponencial** puede mostrar porqué los problemas ambientales aparecen a veces tan súbitamente. El lirio acuático es una planta flotante que se ha extendido desde Sudamérica a cuerpos de agua alrededor del mundo. Su cobertura de la superficie del agua puede ser tan tupida que llega a obstruir el movimiento de embarcaciones.

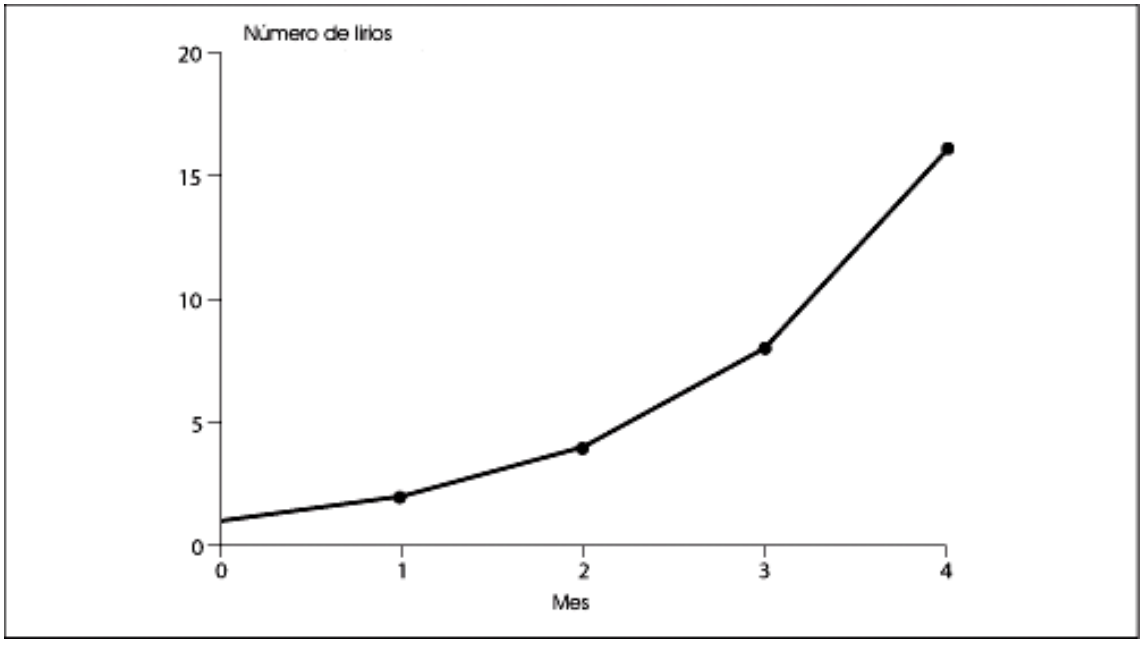


Figura 2.1 Crecimiento de la población de jacinto acuático durante los primeros 4 meses después de la introducción de un solo lirio a un lago.

Imagine un lago de 10 kilómetros de diámetro. Se requieren ocho mil millones de plantas de lirio para cubrir completamente un lago de este tamaño. Al principio, nuestro lago no tiene un solo lirio. Entonces, introducimos una planta de lirio al lago. Después de un mes, esta planta ha formado dos individuos. Después de otro mes, las dos plantas se han transformado en cuatro (ver Figura 2.1), y la duplicación continúa mes tras mes. Dos años después, los lirios se han multiplicado para formar 17 millones de plantas. Nadie les pone demasiada atención porque 17 millones de plantas únicamente cubren 0.2 por ciento de la superficie del lago.

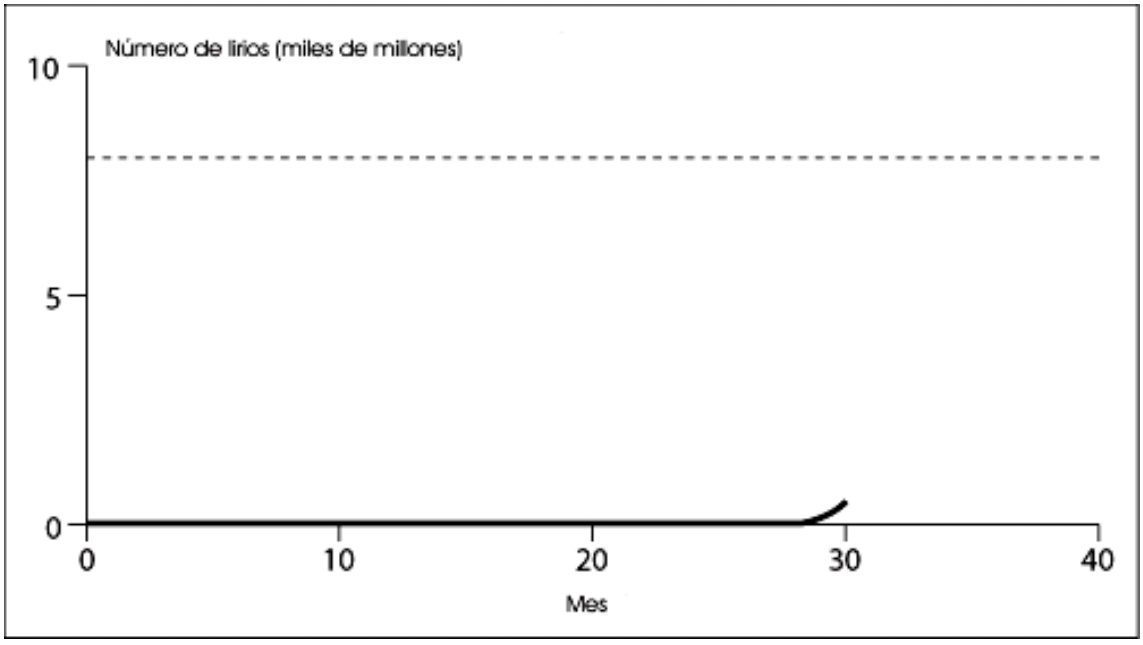


Figura 2.2 Población de jacinto después de 30 meses.

Al cabo de seis meses más, treinta meses después de que introdujimos la primera planta al lago, hay mil millones de lirios, que cubren alrededor de 13 por ciento del lago (ver Figura 2.2). Ahora la gente empieza a darse cuenta de la presencia de los lirios. Aunque no hay suficiente para significar un problema para el movimiento de las embarcaciones, algunas personas empiezan a preocuparse. Otras dicen, 'No hay porque preocuparse. Pasó mucho tiempo antes de que llegara a haber tantos lirios. Y pasará mucho más antes de que haya suficientes como para que signifiquen un problema'. ¿Quién tiene la razón? ¿Se encuentra el problema muy alejado en el futuro, o va a surgir muy pronto? De hecho, con los lirios duplicándose cada mes, el lago se encontrará completamente cubierto después de únicamente tres meses más (ver Figura 2.3).

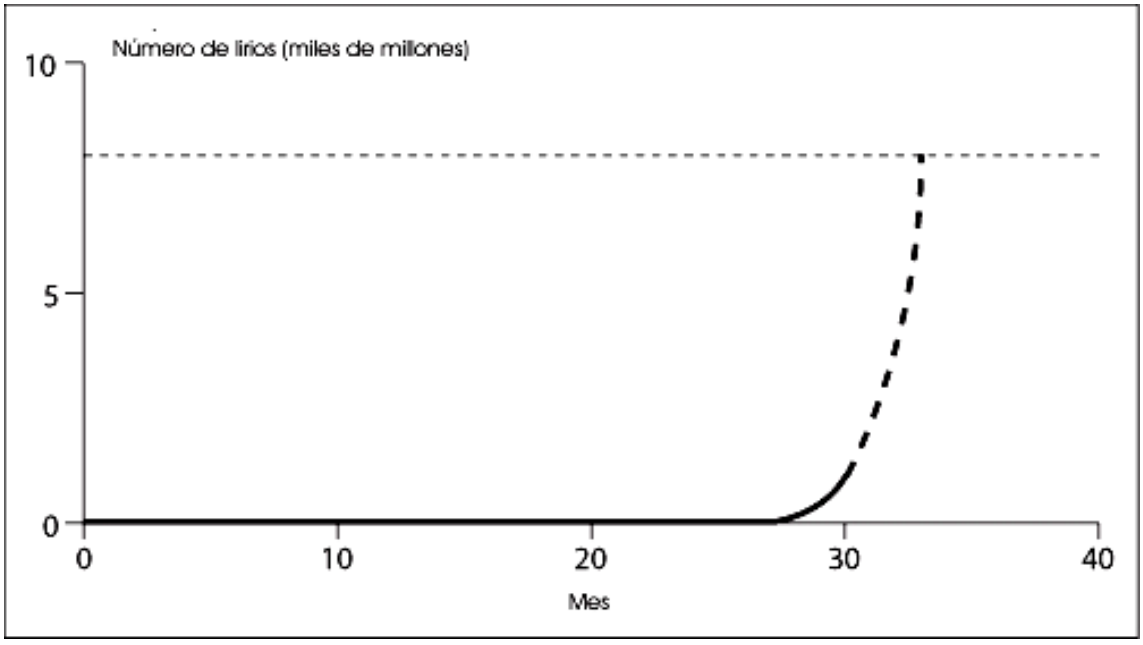


Figura 2.3 Crecimiento exponencial de la población de jacinto acuático.

Esta es una historia verdadera. El lirio acuático se ha convertido en un fastidio incontrolable en muchos lugares, incluyendo el segundo lago más grande del mundo – el Lago Victoria en África Oriental – donde los peces son una importante fuente de proteínas para millones de personas. Actualmente hay partes del Lago Victoria que están tan tupidas de lirios que las embarcaciones pesqueras no se pueden mover por el agua. Millares de pescadores se han quedado sin trabajo, y el suministro de pescado se ha reducido muy significativamente.

La historia del lirio acuático trata de plantas que flotan en un lago, pero también aplica a la población humana en el planeta Tierra. La rápida ocupación del lago por los lirios después de que su población se volvió conspicua es comparable al crecimiento demográfico exponencial que hoy está llenando de humanos al planeta. La capacidad de carga que tiene la Tierra para la especie humana puede llegar a unos ocho mil millones de individuos; y la población humana en el planeta ya es de seis mil millones. Nadie sabe exactamente a cuántas personas puede soportar la Tierra de manera sustentable. Su capacidad de carga para los seres humanos depende de la tecnología, incluyendo la del futuro. También depende de los impactos que las actividades humanas ejercen sobre los ecosistemas, actividades que por primera vez se están llevando a cabo de manera intensiva a escala global. No obstante, la historia de los lirios implica lo mismo para la

población humana, independientemente de que la capacidad de carga de la Tierra sea de seis mil millones, ocho mil millones, diez mil millones, o incluso algo más.

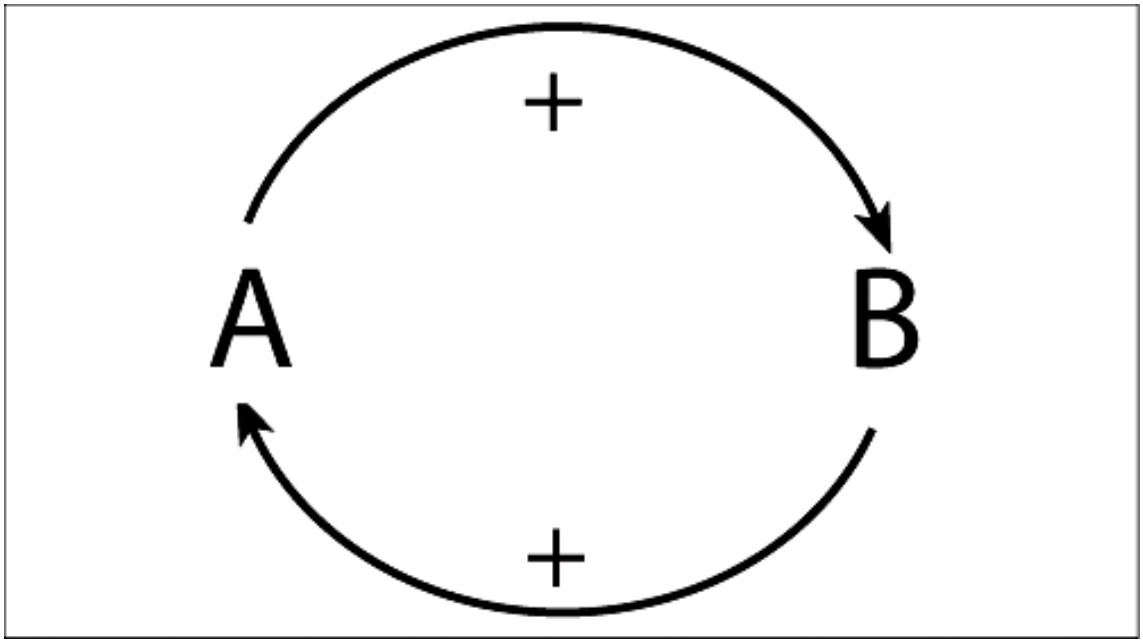


Figura 2.4 Circuito de retroalimentación positiva.

RETROALIMENTACIÓN POSITIVA

La historia de los lirios acuáticos es un ejemplo de **retroalimentación positiva** – una cadena circular de efectos que incrementa el cambio. Muchos cambios en los ecosistemas parecen ser muy rápidos debido a la retroalimentación positiva. Cuando crece una parte de un ecosistema, otra parte cambia de manera que la primera crezca aún más. Hay una retroalimentación positiva siempre que *A* tiene un efecto positivo sobre *B*, y *B* tiene un efecto positivo sobre *A* (ver Figura 2.4). La retroalimentación positiva es una fuente de inestabilidad, es una fuerza para el cambio.

El crecimiento exponencial es un ejemplo de retroalimentación positiva (ver Figura 2.5). El crecimiento demográfico exponencial ocurre cuando hay un exceso de alimento, espacio y otros recursos que permite que una población de plantas o animales crezca sin límite. Una mayor población conduce a más nacimientos, y más nacimientos llevan a una población creciente. La historia del lirio acuático no trata únicamente de las plantas que flotan en un lago. Ilustra cómo el crecimiento demográfico de las poblaciones humanas en años recientes, y el crecimiento exponencial en el uso de los recursos naturales y la contaminación debida a la industrialización, puede alcanzar

súbitamente los límites de los ecosistemas para proporcionar recursos y absorber la contaminación.

La retroalimentación positiva incrementa el cambio, pero no siempre genera crecimiento. Si un cambio es descendente, la retroalimentación positiva puede hacer que ese descenso se haga aún mayor. Esto puede suceder con las poblaciones. Cuando el número de animales de una población de una **especie amenazada** se hace tan pequeño que les resulta difícil encontrar parejas, los nacimientos son menos y la población decrece. La disminución de la población hace más difícil que encuentren pareja, y la población disminuye aún más. La retroalimentación positiva genera un decremento poblacional que conduce a la extinción.

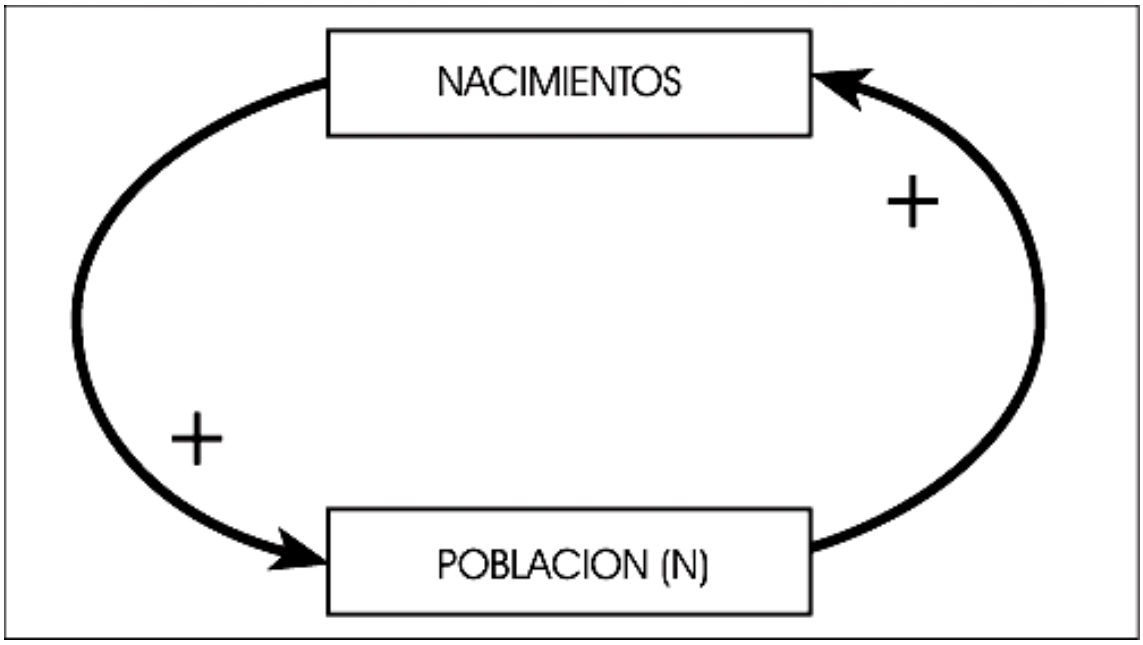


Figura 2.5 El circuito de retroalimentación positiva genera crecimiento exponencial de la población.

La retroalimentación positiva no sólo acontece entre las poblaciones de plantas y animales. También es común en los sistemas sociales humanos. La estimulación mutua de las relaciones amigables o antagónicas entre individuos o grupos es un ejemplo de retroalimentación positiva. La retroalimentación positiva indeseable se llama 'círculo vicioso'. La carrera armamentista de la Guerra Fría entre los Estados Unidos y lo que fuera la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas nos proporciona un ejemplo de retroalimentación positiva. Cuando los Estados Unidos desarrollaron más y mejores armamentos, la Unión Soviética se alarmó por el incremento en el poderío militar Americano, y esto la estimuló a desarrollar más y mejores armas. Los Estados Unidos,

alarmados ante el crecimiento del poder militar soviético, desarrollaron aún más armas. La retroalimentación positiva ocasionó una espiral ascendente de armamento en las dos naciones. El proceso se revirtió cuando terminó la guerra Fría, y los Estados Unidos y la Unión Soviética acordaron reducir parcialmente su armamento. Aunque la reducción internacional de armamentos ha sido un proceso muy complejo, una parte muy importante de la historia ha consistido en la estimulación recíproca entre los Estados Unidos y la Unión Soviética para reducir progresivamente la cantidad de armas que han dirigido una nación contra la otra. Lo mismo que la espiral ascendente se debió a la retroalimentación positiva, la espiral descendente también ha sido debida a la retroalimentación positiva.

Un ejemplo de retroalimentación positiva que ocasiona que una cosa substituya a otra

La retroalimentación positiva puede ocasionar que una cosa aumente y otra disminuya. Cuando hay competencia entre dos partes de un ecosistema, la retroalimentación positiva hace que una parte sustituya a la otra. La victoria de las cintas de video en formato VHS sobre las Betamax es un buen ejemplo. Hace veinticinco años, cuando las grabadoras de video aparecieron por primera vez en el mercado, había dos sistemas completamente diferentes para las grabadoras de video. Los sistemas eran VHS y Betamax, y eran incompatibles entre sí. En las grabadoras de formato VHS sólo podían utilizarse cintas VHS, y en las de formato Betamax, sólo podían utilizarse cintas Betamax.

El público no sabía qué sistema elegir porque el costo y la calidad de uno y otro eran más o menos equivalentes. En consecuencia, algunas personas adquirieron grabadoras VHS, y otras compraron grabadoras Betamax. Al principio, aproximadamente la mitad de las personas tenía VHS, y la otra mitad Betamax, de manera que más o menos la mitad de las cintas de video en las tiendas era del formato VHS, y las demás eran Betamax. La situación continuó así durante varios años. Después, el número de grabadoras y cintas del formato VHS empezó a crecer exponencialmente, y el número de las Betamax disminuyó de una manera igualmente veloz. El formato Betamax desapareció, y ahora todo mundo utiliza el VHS.

¿Por qué ganó la competencia el formato VHS? La Figura 2.6 muestra lo sucedido. El gran cambio comenzó cuando poco más de la mitad de las personas tenía VCR de formato VHS. En ese momento, las compañías cinematográficas comenzaron a hacer más películas en cintas de video con el sistema VHS porque más personas tenían grabadoras VHS y por tanto adquirían cintas VHS. Entonces, más personas seleccionaban el formato VHS al comprar nuevas grabadoras, porque había más películas disponibles en formato VHS. En consecuencia, había cada vez más grabadoras VHS, y menos del formato Betamax, de manera que las compañías cinematográficas sacaron aún más películas en el formato VHS y menos en cintas Betamax. En otras palabras, un incremento en el formato VHS desencadenó una serie de efectos a través del sistema que ocasionó que el formato Betamax disminuyera aún más. Estos fueron circuitos de retroalimentación positiva que llevaron al formato VHS a la victoria y ocasionaron que el Betamax desapareciera.

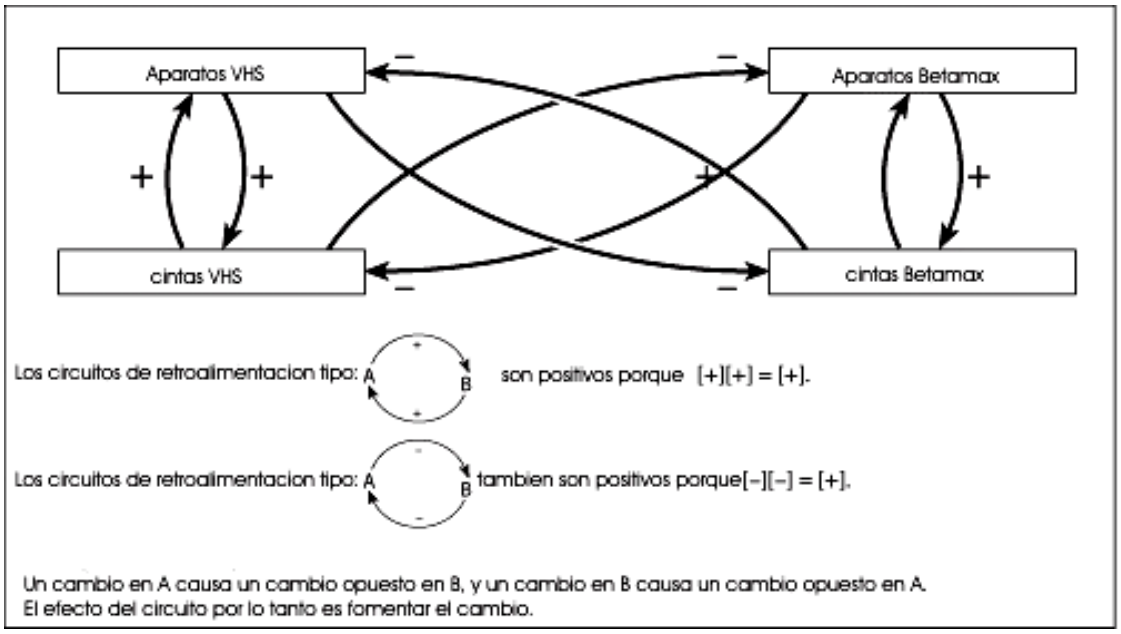


Figura 2.6 Circuitos de retroalimentación positiva que resultaron en la sustitución de cintas Betamax por VHS.

Los mismos tipos de circuitos de retroalimentación están presentes en los ejemplos de sucesión ecológica descritos en el capítulo 6. Véase en particular el ejemplo de degradación de pastizales debido a sobrepastoreo.

RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

La **retroalimentación negativa** es una cadena circular de efectos que se opone al cambio. Mantiene las cosas en el mismo estado. Cuando una parte de un sistema cambia demasiado con respecto a lo que debiera ser, otras partes del sistema cambian de manera que dan marcha atrás al cambio que aconteció en un principio. La función de la retroalimentación negativa consiste en mantener las partes del sistema dentro de los límites necesarios para la supervivencia. La retroalimentación negativa es una fuente de **estabilidad**; es una fuerza contra el cambio.

La **homeostasis** es un ejemplo de retroalimentación negativa en los sistemas biológicos. La homeostasis es el control de las condiciones físicas y químicas internas de un organismo para que permanezcan dentro de los límites requeridos para su supervivencia. La Figura 2.7 muestra cómo se utiliza la retroalimentación negativa para controlar la temperatura del cuerpo humano.

Si la temperatura corporal se incrementa a más de 37^{o} Celsius, la retroalimentación negativa reduce la temperatura corporal a través de:

- una reducción en la generación metabólica de calor; y
- un incremento en la pérdida de calor del cuerpo (aumentando el aporte de sangre a la piel y el sudor).

Si la temperatura corporal disminuye por debajo de 37^{o} Celsius, la retroalimentación negativa incrementa la temperatura corporal a través de:

- Un incremento en la generación de calor (tiritando); y
- Una reducción en la pérdida de calor (disminuyendo el flujo de sangre hacia la piel y el sudor).

Mantener la temperatura alrededor de 37^{o} Celsius es esencial para la supervivencia de una persona.

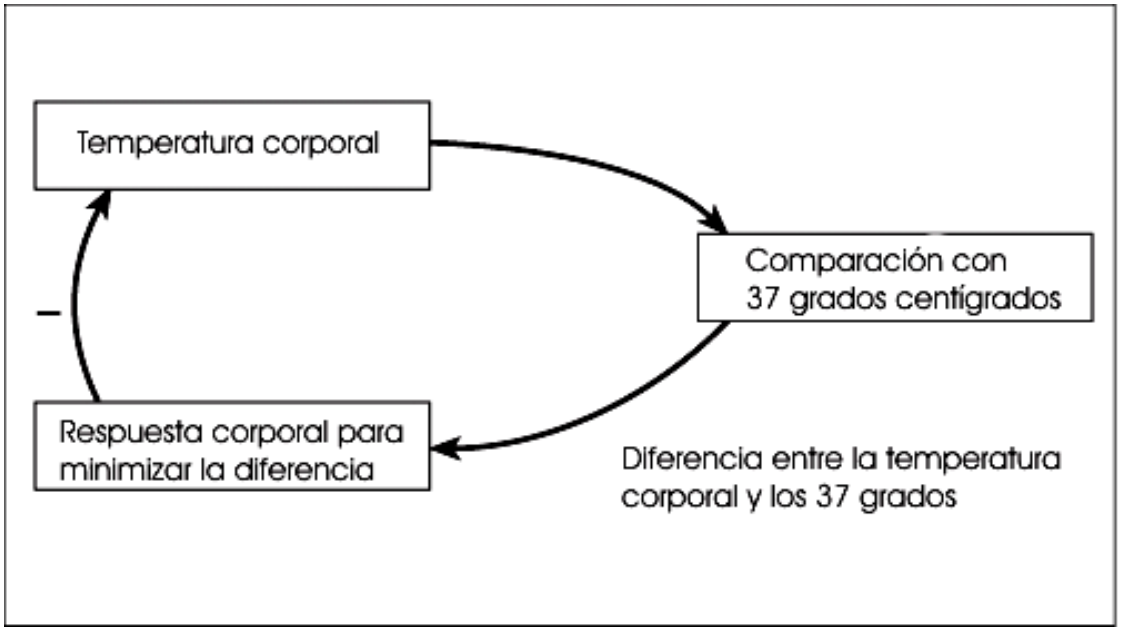


Figura 2.7 Control de la temperatura corporal por retroalimentación negativa.

La retroalimentación negativa es común en los sistemas sociales. Por ejemplo, las personas utilizan la retroalimentación negativa al conducir un automóvil. Si el auto empieza a salir del camino, se gira el volante en sentido opuesto para regresar al camino. En otras palabras, cuando la trayectoria empieza a cambiar, la retroalimentación negativa del conductor revierte el cambio devolviendo el auto a su curso. Los ingenieros utilizan la retroalimentación negativa en las máquinas. Si un aeroplano empieza a descender a tierra cuando no debiera hacerlo, el 'piloto automático' de la nave hace que se eleve para mantenerlo en la altitud correcta.

REGULACIÓN DE LAS POBLACIONES

Imagínese un bosque sin ciervos. Eventualmente, un ciervo macho y una hembra llegan a ese bosque. Después de un año producen dos cervatillos. Un año más tarde, estos nuevos ciervos jóvenes tienen la edad suficiente para reproducirse, y cada pareja produce dos cervatillos más. La población de ciervos continúa duplicándose cada año, y después de diez años ya hay 1,000 ciervos. Los ciervos necesitan una gran cantidad de alimento para crecer y producir crías. Sin embargo, ya no hay tanto alimento como antes, ya que un mayor número de ciervos consume demasiado. Los ciervos son menos

saludables, más susceptibles a las enfermedades, y a veces mueren jóvenes por falta de alimento. Además, una cierva malnutrida puede producir un solo cervatillo, en lugar de dos.

Esta historia nos dice que los ciervos se ven limitados por la disponibilidad de alimento:

- Cuando la población crece, el alimento disponible disminuye.
- Cuando la población disminuye, el alimento disponible aumenta.

- Cuando crece la cantidad de alimento disponible, aumentan los nacimientos y las muertes disminuyen.
- Cuando decrece la cantidad de alimento disponible, disminuyen los nacimientos y aumentan las muertes.

- Así, cuando aumenta la población, disminuye la disponibilidad de alimento, la tasa de nacimiento (nacimientos/población) disminuye, y la tasa de mortalidad (muertes/población) incrementa.
- Cuando disminuye la población, aumenta la disponibilidad de alimento, se incrementa la tasa de nacimientos, y la de mortalidad decrece.

Regulación de las poblaciones y capacidad de carga

La historia de los ciervos es también la de todas las plantas y los animales, incluyendo al ser humano. ¿Por qué tienen las plantas y los animales los índices de abundancia que tienen?, ¿por qué no hay más?, ¿o menos? La explicación se encuentra en la **regulación de las poblaciones**. La regulación de las poblaciones hace uso de la retroalimentación negativa para mantener a las poblaciones de plantas y animales dentro de los límites de **capacidad de carga** de su medio ambiente. La capacidad de carga es el tamaño de la población que el alimento disponible en el medio ambiente puede soportar a largo plazo (es decir, que resulte sustentable). En vista de que los recursos que sostienen a las poblaciones son limitados, ninguna población puede exceder durante mucho tiempo la capacidad de carga de su medio ambiente.

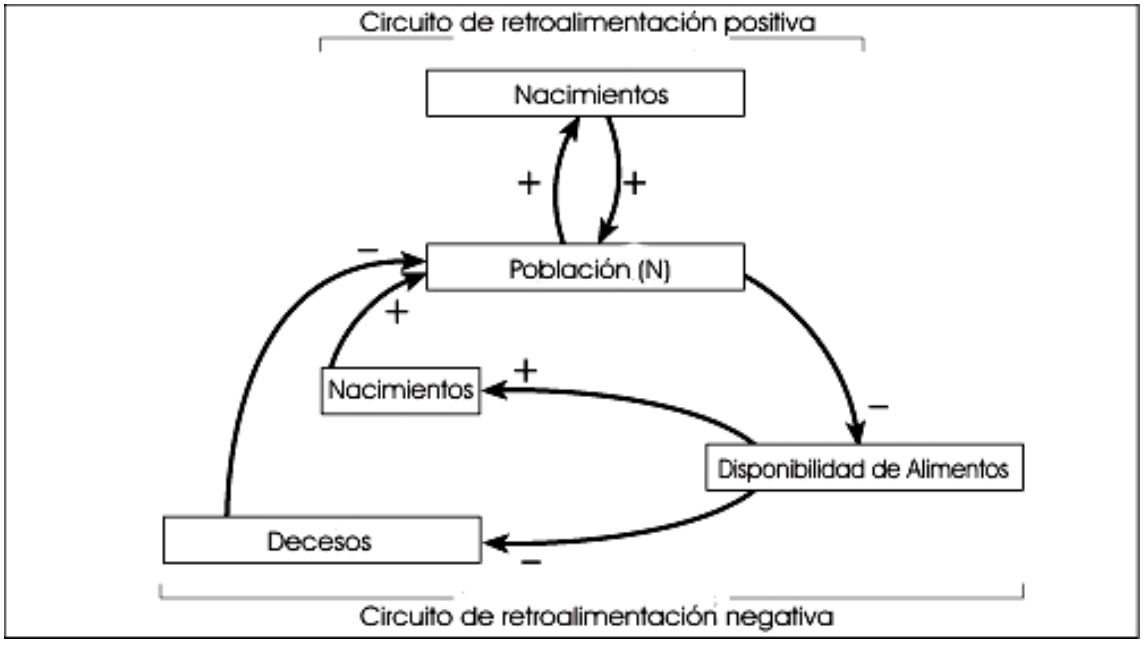


Figura 2.8 Regulación de la población por el abasto de alimento. Nota: el circuito de retroalimentación negativa a través de alimentos y nacimientos es (-)(+)(+) = (-). El circuito de retroalimentación negativa de alimentos y muertes es (-)(-)(-) = (-)

La Figura 2.8 muestra cómo una población se ve afectada por la retroalimentación positiva y la negativa. Con el circuito de la retroalimentación positiva, un incremento en el tamaño de la población conduce a una mayor cantidad de nacimientos, lo que hace que la población aumente aún más. Con el circuito de la retroalimentación negativa, un aumento en el tamaño de la población reduce la disponibilidad de alimento. Una menor cantidad de alimento significa más muertes y menos nacimientos.

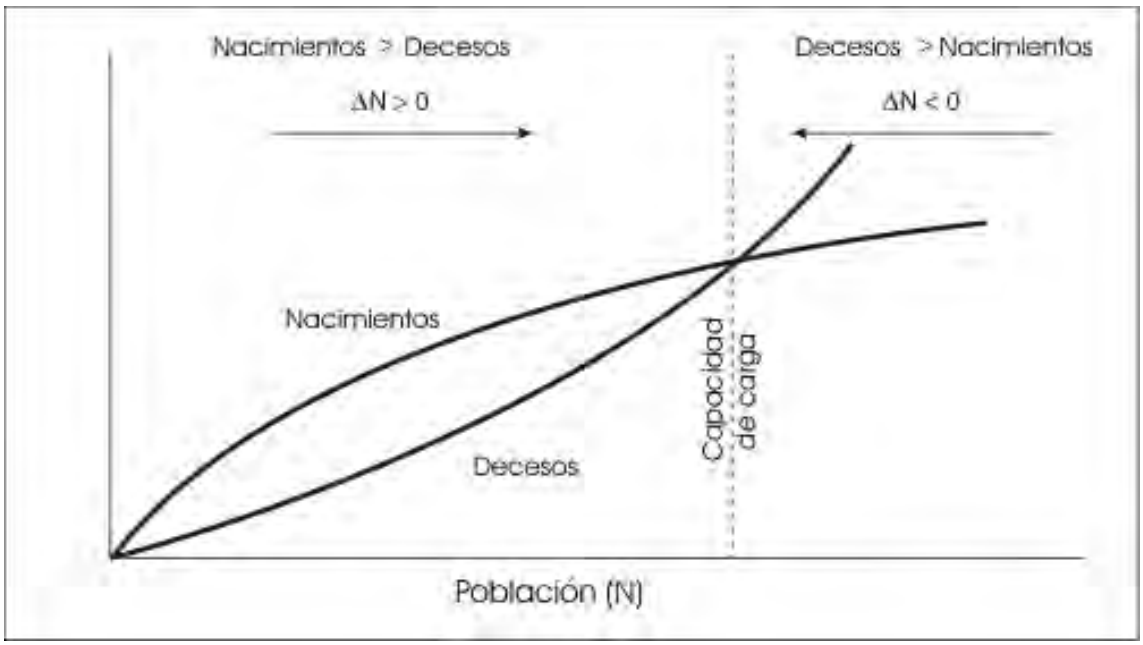


Figura 2.9 Relación entre cambios poblacionales y capacidad de carga. Nota: N = población ; ΔN = cambio en la población; ΔN = (total de nacimientos en una población) – (total de muertes en una población). Cuando los nacimientos > las muertes, ΔN>0 y la población aumenta. Cuando las muertes > los nacimientos, ΔN<0 y la población disminuye.

La Figura 2.9 ilustra la forma en que la retroalimentación negativa regula una población que se encuentra cerca de su capacidad de carga. Si el número de plantas o animales de una población se encuentra por debajo de su capacidad de carga, hay más nacimientos que muertes, y la población aumenta de tamaño hasta que alcanza la capacidad de carga. Si el tamaño de una población es superior a su capacidad de carga, hay más muertes que nacimientos, y el tamaño de la población disminuye hasta que alcanza la capacidad de carga. Una vez que el tamaño de una población se encuentra cerca de su capacidad de carga, el número de nacimientos es más o menos igual al de decesos, y la población no cambia demasiado de tamaño.

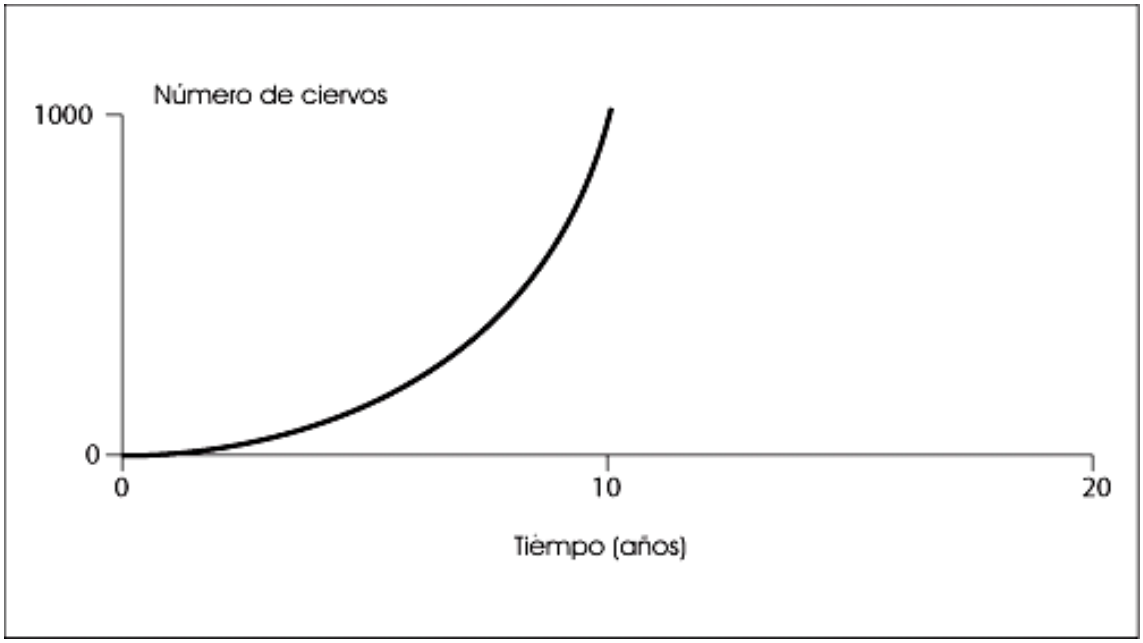


Figura 2.10 Crecimiento de la población de ciervos a partir de una pareja.

Volviendo a la historia de los ciervos, en la Figura 2.10 se puede ver lo que sucedió con la población de ciervos durante los primeros diez años. ΔN/Δt (el cambio del tamaño de la población de ciervos durante cada año) es pequeño durante los primeros años, cuando la población de ciervos es igualmente pequeña. ΔN/Δt es mayor durante el noveno año, cuando la población de ciervos ha crecido considerablemente. La curva del crecimiento demográfico es exponencial debido a la retroalimentación

positiva, pero el crecimiento exponencial no puede continuar indefinidamente. ¿Qué va a suceder durante los próximos 20 años?

Lo que ocurre usualmente cuando una población de ciervos o de cualquier otra especie de planta o animal empieza a poblar un nuevo lugar es una curva 'sigmoide' con forma de S (como la que se muestra en la Figura 2.11). El crecimiento exponencial de la primera parte de la curva sigmoide es seguida por la regulación de la población a medida que el número de plantas o animales se aproxima a la capacidad de carga y la retroalimentación negativa asume el control. En muchos casos, una población aumenta gradualmente y después fluctúa alrededor de la capacidad de carga (la curva continua de la Figura 2.11). No permanece precisamente en la capacidad de carga porque:

- la retroalimentación negativa no es muy precisa; y
- otros factores además de la disponibilidad de alimento pueden tener algún impacto sobre los nacimientos y muertes.

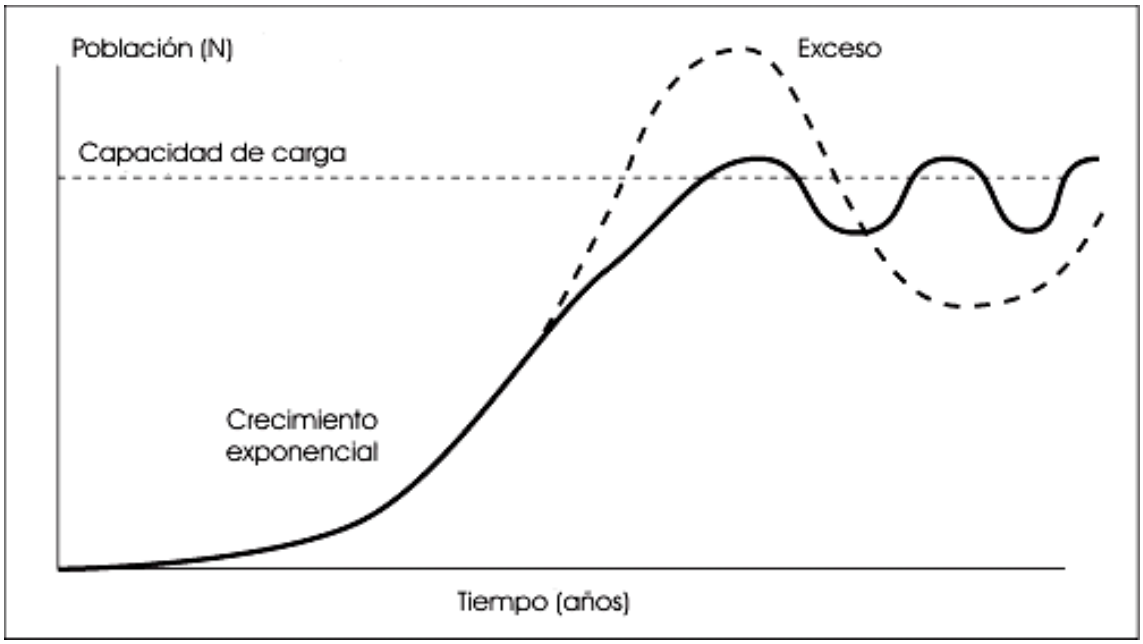


Figura 2.11 Curva sigmoide para el crecimiento poblacional y su regulación.

A veces, una población crece tan rápidamente que **excede** su capacidad de carga antes de que la retroalimentación negativa pueda detener el incremento (la curva punteada de la Figura 2.11). Si el crecimiento de la población se excede, generalmente abate la cantidad de su alimento de una manera tan severa que la retroalimentación

negativa rápidamente reduce la población a niveles inferiores a su capacidad de carga con un mayor número de muertes y una reducción en el número de nacimientos.

EL SIGNIFICADO PRÁCTICO DE LA RETROALIMENTACIÓN POSITIVA Y NEGATIVA

Todos los ecosistemas y los sistemas sociales humanos tienen numerosos circuitos de retroalimentación positiva y negativa. Los dos tipos de retroalimentación resultan esenciales para la supervivencia. La retroalimentación negativa aporta estabilidad; mantiene partes importantes del sistema dentro de los límites requeridos para su funcionamiento apropiado. La retroalimentación positiva proporciona la capacidad para cambiar radicalmente cuando se requiere. El desarrollo y crecimiento de los sistemas de todos los sistemas biológicos – desde las células y los organismos individuales y los ecosistemas y los sistemas sociales – se basa en el juego entre las retroalimentaciones positivas y negativas. Los ecosistemas y los sistemas sociales pueden permanecer aproximadamente sin variación durante largos períodos, pero a veces cambian muy rápidamente y de forma dramática. Funcionan mejor cuando presentan un balance apropiado entre las fuerzas que promueven el cambio y las que promueven la estabilidad.

Las personas interactúan constantemente con estas fuerzas del cambio y la estabilidad. Las personas dependen de la retroalimentación negativa 'para hacerse cargo de las cosas' y mantener todo funcionando de manera fluida la mayor parte del tiempo. Cuando las personas tratan de mejorar su situación ('desarrollo' o 'resolución de problemas'), utilizan la retroalimentación positiva para provocar los cambios que desean. Sin embargo, además de trabajar para las personas, la retroalimentación positiva o negativa también puede trabajar en su contra. A veces las personas tratan de mejorar las cosas o resolver un problema, pero sin importar lo que hagan, no hay mejoras porque están trabajando en contra de la retroalimentación negativa que evita que se lleven a cabo los cambios que desean. Otras veces, las personas preferirían que las cosas se quedaran como están, pero la retroalimentación positiva amplifica las acciones aparentemente inocuas, y las transforma en cambios no deseados. Si prestamos atención a las retroalimentaciones positivas y negativas en nuestros sistemas sociales y en los

ecosistemas, podemos utilizarlas en nuestro beneficio en lugar de luchar contra ellas. En el caso de los ecosistemas, esto significa ajustar nuestras actividades a los ecosistemas para hacer las cosas 'a la manera de la naturaleza', de modo que la naturaleza haga la mayor parte del trabajo y mantenga las cosas funcionando. El significado concreto de 'hacer las cosas a la manera de la naturaleza' se hará más claro en los siguientes capítulos.

PUNTOS DE REFLEXION

1. Piense en ejemplos de retroalimentación positiva a diferentes niveles de organización social en su sistema social: la familia y los amigos, el vecindario, la ciudad, el nivel nacional, y el internacional. Haga diagramas que muestren las cadenas circulares de efectos (es decir, circuitos de retroalimentación). ¿Algunos de los circuitos de retroalimentación ocasionan cambios súbitos?
2. Piense en ejemplos de sustitución de una cosa por otra en su sistema social o ecosistema que hayan sucedido en años recientes. Haga un diagrama que muestre la cadena de efectos y los circuitos de retroalimentación que generaron la sustitución.
3. Piense en ejemplos de retroalimentación negativa en diferentes niveles de organización social en su sistema social. Haga diagramas que muestren las cadenas circulares de efectos.
4. La Figura 2.10 muestra lo que sucedió con una población de ciervos durante los primeros diez años de 'la historia de los ciervos'. Compare $\Delta N/\Delta t$ en el primer año (cuando la población de ciervos era pequeña) con $\Delta N/\Delta t$ en el décimo año (cuando la población de ciervos era mucho mayor). ¿En que momento es mayor $\Delta N/\Delta t$? ¿Qué tipo de cambio demográfico muestra esta gráfica durante los primeros diez años? ¿Es la retroalimentación positiva o la negativa la que domina la forma de la gráfica cuando la población es pequeña? ¿Continuará por siempre el mismo tipo de cambio poblacional? Trace la gráfica de la Figura 2.10 para mostrar lo que piensa que sucederá en un plazo de 20 años. ¿La retroalimentación negativa es importante cuando la población de ciervos es pequeña, o grande?
5. Piense en ejemplos de su nación o su comunidad que ilustren:

- la utilización de la retroalimentación positiva para realizar cambios deseados.
- retroalimentación positiva que genere cambios indeseables a pesar de los esfuerzos para detener el cambio.
- retroalimentación negativa que mantenga las cosas en el estado en que la gente quiere que permanezcan.
- retroalimentación negativa que obstruya los esfuerzos por cambiar las cosas que la gente considera indeseables.

CAPITULO 3

La Población Humana

De acuerdo con la evidencia arqueológica, los primeros seres humanos (*Homo habilis*) aparecieron en África hace unos tres millones de años. Utilizaron sencillas herramientas de piedra. Los humanos (*Homo erectus*) expandieron sus poblaciones a través de Europa y Asia hace cuando menos un millón de años. La especie humana moderna (*Homo sapiens*) apareció en África hace más o menos 1.3 millones de años, y permaneció únicamente en África durante muchos años. *Homo sapiens* extendió sus poblaciones a Europa, Asia y Australia hace unos 40,000 – 50,000 años. Los primeros humanos de que se tiene conocimiento en el Hemisferio Occidental llegaron de Asia hace aproximadamente 13,000 años.

Homo sapiens ha existido por lo menos durante unas 60,000 generaciones. La población humana total en el planeta fue probablemente menor a diez millones de personas durante todo ese tiempo. Hace alrededor de 10,000 años, el número de seres humanos empezó a crecer en ciertas partes del mundo, y este incremento continuó hasta hace 300 años. Hacia el año 1700 de nuestra era había alrededor de 600 millones de personas en el mundo. La población se ha multiplicado hasta llegar a seis mil millones de personas durante las 12 generaciones que han transcurrido desde 1700.

¿Por qué creció tan rápidamente la población humana durante los últimos siglos, después de crecer tan poco durante tanto tiempo? ¿La tecnología y la ciencia moderna han liberado a la especie humana de las regulaciones demográficas y las limitaciones a la capacidad de carga que se aplican a los demás animales? Este capítulo aporta una revisión de la historia demográfica humana, comenzando con la pequeña población de cazadores recolectores que constituyó la humanidad durante la mayor parte de su historia. Describe la expansión de la población humana a medida que la **Revolución Agrícola** se extendía por el mundo, y el aumento demográfico explosivo que siguió a la **Revolución Industrial**. El capítulo termina describiendo las implicaciones para el futuro.

HISTORIA DE LA POBLACIÓN HUMANA

De la Cacería y la Recolección, a la Agricultura

Las habilidades físicas y mentales de los humanos modernos – y su posición ecológica en el ecosistema – se formaron durante varios millones de años de evolución como cazadores recolectores. Los seres humanos vivieron en ecosistemas naturales que contenían muchas clases diferentes de plantas y animales, de las cuales solamente unas cuantas eran apropiadas como alimento para los humanos (Figura 3.1a). Con su tecnología de cacería y recolección, los humanos podían capturar únicamente una pequeña parte de la producción biológica total del ecosistema como alimentos para su consumo. La capacidad de carga para los humanos era similar a la de los demás animales, y las poblaciones humanas no eran mayores que las de otros animales. Los humanos probablemente consumían alrededor de 0.1 por ciento de la producción biológica de los ecosistemas que habitaban.

Esto cambió después de la Revolución Agrícola, que permitió a las personas crear sus propios pequeños ecosistemas para producir alimentos. La agricultura en su forma más simple apareció hace unos 12,000 años en el Medio Oriente. La gente estimuló a las plantas silvestres que utilizaba como alimento para que crecieran cerca de sus moradas, haciendo más fácil la recolección. Eventualmente domesticaron algunas de las plantas seleccionando especies individuales con características deseables, tales como partes comestibles más grandes, o más fáciles de procesar para el consumo. También domesticaron algunos de los animales silvestres que utilizaban como alimento. Así, las personas pudieron incrementar el porcentaje de la producción biológica del ecosistema que era accesible para el consumo humano (ver Figura 3.1b), y la capacidad de carga para los humanos aumentó.

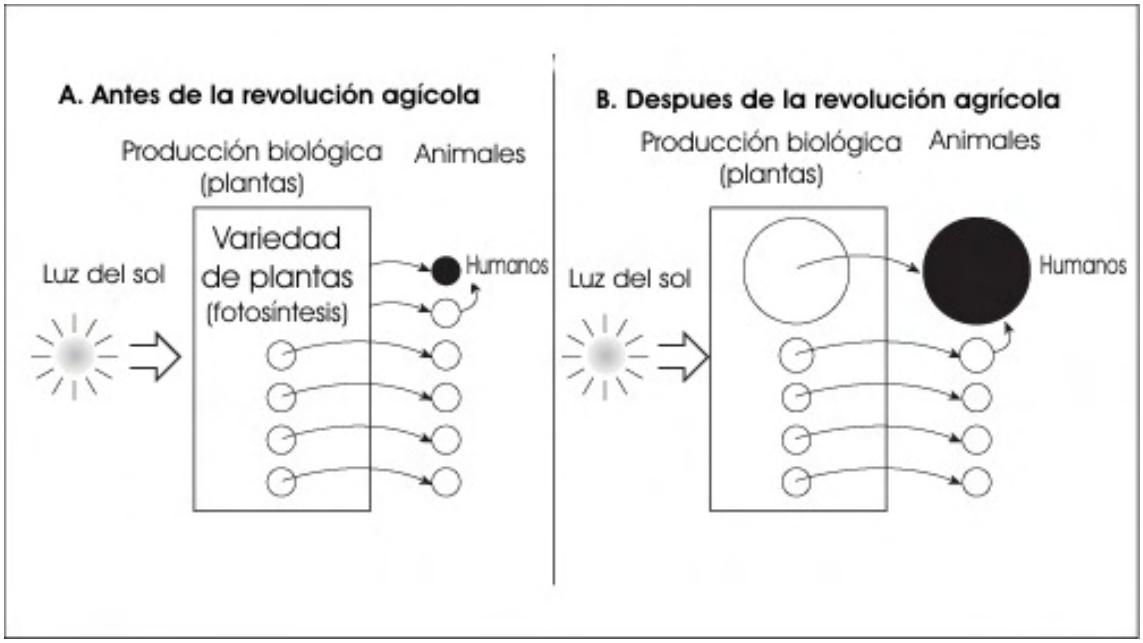


Figura 3.1 Distribución de la producción biológica entre plantas y animales en la red alimenticia de un ecosistema.

La Revolución Agrícola comenzó en el Medio Oriente porque esa región era la que tenía la mayor cantidad de plantas y animales apropiados para la domesticación. Solamente unos cuantos cientos de plantas y unas pocas docenas de animales eran adecuadas para la domesticación en todo el mundo, y casi todas ellas fueron domesticadas hace cuando menos 5,000 años. No se ha domesticado ningún cultivo o animal importante en ninguna parte del mundo durante los últimos 5,000 años, y no se puede esperar que esto suceda en el futuro. Algunas partes del mundo, como Australia y el África sub-Sahariana, tenían muy pocas plantas o animales apropiados para la domesticación. En esas áreas, la agricultura sólo pudo comenzar después de que se importaron plantas y animales domésticos de otros lugares.

¿Por qué esperaron tanto los seres humanos para desarrollar la agricultura? El esfuerzo que las personas deben dedicar a formar y mantener ecosistemas agrícolas – preparar la tierra, sembrar los cultivos, cuidarlos, y protegerlos de las malas hierbas, insectos, y otros animales que quieren consumirlos – requiere mucho más trabajo humano que la cacería y la recolección. Es probable que las personas se encontraran satisfechas viviendo sin agricultura mientras no la necesitaron. Era conveniente dejar que la naturaleza hiciera el trabajo de producir alimentos. Sin embargo, los habitantes del Medio Oriente pueden haber sentido una fuerte necesidad de encontrar nuevas

formas para hacerse de más alimentos hace unos 12,000 años, cuando un rápido cambio hacia un clima más árido redujo la producción biológica y la capacidad de carga humana del ecosistema de Medio Oriente.

A lo largo de un período de varios miles de años, la agricultura se extendió por el Medio Oriente, hacia Asia, África del Norte, y Europa, y surgió de manera independiente en China, América del Norte, Mesoamérica, Sudamérica y Nueva Guinea. Las poblaciones humanas crecieron en las áreas con agricultura (2 AD en la Figura 3.2). Aparecieron nuevas mejoras en la producción de alimentos en diferentes lugares y en momentos distintos, de manera que la capacidad de carga humana en cualquier lugar determinado creció en etapas (ver Figura 3.3). Cualquier nueva mejora significativa en la tecnología agrícola generaba un rápido incremento en la capacidad de carga, y en un período de siglos la población humana en esa región crecía hasta alcanzar la nueva capacidad de carga. Una vez que el crecimiento de la población resultaba imposible, la gente empezaba a sentir la presión de una disponibilidad de alimentos limitada. Esta presión, conocida como **presión demográfica**, motivaba a las personas a desarrollar mejoras adicionales en la tecnología agrícola, o a adaptar las prácticas agrícolas más productivas de los pueblos vecinos. Esto hacia que la capacidad de carga se elevara, y el ciclo ascendente de la población humana continuó como un circuito de retroalimentación positiva entre la población y la tecnología.

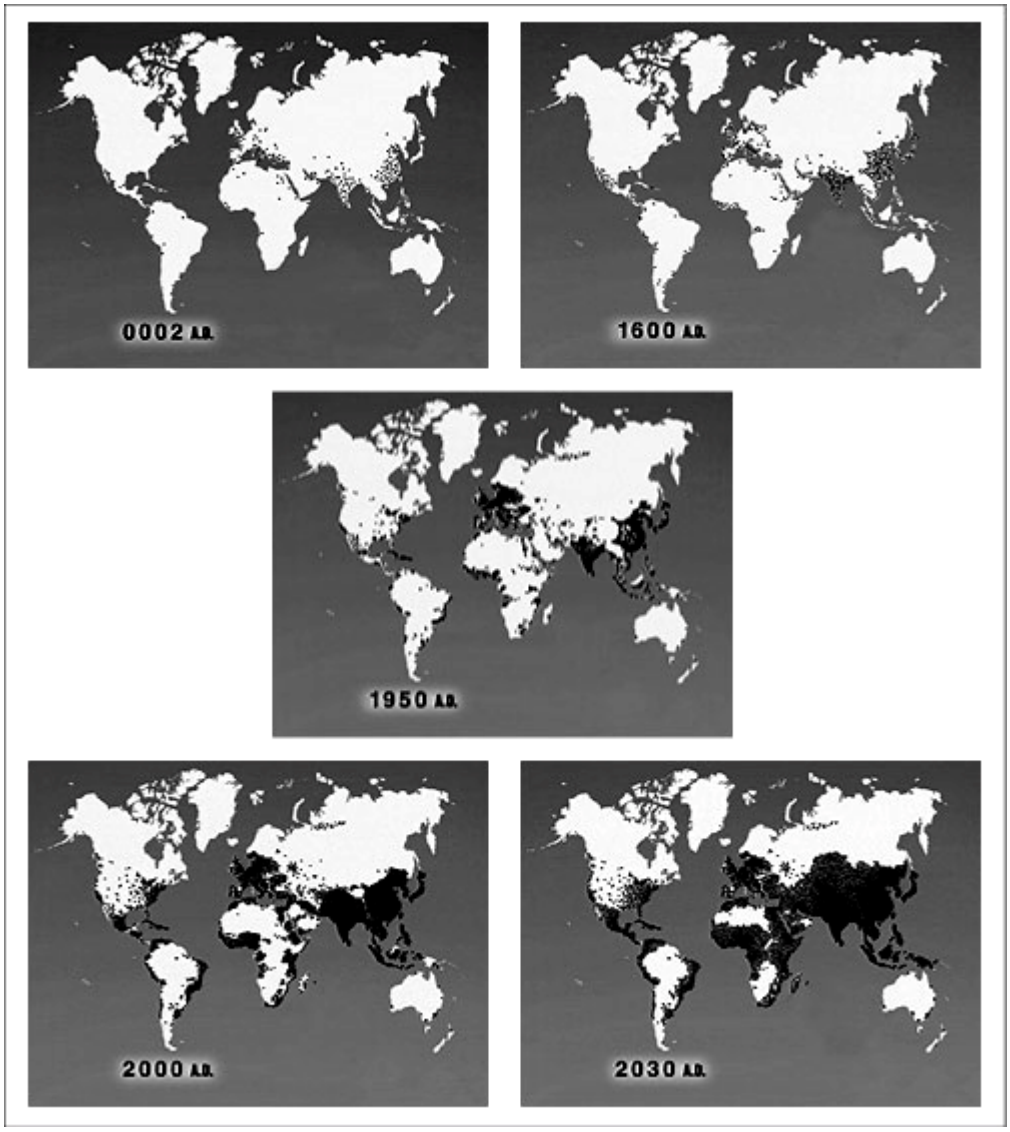


Figura 3.2 Crecimiento y distribución geográfica de la población humana durante los últimos 2,000 años. Fuente: Video *"World Population" Zero Population Growth, Washington, DC.* Nota: cada punto representa un millón de personas.

Los incrementos progresivos en la producción agrícola generalmente requerían un mayor esfuerzo para estructurar ecosistemas para que una mayor proporción de su producción biológica se canalizara al consumo humano (ver Figura 3.4). Este es el principio de 'inexistencia de los almuerzos gratuitos' *(Nota del traductor: Esto se refiere a la traducción literal de la frase "there's no such thing as a free lunch" en ingles, cuyo equivalente en español sería "nada es gratis en esta vida")*. Toda elección tiene ventajas y desventajas. Toda ganancia tiene sus costos. Uno de los costos de tener más alimentos es una mayor carga laboral.

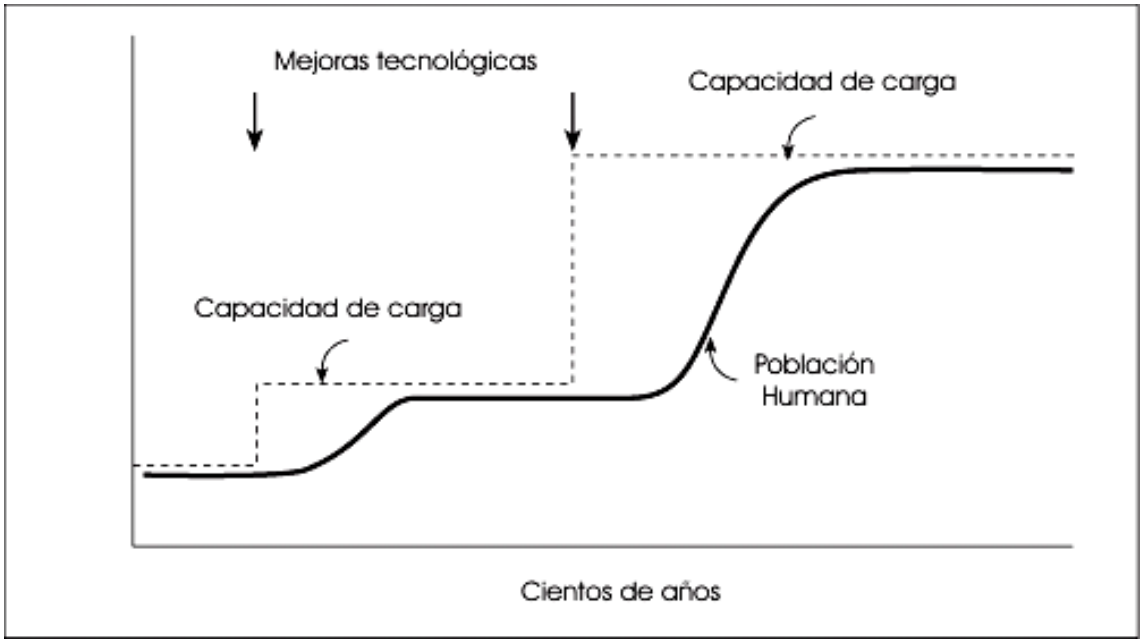


Figura 3.3 Esfuerzo humano requerido para las tecnologías de producción alimenticia con mayor rendimiento.

La población humana del planeta creció gradualmente durante más de 10,000 años después de la Revolución Agrícola (ver Figura 3.5A). Las poblaciones más grandes se encontraban en los grandes valles fluviales de la India y China. Durante este período hubo un incremento substancial de las poblaciones del Medio Oriente y Europa. La población mundial disminuyó 25 por ciento cuando la plaga conocida como la Peste Negra recorrió Asia y Europa durante el Siglo XIV, pero rápidamente volvió a alcanzar sus cifras anteriores durante el siglo siguiente. La gente de Europa estaba sintiendo la presión de una población que se encontraba en el límite de su capacidad de carga, pero la situación cambió en la medida en que las naciones europeas más poderosas emprendieron la colonización y el comercio globales durante el Siglo XVI. La disponibilidad de recursos incrementó la capacidad de carga de Europa, y la población europea empezó a crecer. La capacidad de carga creció aún más en la medida en que la **Revolución Industrial** ganó inercia durante el Siglo XVIII.

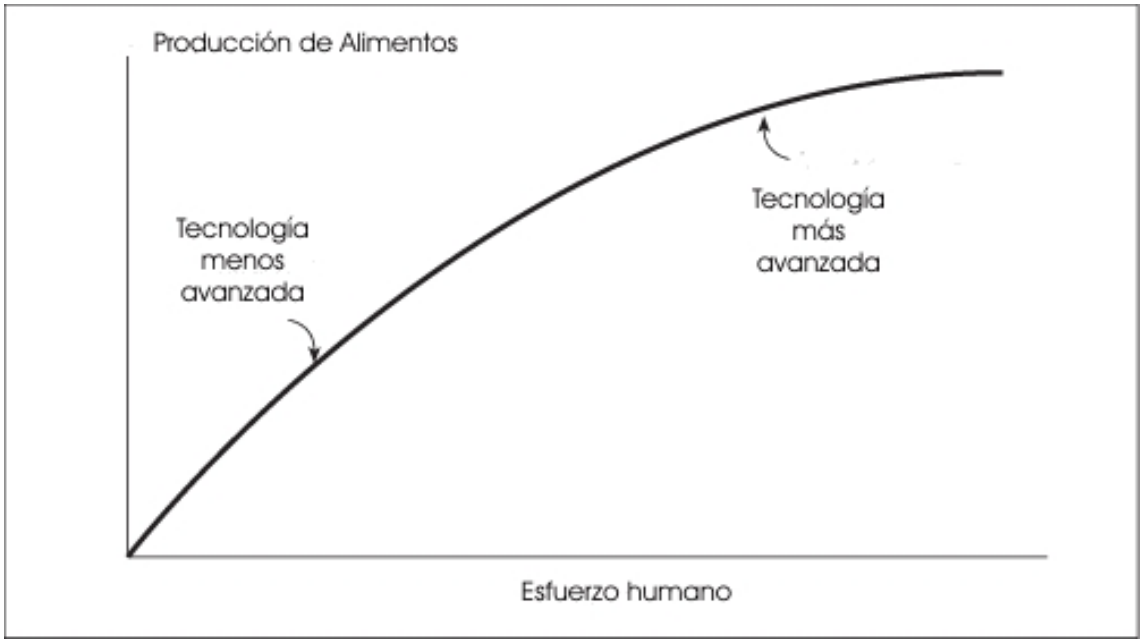


Figura 3.4 El esfuerzo humano requerido por tecnologías que incrementan la producción alimentaria.

La Revolución Industrial

La Revolución Industrial tuvo un fuerte impacto en la agricultura. Cultivos muy productivos como el trigo, maíz, papas (patatas), camotes (boniatos) y arroz, que anteriormente estaban restringidos a las regiones del mundo donde originaron, se extendieron rápidamente por el mundo gracias al colonialismo y comercio europeos, lo que dio a los agricultores un 'menú' más amplio de cultivos altamente productivos de dónde escoger. La mecanización otorgó a los agricultores la habilidad para estructurar ecosistemas más eficazmente de lo que había sido posible solamente con el trabajo humano y animal. La Revolución Industrial se vio acompañada por una revolución científica, así como por nuevas tecnologías agrícolas que incrementaron aún más la producción agrícola. Las personas se hicieron capaces de capturar un porcentaje mucho mayor de la producción biológica del ecosistema para su consumo, y creció la capacidad de carga. El aumento de la capacidad de carga desde la Revolución Industrial ha sido tan grande y tan continuo que la población humana del planeta ha podido crecer exponencialmente durante los últimos 250 años (ver Figura 3.5B).

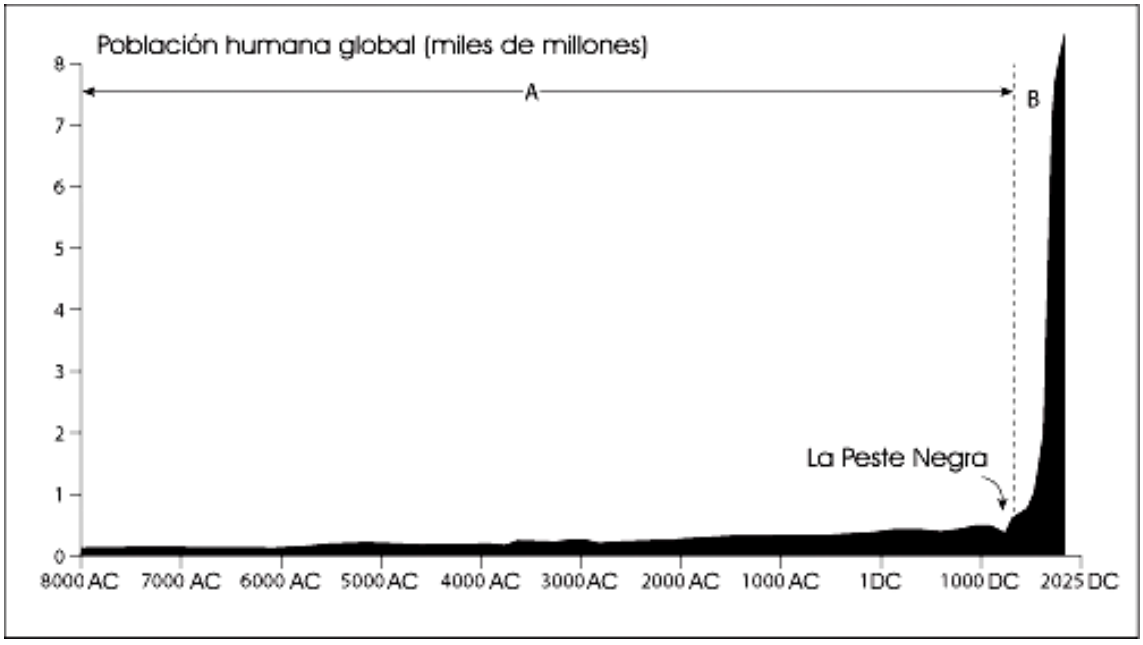


Figura 3.5 Diez mil años de crecimiento de la población humana. Fuente: Adaptado de *Population Reference Bureau (1984) World Population: Fundamentals of Growth, Population Reference Bureau, Washington, D.C.*

Las tasas de nacimiento eran altas antes de la Revolución Industrial. Las familias numerosas contribuían a satisfacer las elevadas demandas de mano de obra de la vida rural y asegurar la supervivencia de hijos que cuidaran a sus padres en la vejez. Las mejoras en la salud pública que resultaron de la revolución científica redujeron considerablemente las tasas de mortalidad en los países en vías de industrialización. Sus poblaciones crecieron rápidamente, ya que sus tasas de nacimiento permanecieron elevadas. Al llegar el Siglo XIX, la urbanización y las mejoras en la supervivencia de los hijos hicieron que las familias numerosas no resultaran tan necesarias. Las tasas de nacimiento empezaron a disminuir a medida que la gente adoptaba diversos métodos para limitar el tamaño de las familias. Las poblaciones de las naciones industrializadas continuaron creciendo rápidamente durante el Siglo XIX y la mayor parte del XX (ver Figura 3.6; y comparar el año 1950 de nuestra era, con el 1600 que aparece en la Figura 3.2). No obstante, su crecimiento demográfico generado internamente era cercano a cero a finales del Siglo XX. Las poblaciones de algunas naciones industrializadas continúan creciendo, debido principalmente a la inmigración proveniente de otros países.

El 'envejecimiento' demográfico se ha convertido recientemente en un asunto prioritario para las naciones industrializadas. Hay un cambio de una población que crece

rápidamente y tiene un alto porcentaje de personas jóvenes, a otra que crece despacio, o deja de crecer, y tiene un porcentaje elevado de personas mayores. Esto está reduciendo el número de jóvenes económicamente productivos en relación a las personas mayores jubiladas a las que éstos deben de mantener. El 'envejecimiento' está muy avanzado en Japón, ha comenzado en Europa y Norteamérica, y en unas cuantas décadas se convertirá en un asunto prioritario para las naciones en vías de desarrollo que están reduciendo su crecimiento demográfico. Algunas personas de los países cuya población 'envejece' han sugerido que deben incrementarse las tasas de nacimiento para que haya más jóvenes que mantengan a los ancianos – un curso de acción cuyos beneficios a corto plazo agravaría el problema de sobrepoblación a largo plazo, resultando en más ancianos que mantener en el futuro. Muchos países industrializados, como Japón, ya tienen poblaciones y niveles de consumo mucho mayores a los que pueden mantenerse con los recursos existentes dentro de sus propias fronteras. Apenas están conscientes del grado al que han excedido su capacidad de carga, ya que su posición económica privilegiada les permite recurrir a recursos extensos mas allá de sus fronteras.

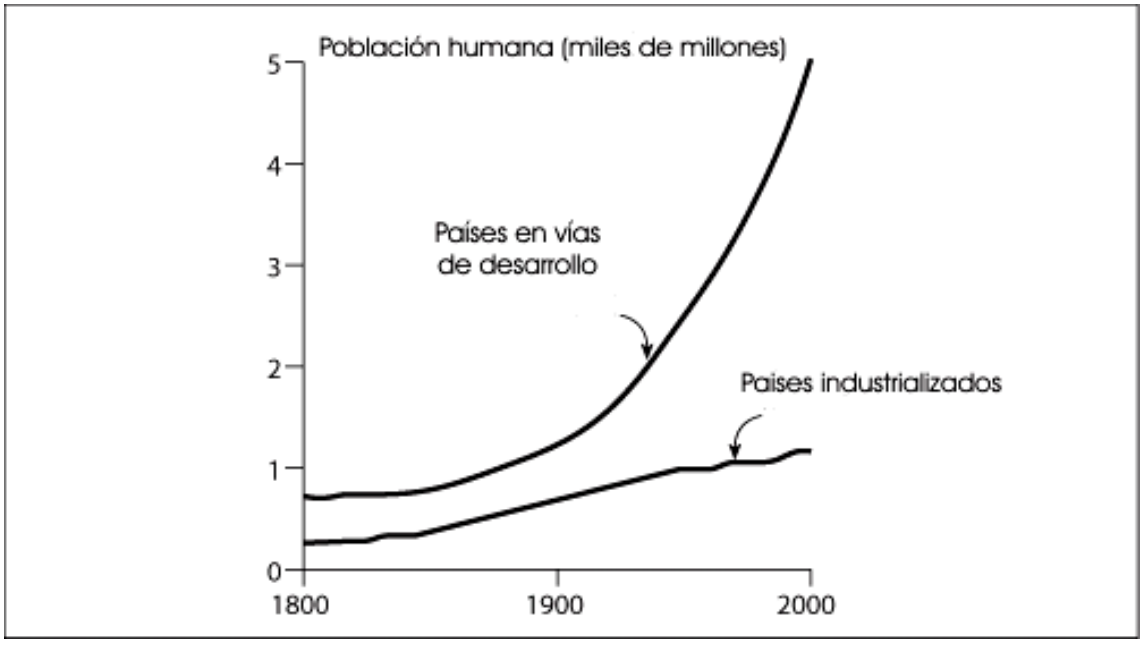


Figura 3.6 Aumento en las poblaciones de países industrializados y en vías de desarrollo del 1800 al 2000. Fuente: Datos de *Population Reference Buread, Washington, D.C.*

Las poblaciones del mundo en vías de desarrollo comenzaron a crecer rápidamente durante el Siglo XX, cuando la salud pública moderna redujo las muertes, pero los nacimientos se mantuvieron elevados. La mayor parte del crecimiento de la población del mundo se encuentra actualmente en el mundo en desarrollo (ver Figura

3.5; y comparar el año 2000 de nuestra era con el de 1950 de la Figura 3.2). Una gran cantidad de personas está migrando de las partes más pobladas del mundo en vías de desarrollo en busca de mejores oportunidades económicas en Norteamérica, Europa y Australia. Los nacimientos empezaron a disminuir en algunas partes del mundo en vías de desarrollo hace unos 20 años, pero permanecen elevados en muchas áreas. Aún si los nacimientos disminuyen considerablemente, la población del mundo en vías de desarrollo continuará creciendo por varias generaciones (2030 en la Figura 3.2). Las poblaciones del mundo en vías de desarrollo tienen un porcentaje tan grande de personas jóvenes que, aún con familias más pequeñas, el número de nacimientos del gran número de personas en edad reproductiva excederá con mucho al pequeño número de ancianos que morirá.

La Revolución Verde

El incremento más reciente de la capacidad de carga humana comenzó hace unos 40 años con la **Revolución Verde**, que utilizó técnicas modernas de reproducción de plantas para crear **variedades de alto rendimiento** de arroz, trigo, maíz y otros cultivos para elevar la producción de alimentos para la población de crecimiento acelerado en el mundo en vías de desarrollo (ver Figura 3.7). Los rendimientos más grandes sólo eran posibles para las nuevas variedades bajo condiciones ideales para el crecimiento, tales como abundancia de agua, aplicaciones óptimas de fertilizantes, y la utilización de plaguicidas químicos para reducir el daño a los cultivos. La irrigación se expandió a una escala masiva, particularmente en las regiones semiáridas. La irrigación no solamente proporcionó el agua necesaria para obtener mayores rendimientos, sino que también permitió a los agricultores cultivar una cosecha adicional durante la temporada de sequía. Algunas de las nuevas variedades se diseñaron para madurar rápidamente, de manera que los agricultores pudieran habilitar varias cosechas en un año. Una mayor producción de alimentos significaba más trabajo – ‘nada es gratis’. Mientras que la agricultura moderna utiliza maquinaria impulsada por combustibles derivados del petróleo para hacer el trabajo, muchas familias del mundo en desarrollo, que carecen de mecanización, deben trabajar largas y difíciles jornadas para producir alimento suficiente en la pequeña porción de tierra que tienen disponible.

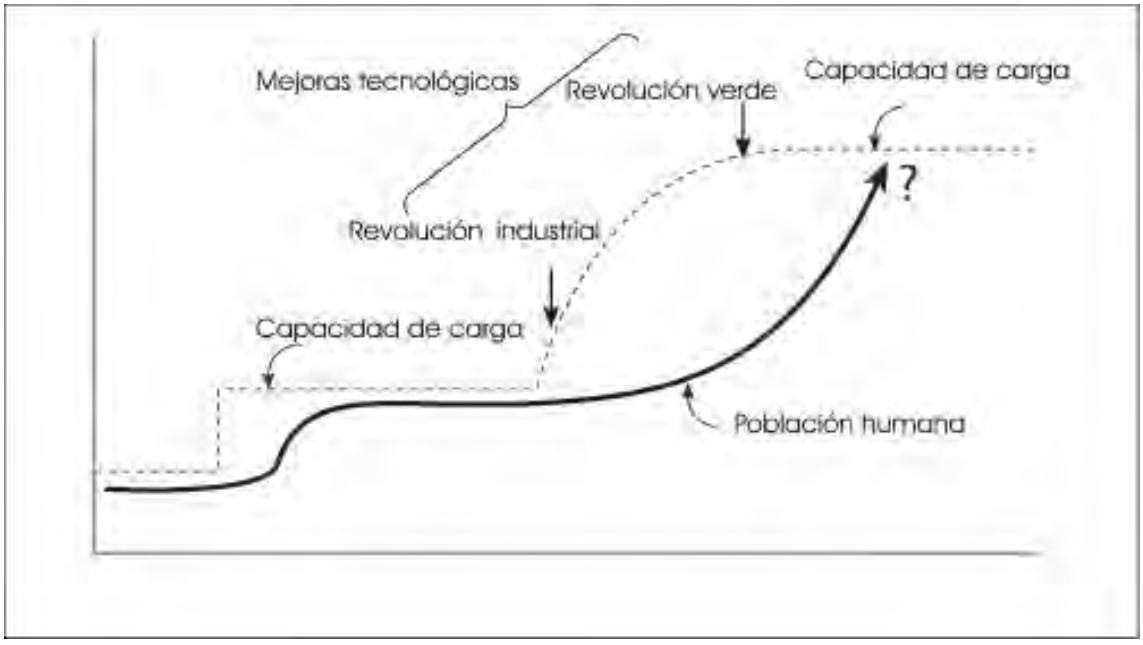


Figura 3.7 Aumento en la capacidad de carga y de la población humana desde la Revolución Industrial.

Los seres humanos han incrementado su capacidad de carga más de 1,000 veces desde la Revolución Agrícola, canalizando porcentajes cada vez mayores de la producción biológica de la tierra hacia el consumo humano. ¿Podemos esperar otra revolución en la tecnología agrícola para incrementar la capacidad de carga a niveles aún más altos de los que tiene actualmente? La respuesta bien podría ser que no. Serán posibles aumentos moderados en la producción de alimentos a través de una implementación más completa de la Revolución Verde, especialmente en África. Los cultivos y ganádos genéticamente modificados podrían incrementar la producción de alimentos hasta en 20 por ciento más allá de las ganancias que resultaron de la Revolución Verde. Nadie sabe si habrá avances imprevistos en la tecnología agrícola que permitan aumentos en la producción de alimentos más allá de nuestra imaginación, pero el futuro no parece ofrecer mayores incrementos con las tecnologías con que se cuenta actualmente.

Muchos de los logros alcanzados durante las décadas recientes podrían resultar insostenibles. Buena parte del incremento en la producción de alimentos se ha debido a la expansión de la agricultura sobre tierras que no resultan apropiadas para el uso agrícola a largo plazo, o a la irrigación proveniente de mantos freáticos que pronto se verán agotados. Los costos ambientales de estos logros pueden ser elevados. Los insumos intensivos de fertilizantes químicos y los plaguicidas para la Revolución Verde

contaminan el agua afluente de las granjas. Los cultivos o ganados genéticamente modificados podrían tener efectos lesivos no anticipados sobre la salud humana o el medio ambiente. Recientemente se descubrió que el polen del maíz que había sido genéticamente modificado para matar plagas de insectos puede desplazarse fuera de los maizales y matar mariposas.

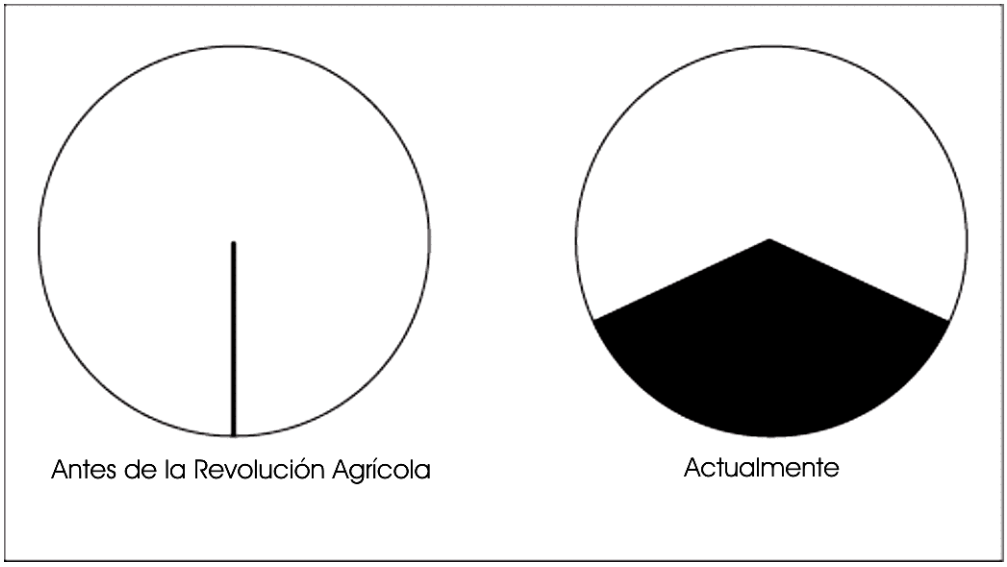


Figura 3.8 Porcentaje aproximado de la producción biológica del planeta controlada por humanos.

Los logros de la producción agrícola del pasado se han conseguido principalmente aumentando nuestra porción de la producción biológica de la Tierra (ver Figura 3.8), y no aumentando la producción biológica en sí. Incrementar de manera significativa la producción biológica de la Tierra, que depende fundamentalmente de los climas regionales y la cantidad de luz solar que llega al planeta, está más allá de la habilidad de los seres humanos. Tampoco hay mucho margen adicional para incrementar el porcentaje destinado al consumo humano, ya que controlamos cerca de la mitad de la producción biológica terrestre del planeta. Nadie sabe exactamente cuanta gente puede mantener el planeta de manera sustentable, pero es claro que hay un límite, y la población humana parece estar acercándose a él.

MECANISMOS SOCIALES DE REGULACIÓN DE LA POBLACIÓN

La población de ciervos de la que se habló en el Capítulo 2 estaba limitada por la disponibilidad de alimento. Si las poblaciones animales están limitadas por la

disponibilidad de alimento, ¿por qué la mayoría de los animales silvestres parece saludable y bien nutrida? La respuesta radica en el hecho de que muchas poblaciones animales se encuentran por debajo de la capacidad de carga de su medio ambiente. La capacidad de carga es un límite superior que la disponibilidad de alimento impone a todas las poblaciones; pero es común que las poblaciones se vean reguladas por debajo de los límites de disponibilidad de alimento por fuerzas ecológicas distintas a la desnutrición y la inanición. Depredadores como los lobos y pumas matan ciervos, reduciendo el tamaño de sus poblaciones por debajo de su capacidad de carga. Donde hay depredadores, los ciervos se encuentran con alimento en abundancia y están saludables. Por desgracia, la gente ha exterminado a estos depredadores en muchas regiones porque los depredadores grandes también matan al ganado. Donde no hay depredadores es común ver ciervos tan numerosos que muchos de ellos mueren de hambre durante el invierno, cuando la disponibilidad de su alimento es menor.

La depredación no es la única manera en que las poblaciones animales se ven reguladas por debajo de los límites que les impone la disponibilidad de alimento. Muchos animales tienen mecanismos sociales para prevenir la sobrepoblación. Cuando las aves seleccionan parejas para reproducirse, cada pareja de reproductores establece un territorio de donde excluye a todas las demás aves de su misma especie. Como consecuencia de la evolución, los territorios de las aves tienen un tamaño suficiente como para proporcionar suficiente alimento para la pareja reproductora y sus crías. Si no hay bastante espacio como para permitir un territorio adecuado para todas las aves de la población, las aves en exceso no obtienen un territorio y no se reproducen. Además, las aves tienen mecanismos fisiológicos de retroalimentación para reducir su producción de huevos cuando escasea el alimento. Algunas especies de aves incluso parecen tener exhibiciones sociales para evaluar su población, con respuestas hormonales a las exhibiciones, que reducen la producción de huevos si la población es demasiado grande.

Muchos otros animales, incluso los seres humanos, tienen mecanismos parecidos para mantener sus poblaciones dentro de los límites impuestos por la disponibilidad de su alimento. Los orígenes evolutivos de la territorialidad humana, y su función en la regulación de la población en las sociedades humanas puede verse en la conducta social de los monos y simios que viven en grupos y excluyen a todos los demás individuos de su especie de sus territorios. Aunque la organización social detallada de los monos y los

simios varía enormemente de una especie a otra, es común que los machos sean hostiles cuando se encuentran con miembros de otros grupos, matando a las crías del otro grupo si encuentran la oportunidad. Cuando el alimento es abundante, las hembras con crías tienden a quedarse en el centro de su territorio, donde se encuentran a salvo de encuentros peligrosos con grupos vecinos. Sin embargo, en tiempos de escasez, las hembras se pueden ver forzadas a buscar alimento cerca al borde de su territorio, donde sus crías son vulnerables. Además, las hembras bajo presión frecuentemente descuidan a sus crías. En consecuencia, las muertes infantiles tienden a crecer cuando hay demasiados individuos para los recursos alimentarios del territorio, y la población disminuye. Esto es un circuito de retroalimentación negativa que mantiene a la población dentro de los límites de su disponibilidad de alimento.

La Figura 3.9 muestra cómo las sociedades humanas tradicionales han utilizado la retroalimentación negativa para mantener sus poblaciones por debajo de la capacidad de carga, de manera que no sean reguladas por la inanición. Cuando las poblaciones humanas crecen hasta alcanzar tamaños cercanos a su capacidad de carga, es común que la tierra, los alimentos, el agua para riego u otros recursos se vuelvan escasos. Un incremento de la población conduce a una disminución de los recursos. Esto lleva a que se realicen acciones humanas que reducen la población disminuyendo los nacimientos o incrementando el número de muertes (generalmente muertes de infantes). En muchas sociedades, particularmente en islas, el circuito de retroalimentación de la Figura 3.9 ha sido establecido a conciencia. En otras sociedades, los mecanismos para reducir el número de nacimientos pueden haber formado parte del tejido cultural sin que haya existido una conexión consciente con la población y la capacidad de carga. No importa cuáles sean los detalles, el circuito de retroalimentación negativa ha sido poderoso. Las tasas de mortalidad altas – basadas en la imagen de que la vida de los seres humanos primitivos fue ‘corta y brutal’ – no son suficientes para explicar el crecimiento infinitesimalmente lento de la población humana durante más de 50,000 generaciones.

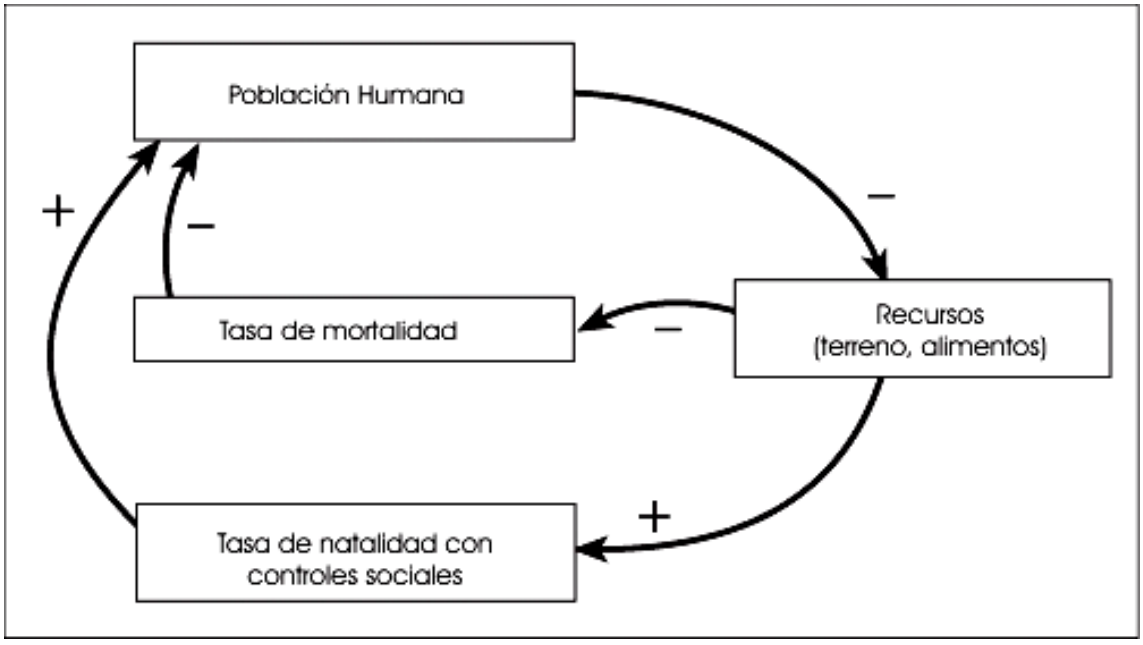


Figura 3.9 Circuitos de retroalimentación negativa para el control de la población humana.

Los seres humanos del pasado sobrevivieron en territorios de pequeña escala. Muchas sociedades tradicionales tienen hoy en día territorios de dimensiones semejantes a los de entonces. Los habitantes de territorios de pequeña escala tienen un conocimiento detallado de su área y del número de personas que puede mantener, y emplean métodos tradicionales de control natal para hacer que su población se mantenga dentro de esos límites. Amamantar es una contribución importante al control natal, ya que generalmente las mujeres no son fértiles durante el período en el que están dando pecho a un infante, y en algunas culturas duermen aparte de sus maridos durante ese tiempo. La costumbre tradicional de amamantar a un infante durante tres o cuatro años proporciona un espaciamiento natural entre los hijos. Por desgracia, esta costumbre está desapareciendo en la medida en que las madres modernas alimentan a sus hijos con biberón en lugar de amamantarlos.

La regulación tradicional de la población también está respaldada por la estructura del matrimonio de algunas sociedades. Por ejemplo, el esposo en una sociedad poligámica, una forma común de organización social tradicional humana, puede rotar la actividad sexual entre sus esposas de manera que cada una de ellas se embarace únicamente una vez cada dos o tres años. Las costumbres tradicionales de herencia en las sociedades monógamas pueden tener un efecto importante sobre las tasas de matrimonios y nacimientos. Por ejemplo, en algunas culturas era una práctica

común el heredar a un solo hijo la propiedad familiar. Un hijo con herencia podía costear su matrimonio, pero los demás hijos, sin ella, no podían hacerlo. Esto generaba un fondo de mujeres solteras, que tenían muchos menos hijos que las casadas – de la misma manera que lo que sucede con las aves, que no se reproducen si no pueden asegurar un territorio.

Las sociedades tradicionales utilizan hierbas locales para evitar el embarazo o inducir el aborto. El infanticidio era común en todo el mundo hasta el Siglo XX, y todavía es frecuente en algunas regiones. Las personas matan a los infantes no deseados para espaciar sus hijos o cuando son incapaces de cuidarlos debido a la pobreza o la escasez de alimentos. Debido a que en muchas culturas las niñas tienen menos valor social que los niños, el infanticidio se dirige principalmente a las hembras, una práctica que reduce la capacidad reproductiva de la generación siguiente de manera más efectiva que el infanticidio de los machos. Con los recientes avances para identificar el sexo de los niños antes del nacimiento, en algunas regiones también se dirige el aborto hacia las hembras. Los métodos anticonceptivos modernos ofrecen actualmente alternativas atractivas al aborto y al infanticidio como métodos de planificación familiar.

Los conflictos territoriales han jugado desde hace mucho un papel importante en la regulación de las poblaciones humanas. Por ejemplo, si los habitantes de un poblado están forzando los límites de sus recursos (acercándose por ejemplo a una carencia de alimentos, tierra, o agua para riego), puede tratar de utilizar los recursos de un poblado vecino, o recursos sujetos a disputas de propiedad cercanos a los límites del poblado. Esto puede desencadenar una serie de efectos que reducen los nacimientos. Las emociones pueden ser intensas durante los conflictos territoriales de los poblados. La violencia no es inusual, aunque generalmente no hay muchas muertes. El número de nacimientos suele disminuir durante los conflictos territoriales de todas las sociedades, tanto tradicionales como modernas, ya que las parejas esperan que lleguen 'tiempos mejores'. Algunas sociedades tradicionales prohíben la actividad sexual durante los períodos de conflicto.

La territorialidad sigue siendo una parte significativa del comportamiento humano en el mundo moderno, donde los territorios más importantes son las naciones. Sin embargo, la mayoría de las naciones son demasiado grandes como para presentar los

circuitos de retroalimentación negativa entre el tamaño de la población y la capacidad de carga que podrían presentar los territorios de menor escala en el pasado. La capacidad de carga de una nación entera no es obvia para nadie, especialmente si esa nación importa grandes cantidades de alimentos del exterior. En lugar de mantener el tamaño de sus poblaciones dentro de ciertos límites las naciones modernas frecuentemente han fomentado el crecimiento demográfico debido a las ventajas militares que ofrece el tener una población más grande. El comportamiento territorial se vuelve más perverso que funcional cuando las naciones hacen uso de armamento moderno y ejércitos bien organizados para intensificar los conflictos territoriales hasta que se convierten en guerras que matan a miles o incluso millones de personas sin proporcionar los beneficios ecológicos que la territorialidad tenía en el pasado.

LA EXPLOSIÓN DEMOGRÁFICA Y LA CALIDAD DE VIDA

La calidad de vida de la masiva población humana de la actualidad se encuentra severamente limitada por la capacidad finita de los ecosistemas para proporcionar alimentos y otros recursos esenciales para el uso humano. Los recursos de suelo y agua del planeta Tierra son sencillamente insuficientes para tanta gente. El crecimiento urbano acelerado de las décadas recientes ha resultado en exigencias muy severas sobre los materiales y servicios provenientes de los ecosistemas circundantes. Las consecuencias son particularmente graves en muchas ciudades del mundo en vías de desarrollo, que han ido retrasándose sin remedio en la dotación de vivienda, el suministro seguro de agua, la recolección de residuos sólidos, la disposición final de aguas residuales, y otros servicios básicos para sus poblaciones en expansión. Los prospectos de un mejor futuro están disminuyendo rápidamente a medida que la población creciente continúa creciendo a tasas alarmantes.

La consecuencia más grave de la sobrepoblación humana es la onerosa demanda de alimentos sobre los ecosistemas. No hay comida suficiente para todos cuando una población rebasa su capacidad de carga (ver Figura 2.11) – este es un problema que no puede resolverse del todo mediante una distribución de alimentos más equitativa. La situación se puede deteriorar cuando la sobrepoblación detona una cadena de efectos a través de los ecosistemas y los sistemas sociales que reduce la capacidad de carga en

lugar de incrementarla. Esto puede ocurrir cuando la escasez de comida obliga a las personas a producir más alimentos sembrando cultivos o pastoreando ganado en suelos que no son adecuados y con una intensidad que el suelo no puede sostener. La erosión, el agotamiento de la fertilidad de los suelos, la acumulación de químicos tóxicos, y muchas otras formas de daños a los suelos pueden ocasionar que la producción de alimentos – y la capacidad de carga – disminuyan en un círculo vicioso (un circuito de retroalimentación positiva) de suministro inadecuado de alimentos y uso inadecuado del suelo.

Cuando esto sucede, es común que las personas emigren a otra región con mejores condiciones. Actualmente, el mundo en vías de desarrollo tiene millones de **refugiados ambientales** que emigran a las ciudades porque ya no pueden sobrevivir en las áreas rurales donde sus familias han vivido por generaciones. Si las personas no pueden emigrar, y carecen de la riqueza necesaria para adquirir alimentos en otros lugares, la malnutrición aumenta el número de muertes (especialmente entre los niños más pequeños), y la población disminuye de una manera muy similar a la de una población de ciervos que rebasa su capacidad de carga. Este sombrío panorama no es hipotético. Ha acontecido miles de veces a escala local en el pasado, y ha sucedido más recientemente en Corea del Norte y en varias partes de África. Hoy en día hay una espiral descendiente de hambre y degradación del suelo en las regiones montañosas de Asia donde hay demasiadas personas ocupando tierras con un potencial limitado para la producción de alimentos.

Aún donde el hambre no es un problema, los costos sociales de tener que producir más alimentos van más allá de lo que se podría haber pensado. Las variedades de alto rendimiento requieren mayores gastos en fertilizantes químicos y plaguicidas que las variedades tradicionales localmente adaptadas que los campesinos utilizaban antes de la Revolución Verde. Los gastos valen la pena si los rendimientos son lo suficientemente altos, pero los gastos elevados también pueden llevar a los agricultores a endeudarse. La equidad económica ha disminuido en todo el mundo a medida que los agricultores pierden sus tierras debido al endeudamiento, y los agricultores más ricos o las corporaciones agrícolas adquieren más tierras. Otro costo social de producir grandes cantidades de alimentos proviene del hecho de que buena parte del incremento de la producción de alimentos de la Revolución Verde se alcanza con un mayor número de

ciclos agrícolas por año. Esto tiene como resultado más trabajo, con consecuencias dramáticas para el sistema social. La gran demanda laboral de la agricultura de la Revolución Verde deja menos tiempo para las actividades comunitarias. Hay menos tiempo para ayudar a los vecinos durante los períodos pico de trabajo, menos tiempo para proyectos comunitarios como el mantenimiento de terrazas o canales para riego, o para la construcción de viviendas para los recién casados (donde todavía existe esta costumbre), y menos tiempo para los festivales religiosos o de otro tipo, que contribuyen a la solidaridad comunitaria.

La sobrepoblación incrementa la competencia por recursos ya limitados. Hoy en día son frecuentes las disputas por el acceso a recursos compartidos; por ejemplo, el agua para riego o la energía hidroeléctrica proveniente de ríos que fluyen a través de varios países, o los recursos marinos que se encuentran en 'zonas económicas exclusivas' o "mar patrimonial" (a menos de 320 kilómetros de distancia de la línea de costa) de más de una nación. Las disputas que surgen alrededor de recursos naturales valiosos han ocasionado muchas guerras en el pasado y puede esperarse que causen más en el futuro a medida que la competencia por obtener los recursos limitados se intensifique. Sin embargo, la principal fuente de violencia en la actualidad es el conflicto entre grupos étnicos distintos que compiten sobre los mismos recursos dentro de algunas naciones. Las guerras por la autonomía regional o la independencia han proliferado por muchas partes del mundo en años recientes. Uno de las principales contiendas en estos conflictos es si los recursos serán controlados por los grupos étnicos mayoritarios o por la elite en el poder que controla la nación – o por poblaciones regionales que habitan el área.

¿Qué podemos hacer acerca de la población demográfica? El mensaje más importante de este capítulo ha sido que la población humana de la Tierra está acercándose muy rápidamente a su capacidad de carga, sin que exista la esperanza de que haya un incremento importante de esta capacidad en el futuro previsible. Aunque la gente estaría dispuesta a hacer lo mejor posible para mantener la población cómodamente dentro de los límites actuales de la capacidad de carga, la inercia de la explosión demográfica hace que esa elección sea imposible por lo pronto. Lo más que podemos esperar es que disminuya la velocidad del crecimiento de la población tan rápidamente como sea posible. Dado que la mayor parte del crecimiento demográfico se

encuentra actualmente en el mundo en vías de desarrollo, la clave para detener la explosión demográfica se encuentra en esa región.

Existe la creencia popular de que el crecimiento económico debe preceder a la disminución de la natalidad del mundo en vías de desarrollo, tal como pareció suceder con del desarrollo económico de las naciones industrializadas. Sin embargo, hay estudios recientes que muestran que la disminución de las tasas de natalidad en Europa se asoció más al acceso a los mecanismos de control natal y a los cambios de actitud acerca del tamaño de la familia y la aceptación social de la utilización de métodos de control natal. Las tendencias recientes en algunos países del mundo en vías de desarrollo han mostrado lo mismo. Mientras que el desarrollo económico y la educación, especialmente de las mujeres, pueden contribuir a reducir las tasas de natalidad, no es necesario esperar a que se den estas condiciones. Muchas mujeres del mundo en vías de desarrollo, ricas y pobres, quieren tener familias pequeñas a través del acceso inmediato a la planificación familiar. Su principal necesidad radica en el acceso a los métodos modernos de control natal y a información robusta acerca de cómo utilizarlos.

PUNTOS DE REFLEXIÓN

1.- Encuentre cuál era la población humana de su nación hace 100 años. ¿Cuál es la población actual? ¿Cuáles son las tasas de natalidad y mortalidad? ¿Cómo se comparan las tasas actuales de natalidad y mortalidad con las de hace 100 años?

2.- ¿Cuántas personas cree usted que puede sostener el área (o la nación) donde vive? ¿Cree que su comunidad tiene pocas personas o demasiadas? ¿O justo las adecuadas? ¿Y qué dice de su país? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de tener más o menos personas? ¿Cuáles son las conexiones entre el número de personas y la calidad de vida?

3.- Las poblaciones que envejecen son una preocupación importante para las naciones industrializadas de la actualidad. Existe una tendencia hacia un mayor número de personas jubiladas que son mantenidas por un número cada vez menor de personas en edad de trabajar. Algunas naciones están considerando establecer políticas para estimular una tasa de natalidad más elevada para contar con una fuerza laboral más

numerosa. ¿Piensa usted que esto es una buena idea? ¿Puede pensar en otras formas para enfrentar el problema del envejecimiento?

4.- ¿Qué sucede cuando las poblaciones humanas rebasan su capacidad de carga? ¿Puede usted pensar en ejemplos concretos?

5.- Millones de 'refugiados económicos' se desplazan de las naciones pobres a las ricas todos los años. Algunos ciudadanos de las naciones ricas piensan que la inmigración debiera ser controlada estrictamente. Otras personas piensan que debería haber un libre movimiento de personas por todo el mundo. ¿Usted qué piensa? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada una de estas políticas?

6.- ¿Las naciones ricas que han controlado el crecimiento de sus poblaciones deberían proporcionar asistencia alimenticia a las naciones pobres con altas tasas de crecimiento demográfico? ¿Las naciones ricas deberían proporcionar algún otro tipo de asistencia a las naciones que no cuentan con suficientes alimentos?

CAPITULO 4

Los Ecosistemas y los Sistemas Sociales como Sistemas Complejos Adaptativos.

Los ecosistemas y los sistemas sociales son **sistemas complejos adaptativos**: complejos porque tienen muchas partes y muchas conexiones entre ellas; adaptativos porque su estructura de retroalimentación les brinda la habilidad para cambiar en formas que promueven la supervivencia en un medio ambiente fluctuante.

¿Cómo podemos entender la interacción entre el ser humano y los ecosistemas cuando la complejidad de los sistemas sociales y los ecosistemas resulta tan abrumadora? La respuesta radica en las **propiedades emergentes**: las características distintivas y el comportamiento que 'emergen' de la manera en que se organizan los sistemas complejos adaptativos. Estando consciente de las propiedades emergentes resulta más fácil 'ver' lo que en realidad está sucediendo. Las propiedades emergentes son la clave para comprender las interacciones entre los seres humanos y los ecosistemas, de manera que permite la ilustración del desarrollo sustentable.

Este capítulo comenzará explicando el concepto de propiedades emergentes. Después describirá con detalle tres ejemplos significativos de las propiedades emergentes:

1. La auto-organización.
2. Los dominios de estabilidad.
3. Los ciclos de sistemas complejos.

En capítulos posteriores se describirán otras propiedades emergentes de los ecosistemas y los sistemas sociales.

ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA Y PROPIEDADES EMERGENTES

Los sistemas biológicos tienen una **jerarquía** de niveles de organización que se extiende desde las moléculas y las células hasta los organismos individuales, las poblaciones y los ecosistemas. Cada planta o animal individual es una colección de células; cada población es una colección de organismos individuales de la misma especie; y cada ecosistema consiste en poblaciones de diferentes especies. Los niveles de organización biológica más importantes para la ecología humana son las poblaciones y los ecosistemas.

Cada nivel de organización biológica, desde las moléculas hasta los ecosistemas, tiene comportamientos característicos que emergen para ese nivel. Estos comportamientos distintivos, llamados **propiedades emergentes**, funcionan en sinergia a cada nivel de organización para otorgar a ese nivel una vida propia mayor que la suma de sus partes. Esto sucede porque todas las partes encajan entre sí de manera que permite al sistema funcionar en conjunto de tal modo que promueve su propia supervivencia. En virtud de que las partes están interconectadas, el comportamiento de todas ellas está determinado por circuitos de retroalimentación que atraviesan por el resto del sistema. Una mezcla de retroalimentaciones positivas y negativas promueve el crecimiento y el cambio del sistema en conjunto.

Las propiedades emergentes son más fáciles de percibir en organismos individuales. En organismos simples, como las medusas, podemos identificar propiedades emergentes tales como el crecimiento, el desarrollo de diferentes tejidos y órganos, la homeostasis, la reproducción y la muerte. La riqueza de expresión de las propiedades emergentes aumenta con la complejidad del organismo. Por ejemplo, la 'vista' es una propiedad emergente, como también lo es la percepción del color. Las imágenes visuales no son una propiedad de las células que componen los organismos; la experiencia de las imágenes visuales emerge al nivel de un organismo completo. Las emociones como el miedo, la ira, la ansiedad, el odio, la alegría y el amor también son propiedades emergentes.

Las poblaciones y los ecosistemas no son organismos, pero algunas de sus propiedades emergentes son análogas a las de los organismos porque se les puede describir mediante términos como 'crecimiento', 'regulación', o 'desarrollo'. La curva del crecimiento demográfico, la regulación de las poblaciones, la evolución genética y

la organización social son ejemplos de propiedades emergentes al nivel de organización de las poblaciones. No son propiedades de los individuos de una población. Emergen como propiedades especiales de una población porque todos sus individuos se ven afectados por lo que sucede en la población en conjunto. Tomando como ejemplo la regulación de las poblaciones, las plantas y animales individuales tienen el potencial para vivir una larga vida, produciendo un gran número de descendientes. Sin embargo, la supervivencia y reproducción reales de cada individuo dependen de cuántos otros individuos hay en la población y cómo se compara este número con la capacidad de carga. Si la población total rebasa la capacidad de carga, algunos individuos de la población estarán condenados a morir por falta de alimento. El resultado es que la población se ve regulada dentro de los límites de la capacidad de carga – una propiedad emergente de las poblaciones.

¿Y qué hay de las propiedades emergentes de los ecosistemas? Todas las partes componentes de los ecosistemas están limitadas por sus conexiones con otras partes del ecosistema. Las capacidades de carga de todas las especies de la comunidad biológica de un ecosistema son una propiedad emergente del ecosistema en conjunto porque la fuente de alimento para cada especie es una consecuencia de lo que sucede en otras partes del ecosistema. La fuente de alimento de cada especie depende, en primera instancia, de la **producción biológica** del ecosistema y, en segunda, de la cantidad de la producción biológica del ecosistema que la **red alimenticia** conduce a esa especie en particular. En capítulos posteriores se describirán otras propiedades emergentes de los ecosistemas.

Los componentes de un nivel de organización interactúan principalmente con otros componentes del mismo nivel. Lo hacen respondiendo a información que surge de esos componentes. Las moléculas de proteína de la célula interactúan con otras moléculas en maneras que responden a la estructura y comportamiento de las moléculas, no a los átomos que las constituyen. Las moléculas tienen una intrincada estructura tridimensional que emerge al nivel de la molécula y le proporciona las bases para interactuar con otras moléculas. Cuando los gatos cazan ratones no procesan la información de todas las partes del ratón para detectarlo. En lugar de ello, responden a características clave que emergen al nivel del ratón integral: tamaño del cuerpo; orejas

grandes; cola larga y delgada, etcétera. No procesan información acerca de la estructura celular de estas características. Los ratones responden a los gatos de una manera similar.

Una propiedad emergente de los ecosistemas y los sistemas sociales es el comportamiento **contraintuitivo** (es decir, contra lo que pudiera intuirse o pensarse inicialmente). A veces hacen lo contrario de lo que esperamos. Un ejemplo es la construcción de viviendas de interés social en los Estados Unidos de América durante las décadas que siguieron a la Segunda Guerra Mundial. El propósito de la vivienda de interés social era reducir la pobreza proporcionando una vivienda digna a personas de ingresos bajos, a un precio que pudieran costear. Sin embargo, la vivienda barata estimuló a las personas no calificadas a mudarse de áreas rurales hacia las ciudades, aún cuando no había trabajos disponibles. El gran número de desempleados convirtió las viviendas de interés social en guetos de pobreza. El efecto de la vivienda de interés social fue contrario a su propósito porque lo que sucedió dependía no sólo de la vivienda sino también de los circuitos de retroalimentación a través de otras partes del sistema social.

La historia de la prevención de incendios forestales constituye un ejemplo del comportamiento contraintuitivo de los ecosistemas. Los administradores de bosques trataron de reducir el daño de los incendios apagándolos. El resultado fueron daños aún mayores. Los detalles de esta historia se encuentran en el capítulo 6.

A veces, los ecosistemas y los sistemas sociales resultan contraintuitivos porque no son fácilmente comprendidos por personas cuya existencia principal se encuentra en otro nivel de organización – el nivel de un individuo dentro del ecosistema y del sistema social. Esta diferencia es una razón importante por la que a las personas se les dificulta predecir las consecuencias últimas de sus acciones sobre los ecosistemas. Las propiedades emergentes de nuestro propio nivel individual de organización – nuestros cuerpos, nuestra conciencia y nuestras interacciones directas con otras personas y otras partes del ecosistema – son obvias para nosotros, pero las propiedades emergentes de los niveles más altos de organización ya no lo son tanto. Las dificultades para percibir las propiedades emergentes de un nivel de organización más alto se pueden ilustrar imaginando un glóbulo rojo ‘pensante’ en el torrente sanguíneo de una persona. Debido a sus viajes por el cuerpo, el glóbulo rojo está bastante familiarizado con las distintas

partes del cuerpo – el cerebro, el ojo, y demás – pero le resulta muy difícil comprender la vista, los pensamientos, las emociones y las actividades que provienen del cuerpo integral. Las personas, como una pequeña porción de los ecosistemas y los sistemas sociales, tienen las mismas dificultades para comprender los ecosistemas y los sistemas sociales.

Propiedades emergentes de los sistemas sociales

Las propiedades emergentes del sistema social humano son importantes para la ecología humana porque determinan de qué maneras se relacionan las personas con los ecosistemas. Una propiedad emergente es la distorsión de la información a medida que se acumulan errores a través de una red social. Esta propiedad emergente es la base del juego de 'teléfono descompuesto', que comienza dándole un mensaje secreto a una persona de un grupo. Esta persona susurra el mensaje a una segunda, y el mensaje se va susurrando de una persona a otra. Después de que el mensaje ha sido transmitido a todos los miembros del grupo, la primera y última persona dicen a los demás el mensaje, tal como lo entendieron. Para diversión de todos, la versión de la última persona es típicamente incorrecta de muchas maneras, aún cuando la última persona no sea un mentiroso.

Otra propiedad emergente es la **negación**, el rehusarse a reconocer o aceptar la verdad cuando ésta no coincide con las creencias existentes. El filtrado selectivo de la información ayuda a proteger los sistemas existentes de creencias individuales y compartidas. Por ejemplo, las naciones europeas con imperios globales se cegaron ante la opresión y explotación del colonialismo. Preferían ver al colonialismo en términos de un sistema de creencias que le atribuía motivos nobles – la diseminación de la cultura, la ciencia, y la tecnología europeas 'superiores', el progreso económico y la salvación religiosa de los pueblos sometidos. De manera parecida, es frecuente que los gobiernos y las personas poderosas que se benefician de la tala no sustentable de los bosques tropicales crean que los principales culpables de la deforestación son los campesinos a pequeña escala, aún cuando los campesinos locales generalmente utilizan los recursos forestales de una manera ecológicamente apropiada.

Durante los años cincuentas y sesentas del Siglo XX, algunos ecólogos trataron de advertir a la gente sobre los peligros inminentes de la explosión demográfica de la humanidad y el deterioro ambiental. La mayoría de las personas, incluso funcionarios de gobierno y líderes empresariales considerablemente poderosos, no lo creyeron, aún cuando los hechos eran bastante claros. El sistema de creencias de la sociedad de ese tiempo depositaba una gran confianza en la habilidad de la ciencia, la tecnología, y la economía de mercado libre para asegurar un progreso continuo. La mayoría de las personas consideraba que las advertencias acerca de los problemas ambientales inminentes resultaban extremistas. Costó varias décadas y muchos desastres ambientales lograr que la gente empezara a aceptar que los problemas eran reales. Esta negación tuvo un efecto muy importante sobre la interacción entre el sistema social y el ecosistema porque se perdió mucho tiempo antes de que la gente empezara a tomar en serio al medio ambiente. Esta costosa forma de negación persiste en algunas personas, incluyendo a influyentes políticos, que insisten en dudar de la realidad del calentamiento global a pesar de la evidencia abrumadora.

Las burocracias proporcionan ejemplos de las propiedades emergentes de los sistemas sociales humanos. Una propiedad emergente es que las burocracias no son muy efectivas para lidiar con situaciones inesperadas o inusuales. Esto se debe a que las burocracias utilizan procedimientos operativos uniformes para poder actuar eficientemente a gran escala. Las burocracias pueden ser efectivas para atender asuntos de rutina, pero puede no dar tan buenos resultados cuando se enfrentan a situaciones que no son usuales, debido a que sus procedimientos no están diseñados para esas situaciones. Otra propiedad emergente de las burocracias es que frecuentemente hacen cosas que resultan contrarias a su misión. La competencia entre diferentes partes de una burocracia provoca que cada parte haga lo necesario para asegurar su propia supervivencia (por ejemplo, manteniendo su porción del presupuesto) en competencia con otras partes de la burocracia, aún si sus acciones son inútiles o contraproducentes para los objetivos de la dependencia. Estas son características de una burocracia vista en su totalidad. No derivan de las características de los individuos que conforman la burocracia, que generalmente son trabajadores concienzudos. Sus trabajos pueden conducirlos a hacer cosas con las que personalmente no estén de acuerdo.

AUTO-ORGANIZACIÓN

¿Por qué encajan tan bien entre sí todas las partes de un ecosistema? ¿Cómo se organizan todas las partes, sus conexiones funcionales y los circuitos de retroalimentación resultantes, de tal manera que todo funcione simultáneamente? La asombrosa respuesta a estas preguntas es que los ecosistemas se organizan a sí mismos, y lo mismo es cierto para los sistemas sociales. Se organizan a sí mismos mediante un **proceso de ensamble** que se parece al bien conocido proceso de selección natural de la evolución biológica.

Auto-organización de las comunidades biológicas

El corazón de la organización de un ecosistema radica en su **comunidad biológica** – todas las plantas, animales y microorganismos que viven en el ecosistema. Las especies que forman la comunidad biológica de un lugar específico provienen de un conjunto mayor de especies que habitan el área circundante. La selección de esas especies, y su organización en una red alimenticia, sucede mediante un proceso denominado **ensamble comunitario**. En este contexto, ensamble significa 'conjuntar o encajar unas partes con otras'. El proceso de ensamble comunitario es una propiedad emergente de los ecosistemas.

La comunidad biológica de un lugar particular es consecuencia de la llegada, en el pasado, de varias especies de plantas, animales y microorganismos. Siempre que llega a un sitio una nueva especie, sobrevivirá y establecerá una población solamente si al inicio los nacimientos son más numerosos que las muertes. Su población no sobrevivirá si las muertes son más numerosas que los nacimientos. Si la especie recién llegada sobrevive, su población crecerá exponencialmente hasta que alcance su capacidad de carga, como se muestra en la Figura 2.9. Así, la nueva especie se incorpora a la comunidad biológica del sitio.

Hay tres reglas del ensamble comunitario que determinan si la población de una especie recién llegada puede sobrevivir en un sitio. Para sobrevivir y formar parte de un ecosistema, una especie recién llegada debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. Está adaptada a las condiciones físicas del sitio y puede sobrevivir en ellas todo el año.
2. El sitio cuenta con el tipo adecuado de alimento, y hay suficiente alimento y agua para que la especie recién llegada de planta o animal pueda crecer y reproducirse. (El número de nacimientos debe exceder al de muertes cuando la población es pequeña.) Para las plantas, el alimento consiste en agua y nutrientes minerales del suelo, más luz solar. Para los animales, el alimento consiste en las especies particulares de plantas o animales comestibles. Una especie recién llegada no sobrevivirá si sus fuentes de alimentación se ven demasiado reducidas por la competencia de plantas o animales preexistentes en el sitio que utilizan las mismas fuentes de alimentación.
3. Si en el sitio ya hay animales que pueden comerse a la especie recién llegada, esta debe tener la habilidad para evitar que se coman a demasiados de sus individuos. El número de muertes no debe exceder al de nacimientos.

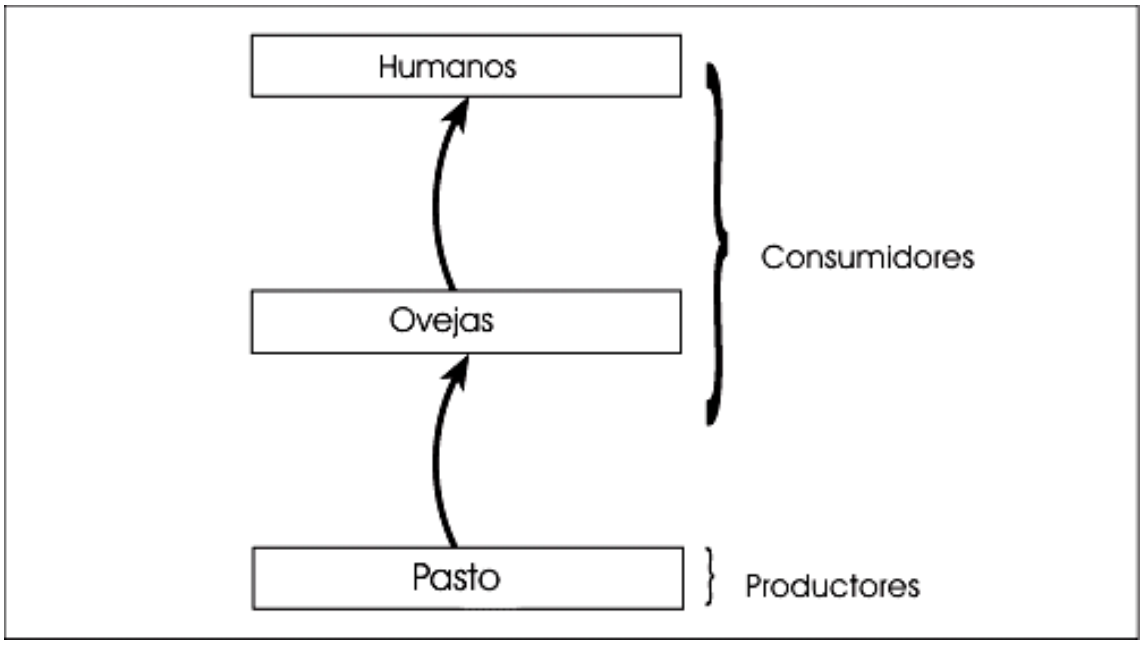


Figura 4.1 Cadena alimenticia inicial en el cuento de la isla.

La siguiente historia muestra cómo funciona el ensamble comunitario. Imagine una isla cercana a la costa, de un kilómetro de diámetro, donde mueren todas las plantas y animales durante un incendio. Solamente sobrevive el pasto. Muy pronto, este ha crecido por toda la isla. El granjero dueño de la isla decide que quiere criar ovejas en ella. La capacidad de carga para las ovejas en la isla es de 50 individuos, de modo que el granjero pone 50 ovejas en la isla.

La Figura 4.1 ilustra la sencilla cadena alimenticia en la isla una vez que el granjero la puebla de ovejas.

La isla se encuentra a un kilómetro de la costa, donde hay cientos de especies de plantas y animales que ocasionalmente pueden flotar hasta la isla, por ejemplo en un tronco. Distintas especies de plantas y animales son transportadas a la isla en varios momentos durante los primeros años posteriores al incendio. Cada especie se incorpora a la red alimenticia si cumple con las tres reglas para la supervivencia de las poblaciones que se enumeraron anteriormente. Es mejor continuar esta historia esquematizando la nueva trama alimentaria cada vez que se añade una especie.

1. Llegan semillas de árboles a la isla. A las ovejas les encanta comer las plántulas recién emergidas del suelo y los arbolitos jóvenes. ¿Sobrevivirán los árboles?
2. Llegan semillas de hierbas a la isla. Las hierbas no son apetecibles para las ovejas. ¿Sobrevivirán las hierbas? ¿Qué pasa con la cantidad de pasto en la isla? ¿Qué pasa con la capacidad de carga para las ovejas?
3. Llegan ratones a la isla. Los ratones comen pasto y hierbas. ¿Sobrevivirán en la isla? ¿Qué sucede con la cantidad de pasto y la capacidad de carga para las ovejas?
4. Llegan conejos a la isla. Los conejos comen pasto. ¿Sobrevivirán? ¿Qué pasará con la capacidad de carga para las ovejas?
5. Llegan zorras a la isla. Comen ratones. No pueden comerse a todos los ratones porque estos son lo suficientemente pequeños para esconderse. A las zorras les encanta comer conejos. Matan rápidamente a todos los conejos porque son demasiado grandes como para esconderse. ¿Sobrevivirán las zorras? ¿Qué pasa con el número de ratones? ¿Qué pasa con los conejos? ¿Qué pasa con el pasto y la capacidad de carga para las ovejas?
6. Llega a la isla un insecto que come hojas de árboles. ¿Sobrevivirá?
7. Llegan gatos a la isla. Los gatos, que son mejores para cazar ratones que las zorras, reducen el número de ratones a tal grado que las zorras ya no tienen alimento suficiente. Sin embargo, basta un pequeño número de ratones para que los gatos sobrevivan. ¿Qué pasa con las zorras? ¿Qué pasa con la capacidad de carga para las ovejas?

8. Llegan pulgas de gato a la isla. ¿Sobrevivirán?

La Figura 4.2 muestra la comunidad biológica después de la llegada de todas estas plantas y animales a la isla. La comunidad biológica está organizada como una red alimenticia. Las redes alimenticias son otra propiedad emergente de los ecosistemas. Cada especie de planta, animal o microorganismo juega un papel particular en la red alimenticia – su **nicho ecológico** – principalmente definido por su posición en la red (es decir, que utiliza a otras especies de la comunidad biológica como alimento, y aún otras la utilizan como alimento). Los nichos ecológicos también se definen por las condiciones físicas, como el ciclo anual de temperatura y humedad en el microhabitat donde vive una especie.

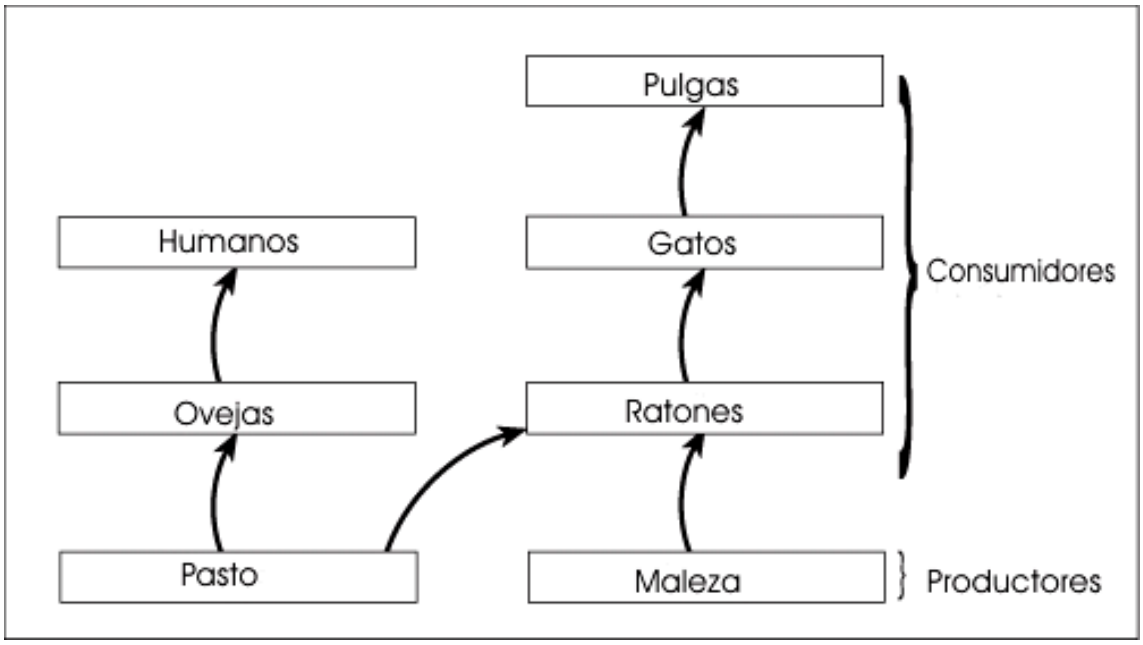


Figura 4.2 Cadena alimenticia final en el cuento de la isla.

Es posible ver que algunas de las plantas y animales que llegaron a la isla no están en el diagrama porque no sobrevivieron. No encajaron en la comunidad biológica que existía cuando llegaron. Esta es la razón por la que las comunidades biológicas siempre tienen plantas y animales que encajan unos con otros con cada cambio de la red alimenticia. Las reglas que determinan si una especie nueva sobrevive también se aplican a las especies que ya se encuentran en la comunidad biológica. Los conejos desaparecieron de la isla cuando los **depredadores** (zorras) que llegaron mataron a demasiados conejos como para que su población sobreviviera. Las zorras desaparecieron con la llegada de los gatos, que resultaron mejores **competidores** en la

red alimenticia que existía en ese momento. Finalmente, la proporción de la producción biológica de la isla que le tocaba al granjero (esto es, el pasto para sus ovejas) cambió a medida que avanzaba la historia. Esta historia continuará por muchos años a medida que lleguen nuevas plantas y animales a la isla y crezca gradualmente el número de especies en la red alimenticia.

Este sencillo ejemplo trató únicamente con plantas y animales, pero los microorganismos, tales como las bacterias y los hongos, aunque sean menos conspicuos, son igualmente significativos en los ecosistemas reales. Cada planta y animal proporciona hábitat y sustento a millones de bacterias. Algunas de las bacterias son dañinas, pero la mayoría es inocua o incluso esencial para la supervivencia de la planta o animal. Los microorganismos también son actores protagónicos en las redes alimenticias del suelo. Un litro de tierra típicamente contiene miles de millones de bacterias cuyo papel central en los ciclos ecológicos las hace esenciales para la supervivencia del ecosistema en conjunto.

La comunidad biológica creada por el proceso de ensamble se debe en parte a la casualidad. Depende, en parte, de qué especies llegan a la isla, y cuándo llegan. Si nos imaginamos diez islas con la misma fuente de plantas y animales en la costa continental, la progresión de las comunidades biológicas de cada una de ellas puede ser muy diferente de las demás. Algunas de las comunidades serán similares a otras, aunque no exactamente iguales. Otras pueden ser completamente distintas. Sin embargo, el elemento del azar en el ensamble comunitario no significa que cualquier combinación de plantas y animales es posible. De hecho, todas las comunidades biológicas que se pueden crear son un subconjunto minúsculo de todas las combinaciones posibles, ya que el ensamble comunitario solamente admitirá aquellas plantas y animales que encajen entre sí en una red alimenticia funcional.

El proceso de ensamble comunitario no está limitado a las islas. Sucede en todas partes todo el tiempo. Cada lugar del mundo es una ‘isla’ donde continuamente llegan plantas y animales de áreas cercanas. Las comunidades biológicas de la mayoría de las regiones del mundo contienen cientos de especies de plantas y animales, y todas las plantas y animales de cada región encajan entre sí.

Auto-organización de los sistemas sociales

Todos los sistemas complejos adaptativos se auto-organizan. El proceso de ensamble que se ilustró en la historia de la isla es una de las formas principales en que los sistemas complejos, incluso los sistemas sociales, se organizan a sí mismos.

La manera en que funciona el proceso de ensamble en los sistemas sociales se puede ilustrar analizando las actividades comerciales. Cuando alguien inicia un nuevo negocio, la supervivencia del negocio puede depender de reglas como las siguientes:

- El negocio se adapta a la comunidad.
- Hay demanda para los productos o servicios del negocio.
- El negocio puede generar suficientes clientes para producir ganancias. No hay negocios competidores que proporcionen el mismo producto o servicio al grado de que no existan clientes suficientes o que el precio del producto o servicio resulte demasiado bajo como para generar ganancias.
- El negocio cuenta con una buena fuente de suministro de lo que necesita para elaborar sus productos o proporcionar sus servicios. El costo de estos insumos no es mayor que los ingresos del negocio.

Si se comparan estas reglas con las reglas de ensamble que imperan para las comunidades biológicas analizadas al principio de este capítulo, es posible ver la semejanza entre los dos conjuntos de reglas, y ver cómo los mismos procesos que organizan los ecosistemas también se aplican a los sistemas sociales.

El proceso de ensamble en los ecosistemas y los sistemas sociales es semejante a la evolución biológica. La evolución biológica se basa en las mutaciones genéticas, que pueden sobrevivir o no al proceso de selección natural. (Cada mutación genética es una 'recién llegada'). La evolución biológica es lenta porque las mutaciones genéticas son cambios azarosos que generalmente resultan lesivos. Sólo de manera ocasional surgen mutaciones lo suficientemente benéficas como para sobrevivir a la selección natural.

También las culturas humanas evolucionan. Para las culturas, las mutaciones son las nuevas ideas. Las nuevas ideas sobreviven si encajan con el resto de la cultura y prueban su utilidad. Si una idea sobrevive o no puede depender de la situación. Una idea nueva puede sobrevivir exitosamente en una cultura particular, y en un momento y lugar determinado, pero esa misma idea puede fracasar en una cultura diferente o en un tiempo o lugar distintos, porque no encaja. La evolución cultural humana puede resultar mucho más veloz que la biológica porque las mutaciones culturales no son eventos azarosos como las mutaciones biológicas. Las mutaciones culturales son ideas que las personas formulan para resolver problemas, de modo que las mutaciones culturales frecuentemente encajan en la cultura lo suficientemente bien como para sobrevivir e incorporarse a la cultura.

DOMINIOS DE ESTABILIDAD

Los ecosistemas y los sistemas sociales presentan una tensión entre fuerzas que se resisten al cambio (retroalimentación negativa) y fuerzas que promueven el cambio (retroalimentación positiva). La retroalimentación negativa mantiene a las partes esenciales del sistema dentro de los límites requeridos para que funcionen conjuntamente, mientras que la retroalimentación positiva les proporciona la capacidad para efectuar grandes cambios cuando resultan necesarios. La retroalimentación negativa puede dominar en algunos momentos, y en otros la positiva puede resultar la dominante, dependiendo de la situación. Como resultado, los ecosistemas y los sistemas sociales pueden permanecer más o menos en el mismo estado durante largos períodos, pero también pueden cambiar muy súbitamente. Los cambios pueden ser como un 'conmutador'. La 'conmutación' es una propiedad emergente de todos los sistemas complejos adaptativos, incluyendo a los ecosistemas y los sistemas sociales.

La Figura 4.3 muestra el interruptor de un cuerpo humano que pasa de la vida a la muerte. La **homeostasis**, en forma de cientos de circuitos de retroalimentación negativa, normalmente mantiene todas las partes de un cuerpo saludable más o menos como deben estar, pero el **estado** de un cuerpo cambia cuando la persona se encuentra enferma o herida. El estado involucra todas las condiciones del cuerpo en un momento determinado – la temperatura, la presión sanguínea, la concentración de azúcar en la

sangre, las concentraciones de hormonas, la tasa respiratoria, y cientos de otras cosas. El eje horizontal del diagrama representa el estado del cuerpo. Cada punto en el eje horizontal representa la condición de una persona (esto es, todo acerca de su cuerpo) en un momento determinado. Los puntos que se encuentran muy cerca unos de otros representan estados similares, y los puntos que se encuentran más alejados representan estados que son más distintos unos de otros.

La colocación de la bola representa el estado del cuerpo en un momento determinado, y el movimiento de la bola representa un cambio en el estado del cuerpo de un momento a otro. Una distancia corta en el movimiento representa un cambio pequeño, y una distancia más larga representa un cambio mayor. En esta metáfora, la fuerza gravitacional sobre la bola representa las fuerzas de cambio naturales en el sistema complejo. El movimiento 'cuesta abajo' de la bola representa el cambio debido a los mecanismos homeostáticos que mantienen al cuerpo en un estado saludable. La bola se mueve de un lado a otro a medida que los eventos azarosos cambian la condición del cuerpo, pero generalmente se mantiene cerca del fondo del 'valle' (*A*). Si una persona saludable experimenta una perturbación externa, como una enfermedad o una herida, la perturbación fuerza a la bola a moverse pendiente arriba hacia un estado no saludable (*B*). Generalmente, el cuerpo elimina la infección o repara la herida y todo vuelve a la normalidad. La bola rueda hacia el fondo del valle, y el cuerpo se encuentra de nuevo tan saludable como en *A*. Y sea que esté enfermo o saludable, el cuerpo se mantiene en la parte 'viva' del diagrama (el dominio de estabilidad 'vivo') porque la homeostasis lo mantiene así.

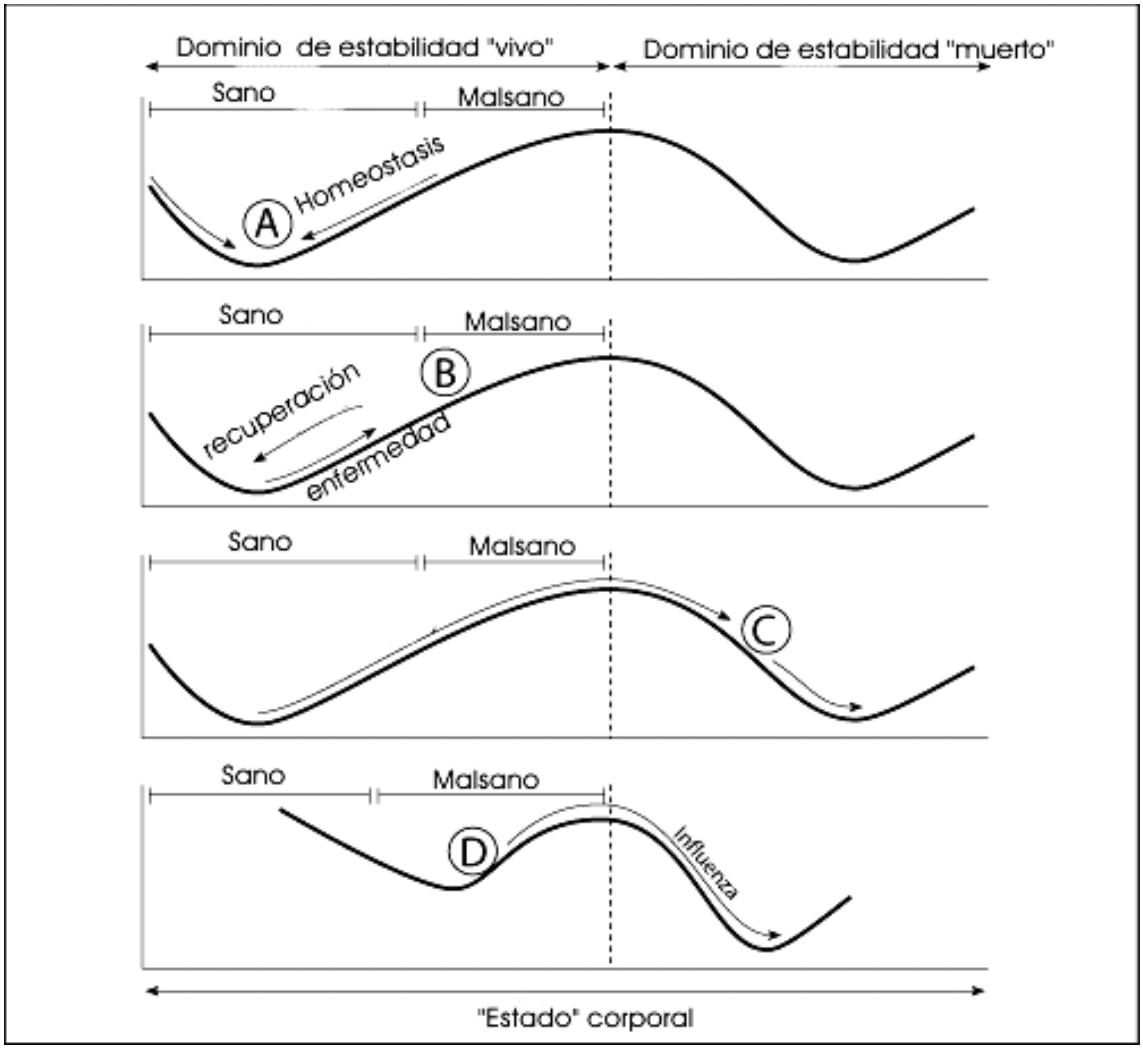


Figura 4.3 Los estados corporales "vivo" y "muerto" ilustran el concepto de dominios de estabilidad.

El diagrama tiene otro dominio de estabilidad: 'muerto'. Una enfermedad o una herida graves pueden cambiar al cuerpo tanto que la bola es empujada por encima de la cresta de la pendiente, del dominio de estabilidad 'vivo' al dominio 'muerto' (*C*). El cuerpo ya no funciona como antes; nuevos circuitos de retroalimentación lo cambian hacia un estado muy diferente. La temperatura corporal desciende hasta alcanzar la del medio ambiente circulante, los músculos se vuelven rígidos, y cientos de procesos internos se detienen. A medida que el cuerpo cambia debido a los procesos naturales que siguen a la muerte, la bola rueda hasta el fondo del valle del dominio de estabilidad 'muerto'. No hay fuerzas naturales que empujen la bola de regreso al dominio 'vivo'. El cuerpo no vuelve a la vida, aún cuando ha terminado la perturbación externa.

Los eventos traumáticos como las enfermedades o las heridas no son las únicas formas en que un cuerpo puede cambiar. Un cuerpo puede cambiar gradualmente debido

a procesos internos, como el envejecimiento. A medida que la salud de una persona se deteriora con la edad, la forma de la colina cambia de manera que el fondo del valle se acerca al límite entre 'vivo' y 'muerto' (*D*). Cuando los mecanismos homeostáticos se debilitan, la pendiente de la colina se hace menos pronunciada, de manera que resulta más fácil que una perturbación empuje la bola la corta distancia que la separa de la cima de la colina y hacia el dominio 'muerto'. Las fracturas de cadera y enfermedades como la influenza o la neumonía, que rara vez son mortales en los jóvenes, pueden ser fatales para los ancianos.

Un sencillo rompecabezas ilustra cómo los dominios de estabilidad son consecuencia del diseño de un sistema, esto es, de la organización de sus partes componentes. El reto consiste en balancear seis clavos sobre la cabeza de un clavo vertical. La solución se encuentra en un arreglo simple y estable de los clavos que está lejos de resultar evidente (ver Figura 4.4*A*). Esto representa un dominio de estabilidad. Si se mueve cualquiera de los seis clavos, modificando su relación con los demás, toda la configuración se colapsa y se desplaza hacia un nuevo dominio de estabilidad, como el de la Figura 4.4*B*. Lo mismo que el arreglo de la Figura 4.4^{a} puede ser la única solución viable al rompecabezas, las formas en que las partes componentes potenciales de una comunidad biológica pueden encajar entre sí para conformar un ecosistema funcional y viable también son relativamente pocas en comparación con la enorme cantidad de posibilidades.

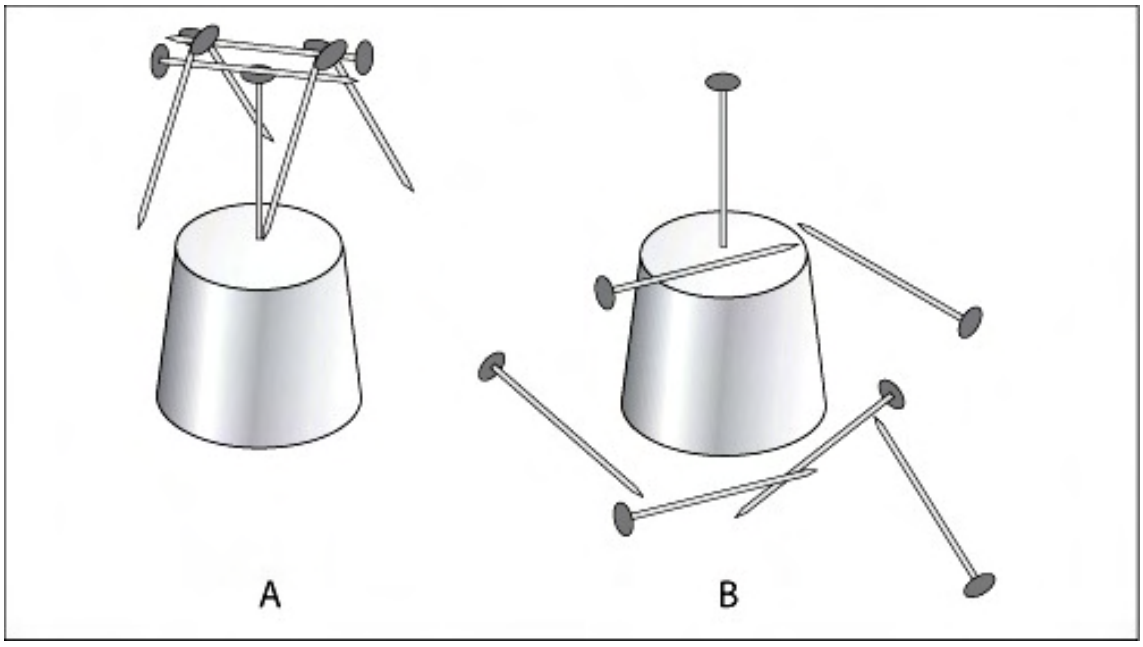


Figura 4.4 Dominios de estabilidad alternos para clavos. ¡Inténtelo!

¿Qué es el estado de un sistema social? ¿Cuáles son sus dominios de estabilidad? El estado de un sistema social es todo lo que atañe a una sociedad en un momento y un lugar determinados – la cultura, el conocimiento, la tecnología, las percepciones, los valores, y la organización social. Fluctúa constantemente en algunos de sus aspectos, mientras que permanece más o menos fijo en otros. Hay circuitos de retroalimentación negativa que mantienen a los sistemas sociales dentro de dominios de estabilidad impuestos por sistemas culturales, políticos y económicos particulares, mientras que procesos tales como la evolución cultural cambian gradualmente la forma de los dominios. A veces, los sistemas sociales experimentan cambios bruscos de un dominio de estabilidad a otro. La ruptura de lo que fuera la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas es un ejemplo notable. La Glasnost y la Perestroika fueron 'perturbaciones' que desencadenaron una multitud de circuitos de retroalimentación que impulsaron a la Unión Soviética de un dominio de estabilidad de 'una sola nación' a otro de 'naciones separadas'. En el mundo en vías de desarrollo se están llevando a cabo varios cambios bruscos de sistema social a medida que la difusión de la economía global estimula cambios sociales y culturales severos.

¿Qué es el estado del ecosistema? El **estado de un ecosistema** es la suma total de las partes del ecosistema: el tamaño de las poblaciones de todas las especies de plantas, animales y microorganismos; la cantidad o concentración de todas las sustancias del aire, el suelo y el agua; y todas las estructuras construidas por la gente. El estado del ecosistema cambia en la medida en que cualquiera de estas partes se altera con el paso del tiempo. Las 'pendientes' en un diagrama de estabilidad del ecosistema representan los procesos ecológicos naturales que mantienen la integridad de un ecosistema manteniéndolo en el mismo dominio de estabilidad. Las 'pendientes' también representan procesos tales como el ensamble comunitario, que sistemáticamente modifican los ecosistemas (ver el tema de sucesión ecológica en el Capítulo 6).

Para los ecosistemas, las perturbaciones externas, como los huracanes, los incendios, y la introducción de plantas y animales exóticos (como el caso del lirio acuático introducido el Lago Victoria descrito en el Capítulo 1), son eventos traumáticos

que los cambian completamente, moviéndolos de un dominio de estabilidad a otro. Los impactos de las actividades humanas también pueden ser una perturbación externa para los ecosistemas. Los dominios de estabilidad de los ecosistemas jugarán un papel importante en el próximo capítulo y aparecerán a lo largo del resto del libro. Son importantes para el desarrollo sustentable porque las actividades humanas pueden desencadenar cambios que modifican de manera irreversible un ecosistema de un dominio de estabilidad deseable a uno indeseable.

CICLOS DE SISTEMAS COMPLEJOS

Los ecosistemas y los sistemas sociales cambian de dos maneras:

1. Cambios progresivos debidos a procesos internos de ensamble para la auto-organización (ensamble de comunidades biológicas y evolución cultural).
2. Cambios súbitos de un dominio de estabilidad a otro debidos a perturbaciones externas (esto es, a 'conmutadores').

Los cambios progresivos y los súbitos se combinan para formar un ciclo de sistemas complejos (ver Figura 4.5). El *'crecimiento'* es un período dominado por la retroalimentación positiva y los procesos de ensamble para la auto-organización. Es un tiempo de expansión y creciente complejidad. El *'equilibrio'* es un período de estabilidad. El sistema ha alcanzado un alto nivel de complejidad y conexión entre sus partes. Predomina la retroalimentación negativa. El sistema puede hacerse rígido y dar la impresión de resultar indestructible, pero el estancamiento y la carencia de flexibilidad pueden hacerlo eventualmente vulnerable a la destrucción por una perturbación externa. La *'disolución'* sucede cuando el sistema es destruido por una perturbación externa. La retroalimentación positiva genera cambios dramáticos, y el sistema se desbarata. Es empujado fuera de su dominio de estabilidad. La *'reorganización'* es un período en el que el sistema empieza a recuperarse de la destrucción. Es un tiempo de creación en el que los cambios pueden seguir una gran variedad de direcciones posibles; esto es, el sistema tiene la posibilidad de moverse hacia varios dominios de estabilidad diferentes. El 'azar' puede ser un factor importante para la forma en que un sistema se reorganiza, determinando hacia qué dominio de

estabilidad se dirige. La etapa de crecimiento que sigue a la reorganización depende del curso iniciado durante esta última.

La Figura 4.6 muestra cómo un ecosistema o un sistema social cambia de un dominio de estabilidad a otro en el transcurso de un ciclo de sistema complejo.

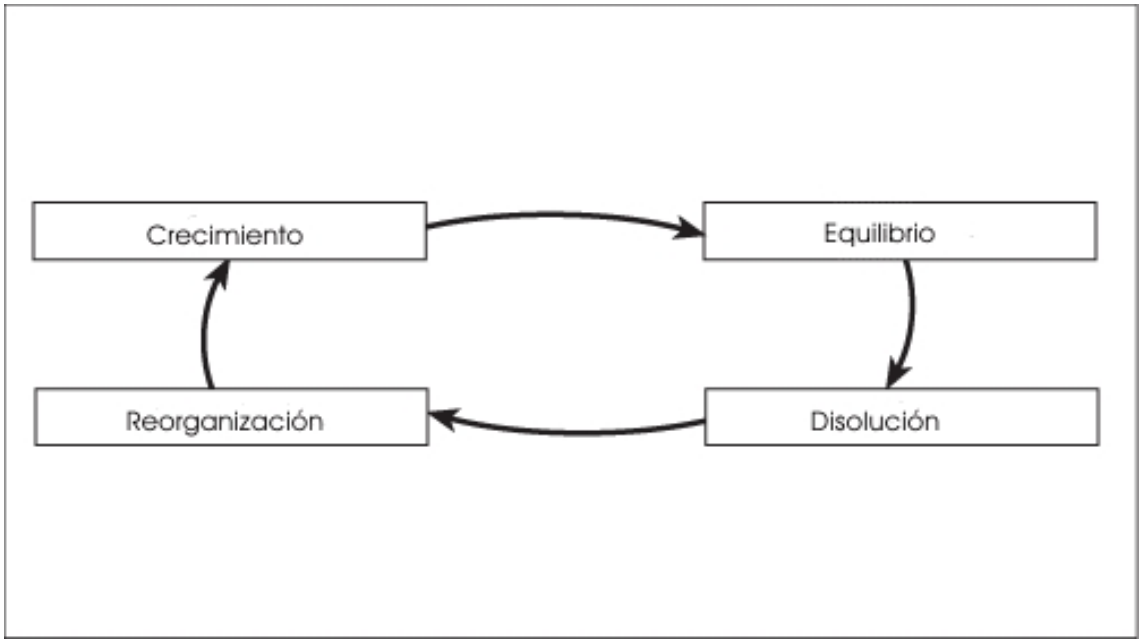


Figura 4.5 El ciclo de sistemas complejos.

Las poblaciones presentan ciclos de sistemas complejos. La etapa de crecimiento de una población es un período de aumento exponencial. Una población es regulada en o por debajo de su capacidad de carga durante la etapa de equilibrio. Las poblaciones de muchas especies de plantas y animales pueden permanecer durante mucho tiempo en la etapa de equilibrio, pero las poblaciones de otras especies experimentan 'colapsos' frecuentes porque rebasan su capacidad de carga. Los colapsos demográficos son la etapa de disolución. Por ejemplo, una población de insectos que se alimenta de una planta se puede multiplicar rápidamente (crecimiento), extendiéndose sobre la planta y eventualmente matándola. Los insectos se van volando cuando la planta muere (disolución). La mayoría de ellos muere de hambre porque fracasa en la búsqueda de otro hospedero adecuado, pero unos pocos encuentran una planta sobre la que pueden fundar una nueva población (reorganización). En el caso de los seres humanos, las personas se reorganizan típicamente cambiándose a un lugar diferente si su población rebasa la capacidad de carga local.

Figura 4.6 Ciclos de sistemas complejos desde la perspectiva de dominios de estabilidad.

Los ecosistemas también tienen ciclos de sistemas complejos porque el ensamble comunitario sigue un ciclo complejo. La historia de la isla comenzó con una disolución cuando el fuego destruyó la comunidad biológica original, que era un bosque. La supervivencia del pasto y del rebaño fue una 'reorganización' que estableció el rumbo para el crecimiento subsiguiente de la comunidad biológica, a medida que varias plantas y animales llegaban a la isla. El crecimiento continuará en tanto sigan llegando plantas y animales, y algunos se incorporarán a la comunidad biológica. Eventualmente, cuando prácticamente todos los nichos posibles de la red alimenticia hayan sido ocupados, se irá haciendo más difícil que sobrevivan nuevas especies; la comunidad biológica se mantendrá igual (equilibrio) hasta que una nueva perturbación, como un incendio o la excavadora de un constructor, ocasione un cambio dramático (disolución). Los ciclos de sistemas complejos de los ecosistemas se describirán en mayor detalle como **sucesión ecológica** en el Capítulo 6.

Los sistemas sociales tienen ciclos de sistemas complejos que abarcan desde una pequeña porción de la sociedad (por ejemplo, un club) a naciones enteras. Así como varía la escala, los períodos de tiempo pueden variar de unos cuantos meses a años o siglos. Los períodos históricos de las naciones son ejemplos de ciclos de largo plazo. La Restauración Meiji en el Japón del Siglo XIX fue el tiempo de disolución del shogunato de Tokugawa y reorganización para restaurar el poder del emperador. Después hubo un

período de crecimiento (con la formación de nuevas instituciones políticas y la industrialización) seguido por uno de equilibrio (el gobierno militar del Japón Imperial). La derrota de Japón al final de la Segunda Guerra Mundial condujo a la disolución del gobierno militar, lo que fue rápidamente seguido por una reorganización cuando Japón adoptó nuevas instituciones sociales tales como los procesos democráticos occidentales. Japón empezó a reconstruir su economía y se convirtió en una potencia económica mundial (crecimiento). La 'economía de burbuja' que Japón experimentó con el crecimiento económico fue desapareciendo en la medida en que la economía Japonesa se acercaba al equilibrio. Algunas de las instituciones económicas y políticas de Japón fueron descartadas (disolución) a medida que Japón reorganizaba su estrategia económica internacional en respuesta a la industrialización e ingreso al mercado global de otras naciones asiáticas.

Las políticas pueden cambiar dramáticamente durante los ciclos de los sistemas sociales. Las políticas se encuentran bien desarrolladas y son frecuentemente rígidas durante el período de equilibrio. Durante la disolución, la gente cuestiona las políticas existentes y las rechaza porque las considera inadecuadas. Durante la reorganización se formulan nuevas políticas, e incluso marcos de referencia radicalmente nuevos. Durante el crecimiento se afinan los detalles y se robustecen las nuevas políticas.

Las personas y los gobiernos suelen cometer el error de suponer que la situación existente continuará sin cambios durante mucho tiempo. Si se encuentran en una etapa de *crecimiento*, piensan que podrán continuar creciendo por siempre, y se sorprenden y desilusionan cuando el *crecimiento* ya no es posible. Si se encuentran en una etapa de *equilibrio*, suponen que la estabilidad y el control de esa etapa durarán para siempre, y se sorprenden cuando un desastre inesperado hace que las cosas se desmoronen. Cuando las cosas se desmoronan (*disolución*), pueden pensar que es 'el fin del mundo', pero la *reorganización* los volverá a colocar en la senda hacia la normalidad.

Una sociedad efectiva tiene la habilidad para funcionar durante las cuatro etapas del ciclo de sistemas complejos. Una sociedad efectiva no es solamente capaz de funcionar bien en el estado presente, sino que también está preparada para lidiar con las condiciones muy diferentes que se presentarán en la siguiente etapa. Las sociedades efectivas tienen la capacidad para crecer cuando les surge la oportunidad para hacerlo, y

tienen la capacidad para funcionar de manera sustentable cuando el crecimiento ya no es posible. Cuando las cosas se desmoronan, como siempre sucede tarde o temprano, las sociedades efectivas tienen la habilidad para moverse rápidamente hacia la reorganización y un nuevo crecimiento.

PUNTOS DE REFLEXIÓN

1. Con los conmutadores, algo permanece igual debido a la retroalimentación negativa, y después cambia rápidamente a otra cosa debido a la retroalimentación positiva. Piense en ejemplos de conmutadores a varios niveles de su sistema social (familia, vecindad, nacional, internacional).
2. Piense en ejemplos de ciclos de sistemas complejos en su familia, su barrio, la historia de su país, y la historia del mundo. Sea explícito acerca de cada etapa del ciclo (crecimiento, equilibrio, disolución, y reorganización).
3. Considere la historia de la isla. Empezando con la Figura 4.1, esquematice una serie de diagramas de redes alimenticias que muestren la nueva cadena alimenticia cada vez que una nueva especie se añada a la comunidad biológica de la isla. Deberá terminar con un diagrama como el de la red alimenticia de la Figura 4.2.
4. ¿Cuáles son algunas de las propiedades emergentes de su:
   - sistema social familiar;
   - sistema social de la vecindad;
   - sistema social escolar o laboral; y
   - sistema social nacional?

   Tenga en mente que las propiedades emergentes surgen del sistema integral. No provienen simplemente de las partes; derivan de la forma en que las partes se encuentran organizadas entre sí.
5. Piense en ejemplos de negación en su vida personal. ¿Cuáles son algunos ejemplos de negación en la sociedad donde vive?

CAPITULO 5

Organización de los Ecosistemas

Los procesos de auto-organización de los ecosistemas hacen que éstos resulten sumamente complejos. Los procesos de organización son una mezcla de azar y selectividad ordenada. La complejidad resultante es altamente funcional para la supervivencia de los ecosistemas.

Las plantas, animales y microorganismos de un ecosistema se encuentran organizados en una **red alimenticia** en la que todos encajan funcionalmente entre sí. Encajan por dos razones fundamentales:

1. El proceso de ensamble comunitario es capaz de seleccionar entre un menú de especies que tienen el potencial de encajar entre sí porque se han coadaptado unas a otras a través de la evolución biológica al haber vivido juntas en el mismo ecosistema durante miles de años.
2. Mientras que el proceso de ensamble comunitario forma una red alimenticia, selecciona únicamente especies que encajan en la red existente. (Esta es la historia de la isla del Capítulo 4).

Este capítulo comienza enumerando algunas de las maneras en que los componentes vivos de un ecosistema se coadaptan entre sí. Después explica el diseño natural de los ecosistemas – cómo todos los elementos encajan entre sí para constituir un todo continuo y funcionalmente integrado. Continúa con la descripción de tres grandes tipos de ecosistemas y cómo se diferencian con respecto de **insumos del ecosistema** y **egresos del ecosistema**:

1. Ecosistemas naturales.
2. Ecosistemas agrícolas.
3. Ecosistemas urbanos.

Además de tener a sus comunidades biológicas organizadas como redes alimenticias, los ecosistemas están organizados a lo largo del paisaje como una mezcla jerárquica de ecosistemas más pequeños – un **mosaico de paisaje**. Este capítulo concluirá describiendo cómo la mezcla de comunidades biológicas en un mosaico de paisaje se asocia con la mezcla subyacente de topografía y de las condiciones físicas en el mismo paisaje – y cómo se conectan los parches entre sí mediante insumos y egresos para constituir eun mosaico de paisaje conjuntamente funcional.

COADAPTACIÓN

La **coadaptación** y la **coevolución** son propiedades emergentes de los ecosistemas. La coadaptación (encajar unos con otros) es una consecuencia de la coevolución (cambiar juntos). Mientras que la adaptación puede tomar cualquier forma que intensifique la supervivencia, las formas más conspicuas de la coadaptación están asociadas con las maneras en que los animales y los microorganismos se nutren de otros organismos vivos en la red alimenticia. Por una parte, los animales están adaptados para encontrar y comer las plantas o animales particulares que utilizan como alimento. Por otra, tienen la habilidad para esconderse o huir de los animales que se alimentan de ellos, y pueden desarrollar inmunidad ante **parásitos** y **patógenos** que los utilizan como hospedero. La coadaptación entre depredador y presa es un juego evolutivo que nunca termina. Los depredadores evolucionan formas más efectivas para capturar sus presas, y las presas responden evolucionando formas para evitar ser capturadas. Los gatos evolucionan un oído sensible para detectar ratones en la oscuridad, y los ratones evolucionan la habilidad de moverse silenciosamente para que los gatos no los oigan.

Las plantas no pueden correr ni esconderse, pero han evolucionado otras formas para evitar ser comidas. Muchas plantas tienen valores alimentarios tan bajos que no vale la pena consumirlas. Algunas especies de plantas contienen sustancias químicas que interfieren con la digestión de los animales; otras especies son venenosas o están protegidas por estructuras defensivas tales como espinas. Algunas especies de animales resuelven este problema especializándose para comer un tipo especial de planta tras evolucionar la

habilidad para neutralizar el veneno u otras defensas de esa especie de planta. Este juego de coadaptación brinda a todas las especies de plantas y animales en el ecosistema la habilidad para obtener los alimentos que requieren para sobrevivir. También proporciona a cada especie la habilidad para sobrevivir a pesar de ser consumida por otros animales. La coexistencia está incorporada al juego. Es típico que los parásitos y patógenos evolucionen la habilidad para vivir en sus hospederos sin matarlos, una estrategia que les asegura una fuente de alimento más continua.

Las relaciones completamente cooperativas – **simbiosis** – también son frecuentes. Algunas especies de acacia tienen estructuras especiales que proporcionan alimento y micro-hábitat para hormigas que las protegen de los insectos que comen sus hojas. Las **bacterias nitrificantes** viven en las raíces de plantas como las **leguminosas**. Las bacterias convierten el nitrógeno atmosférico a una forma que las plantas pueden utilizar, y las plantas proporcionan nutrición para las bacterias. Existe una cooperación similar con los hongos (**micorrizas**) que ayudan a las raíces de las plantas a tomar fósforo del suelo. Las micorrizas reciben nutrientes de las plantas. Las abejas distribuyen el polen que fertiliza las flores mientras recolectan polen y néctar como alimento. La naturaleza contiene cientos de relaciones simbióticas como éstas. La consecuencia de la coadaptación es un grupo de plantas, animales y microorganismos a partir del cual el proceso de ensamble comunitario puede formar ecosistemas viables.

DISEÑO DE LOS ECOSISTEMAS

La coadaptación y el ensamble comunitario son las fuentes a las que acude la naturaleza para diseñar los ecosistemas, un proceso de diseño que se puede resumir comparando los ecosistemas con otro tipo de sistema – un televisor. Los ecosistemas y los televisores son similares en ciertos aspectos porque ambos son sistemas; y son diferentes en otros porque los ecosistemas han sido diseñados por la naturaleza y los televisores han sido diseñados por personas con un propósito muy específico. Uno de los aspectos más importantes en que se parecen los ecosistemas y los televisores es que ambos tienen una

selección de partes que funcionan conjuntamente. Un televisor tiene un gran número de componentes electrónicos, cada uno de ellos precisamente ajustado a los demás componentes del aparato. Un televisor no podría funcionar si sus componentes electrónicos se seleccionaran y se conectaran entre sí al azar. Desde luego no habría una imagen, y el televisor probablemente explotaría al enchufarlo. Los ecosistemas también tienen una selección de componentes que pueden encajar entre sí con precisión porque se encuentran coadaptados a través de su evolución biológica. Las especies componentes de un ecosistema sobreviven porque encajan entre sí de manera tal que permite al ecosistema en conjunto proporcionar los recursos necesarios para cada especie. Esto sucede mediante los procesos de los ecosistemas, tales como los ciclos de materia y el flujo de energía, analizados en el Capítulo 8.

Los aparatos de televisión y los ecosistemas derivan todo su sistema de comportamiento del hecho de que el comportamiento de cada componente del sistema está limitado por las acciones de los demás componentes. Aunque todos los componentes electrónicos de un televisor podrían tener en teoría un amplio rango de corrientes eléctricas, la corriente de cada componente depende de las que provienen de otros componentes. En consecuencia, las corrientes que corren por el televisor están constreñidas por su diseño a generar patrones ordenados que construyen una imagen. La imagen es una propiedad emergente del televisor.

Los mismos tipos de limitaciones se aplican a los ecosistemas. Aunque todas las plantas, animales y microorganismos tienen la capacidad reproductiva para multiplicarse hasta alcanzar cifras enormes, el tamaño de sus poblaciones es limitado por las fuentes de alimento, los enemigos naturales y otras fuerzas ecológicas. Las poblaciones incontroladas podrían dañar otras partes del ecosistema, destruyéndolo y destruyéndose a sí mismas. El ecosistema asegura su supervivencia mediante mecanismos de retroalimentación que regulan a las poblaciones biológicas que forman parte de él.

Sin embargo existen algunas diferencias importantes entre los ecosistemas y los televisores. Los ecosistemas tienen un nivel de **redundancia** (duplicación) más elevado que

el de los televisores, y esto les brinda una mayor confiabilidad y **resiliencia.** (Nota del autor: aunque la palabra inglesa *resilience* no tiene equivalente directo en el idioma español, se ha optado por utilizar el término *resiliencia* por ser más sencillo y más fácilmente reconocido en el ámbito académico que otras alternativas. En breve, el término se refiere a la capacidad de recuperación. Véase la discusión mas detallada al respecto de la resiliencia en el Capítulo 11.). Dado que los televisores están diseñados para que se les pueda construir lo más económicamente posible, sólo cuentan con un componente para cada función. Si se retira un componente, el televisor deja de funcionar. En el caso de los ecosistemas hay una considerable duplicación de funciones entre los diferentes organismos. Cada función importante en un ecosistema es normalmente llevada a cabo por varias especies distintas, a veces por docenas de ellas.

Los ecosistemas y los televisores se diferencian en otro rasgo importante. Los componentes biológicos de los ecosistemas son sistemas adaptativos complejos de por sí, con la habilidad para cambiar según lo demanden las circunstancias. Una vez que se ha ensamblado un televisor, cada uno de sus componentes mantiene las mismas características funcionales, independientemente de lo que suceda con el resto del circuito. Y una vez soldado en su lugar, ningún componente puede cambiar su conexión con los demás componentes. Los ecosistemas son muy diferentes porque, dependiendo de lo que esté sucediendo en un momento particular, las plantas y los animales pueden cambiar la forma en que interactúan con otras especies. Por ejemplo, los animales que pueden comer distintos tipos de alimentos pueden cambiar de una fuente de alimento a otra cada vez que una empiece a escasear y la otra abunde.

HOMEOSTASIS DE LOS ECOSISTEMAS

La regulación demográfica mantiene a todas las poblaciones de la comunidad biológica de un ecosistema dentro de los límites impuestos por el funcionamiento del ecosistema en conjunto. La capacidad de carga para cada especie de planta, animal o microorganismo depende de lo que suceda con otras partes del ecosistema. Los ecosistemas

también mantienen sus condiciones físicas dentro de ciertos límites. Por ejemplo, la cantidad de agua en el suelo es regulada por procesos físicos y biológicos. Las plantas funcionan mejor cuando no hay demasiada agua, o demasiado poca. Un exceso de agua puede desplazar el aire que requieren los microorganismos y las raíces de las plantas; y su escasez restringe el crecimiento de las plantas. Si hay demasiada agua en el suelo después de una lluvia intensa, las plantas la consumen en grandes cantidades, y el exceso de agua se filtra hacia abajo a través del suelo. Si escasea demasiado el agua durante los períodos de menor precipitación, las plantas reducen su consumo de agua, y la arcilla y la materia orgánica del suelo almacenan agua que podrán utilizar las plantas y los microorganismos del suelo.

La **homeostasis del ecosistema** no es tan exigente como la de los organismos individuales, pero es igual de real – particularmente en los ecosistemas naturales y en las partes naturales de los ecosistemas agrícolas y urbanos. Los factores aleatorios, como las fluctuaciones en el estado del tiempo, pueden ocasionar pequeños cambios en la comunidad biológica y el ambiente físico de un ecosistema de un año a otro. Pero mientras el ecosistema no sea alterado de una manera importante por una perturbación externa severa, la homeostasis del ecosistema mantiene a la comunidad biológica y el medio ambiente físico dentro de ciertos límites funcionales. Si algo lesivo le sucede a una especie particular en un ecosistema, la abundancia de otra especie que tenga la misma función aumenta y la función continúa. El **estado del ecosistema** puede fluctuar en el tiempo, pero generalmente se mantiene dentro del dominio de estabilidad apropiado para ese tipo de ecosistema. No es necesario atribuir una ‘conciencia’ o ‘propósito’ a la impresionante efectividad con que cientos de circuitos de retroalimentación negativa mantienen todo los componentes de los ecosistemas dentro de los límites necesarios para que funcionen conjuntamente. Los ecosistemas se organizan a través de la coadaptación y el ensamble comunitario de tal forma que el ecosistema en conjunto continúa funcionando de manera sustentable.

La hipótesis de Gaia expresa el concepto de homeostasis del ecosistema para el ecosistema global del planeta Tierra. Gaia es el nombre de la diosa griega que encarna la Madre Tierra. La hipótesis de Gaia sostiene que ‘la vida en la Tierra mantiene el clima y la

composición atmosférica en niveles óptimos para la vida'. Por ejemplo, el ciclo del carbono mantiene el oxígeno atmosférico y el bióxido de carbono en los niveles de concentración requeridos por las plantas y los animales en el ecosistema global. Esto se consigue mediante una variedad de procesos que incluyen la fotosíntesis, la respiración y el sistema amortiguador del ácido carbónico-bicarbonato-carbonato en el océano. La homeostasis del ecosistema global es consecuencia de la homeostasis del gran número de ecosistemas locales pero mutuamente interactivos del planeta.

Un planeta imaginario llamado Mundo Margarita ilustra la idea básica de la hipótesis de Gaia. Muestra cómo la vegetación puede contribuir a regular la temperatura de la Tierra ajustando los niveles de reflexión y absorción de la radiación solar ('albedo'). El Mundo Margarita tiene tres tipos de flores. Unas son blancas, las segundas tienen un color intermedio (gris) y las terceras son oscuras. Las flores oscuras absorben la mayor parte de la radiación solar que incide sobre ellas, convirtiéndola en calor, de modo que las flores oscuras son las que más calientan el Mundo Margarita. Las flores blancas reflejan la mayor parte de la radiación solar, de manera que son las que menos calientan el Mundo Margarita. Las flores oscuras sobreviven mejor a temperaturas más bajas, las blancas sobreviven mejor a temperaturas más altas, y las flores de color intermedio sobreviven mejor a temperaturas medias.

La temperatura del mundo Margarita es regulada por un circuito de retroalimentación negativa que cambia las cantidades de flores de colores claros y oscuros. Si la radiación solar aumenta, y empieza a ascender la temperatura, se vuelve demasiado cálido para que sobrevivan las flores oscuras y algunas de ellas son reemplazadas por flores claras (vea el cuadro superior de la Figura 5.1). En vista de que las flores más claras absorben menos radiación, la temperatura desciende. Si la intensidad de la radiación disminuye y la temperatura baja demasiado, hará demasiado frío para que sobrevivan las flores blancas, y algunas de ellas serán reemplazadas por flores más oscuras. En vista de que las flores oscuras absorben más radiación solar, la temperatura se eleva.

La línea continua en el cuadro inferior de la Figura 5.1 muestra la temperatura de Mundo Margarita bajo diferentes intensidades de radiación solar. A lo largo de un amplio rango de radiación (de 0.6 a 1.2), la temperatura de Mundo Margarita se mantiene alrededor de 22.5º Celsius, que es la temperatura óptima (es decir, la mejor) para las flores. La línea punteada del cuadro inferior muestra lo que pasaría en un mundo que no tuviese margaritas de colores diferentes, donde la temperatura tendría una relación lineal con la intensidad de la radiación solar (esto es, no habría regulación de la temperatura).

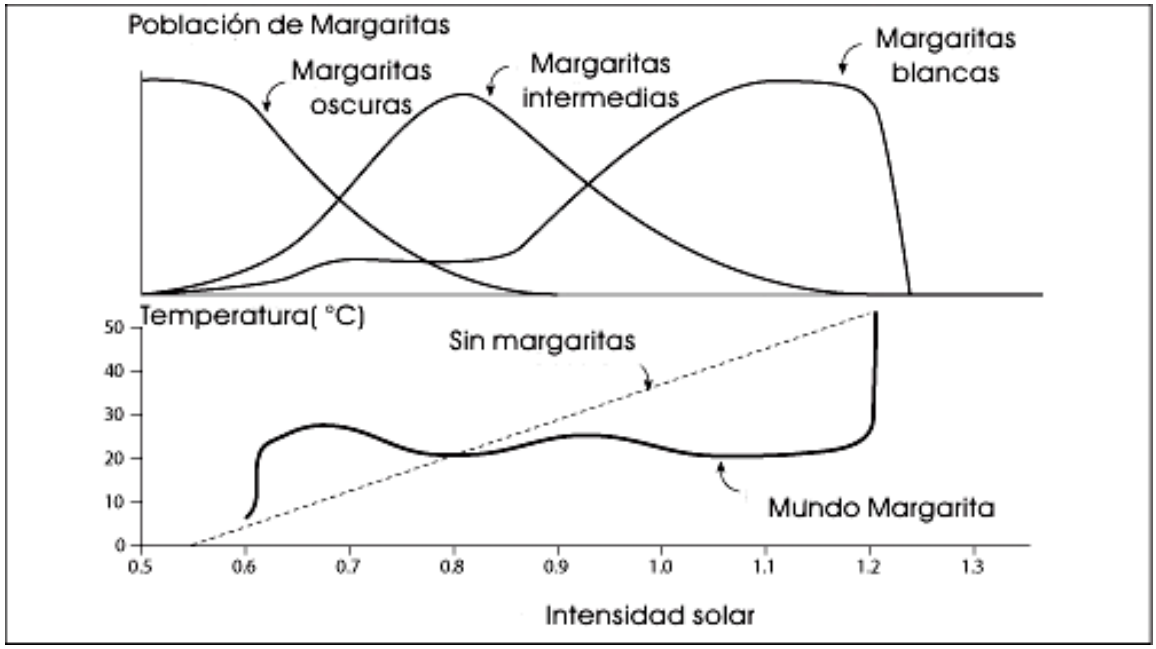


Figura 5.1 Cambio en las poblaciones de margaritas que mantienen la temperatura constante del Mundo Margarita dentro de un amplio rango de intensidad solar. Fuente: Adaptado de Lovelock, J (1979) Gaia: A New Look at Life on Earth.

COMPARACIÓN ENTRE ECOSISTEMAS NATURALES, AGRÍCOLAS Y URBANOS

Es útil distinguir entre tres tipos principales de ecosistemas. Los **ecosistemas naturales** se organizan a sí mismos. Sus productos para uso humano incluyen los **recursos naturales renovables** como la madera, los peces y el agua. Los **ecosistemas agrícolas** y **urbanos** están organizados parcialmente por el insumo humano de materia, energía e información. El resto de su organización proviene de los mismos procesos de auto-

organización que conforman los ecosistemas naturales. Los ecosistemas agrícolas proporcionan productos en forma de alimentos, fibras y otros recursos renovables. Los ecosistemas urbanos proporcionan vivienda humana y productos industriales. Los ecosistemas agrícolas y urbanos que difieren más de los naturales requieren mayores insumos humanos más intensos para su construcción y mantenimiento.

Las descripciones a continuación están generalizadas para cada tipo principal de ecosistema. Algunos ecosistemas, dependiendo de la escala espacial, son una combinación de dos o más de los tipos principales.

Ecosistemas naturales

Los procesos naturales son completamente responsables de estructurar los ecosistemas naturales, que contienen únicamente plantas y animales silvestres. Sus comunidades biológicas están totalmente conformadas por la coevolución, la coadaptación y el ensamble comunitario. Los ecosistemas naturales se auto-organizan, son autosuficientes, y se auto-mantienen. Sobreviven únicamente a partir de insumos naturales, como la luz solar y el agua. La mayoría de los insumos y egresos de los ecosistemas naturales consiste en intercambios con los ecosistemas adyacentes, cuando el viento, el agua, la gravedad o los animales, transportan materiales que también contienen energía e información (ver Figura 5.2). Los insumos y egresos son leves porque la mayoría de los ecosistemas naturales han desarrollado mecanismos para retener la materia. Por ejemplo, los ecosistemas naturales evitan la pérdida del suelo debida a la erosión ocasionada por la lluvia o el viento, cubriéndolo con hierba u hojas. Donde los suelos son naturalmente poco fértiles, los ecosistemas conservan dentro de sí los nutrientes minerales para las plantas, reteniéndolos dentro de los cuerpos de las mismas plantas, animales y microorganismos.

Ecosistemas agrícolas

Los **ecosistemas agrícolas** utilizan plantas o animales domesticados para producir alimentos, fibras o combustibles para el consumo humano. La isla de la historia del ensamble comunitario en el Capítulo 4 era un ecosistema agrícola porque tenía ovejas. Los ecosistemas agrícolas son una combinación de diseños antropogénicos y diseños naturales. Las personas proporcionan cultivos o ganado, y la naturaleza proporciona plantas y animales silvestres mediante los procesos usuales de ensamble comunitario. Muchas de las plantas y animales silvestres son esenciales para el funcionamiento agrícola de estos ecosistemas. Las lombrices y otros animales del suelo mantienen la fertilidad del suelo descomponiendo los materiales de los animales y vegetales muertos en piezas menores que los dejan expuestos a la descomposición bacteriana. Las bacterias consumen plantas y animales muertos, transfiriendo los minerales de sus cuerpos al suelo en formas que permiten que las plantas los utilicen como nutrimento. Otras plantas y animales compiten con las personas por el consumo de la producción de un ecosistema agrícola y son consideradas frecuentemente malezas o plagas que deben ser excluidas del ecosistema en la medida posible. Además de las plantas y animales vivientes, los ecosistemas agrícolas contienen elementos antropogénicos no-vivientes, como los canales de riego y equipos de labranza. Los ecosistemas agrícolas no son autosuficientes. Requieren insumos humanos que los diferencien de los ecosistemas naturales en las formas requeridas por los agricultores (ver Figura 5.3).

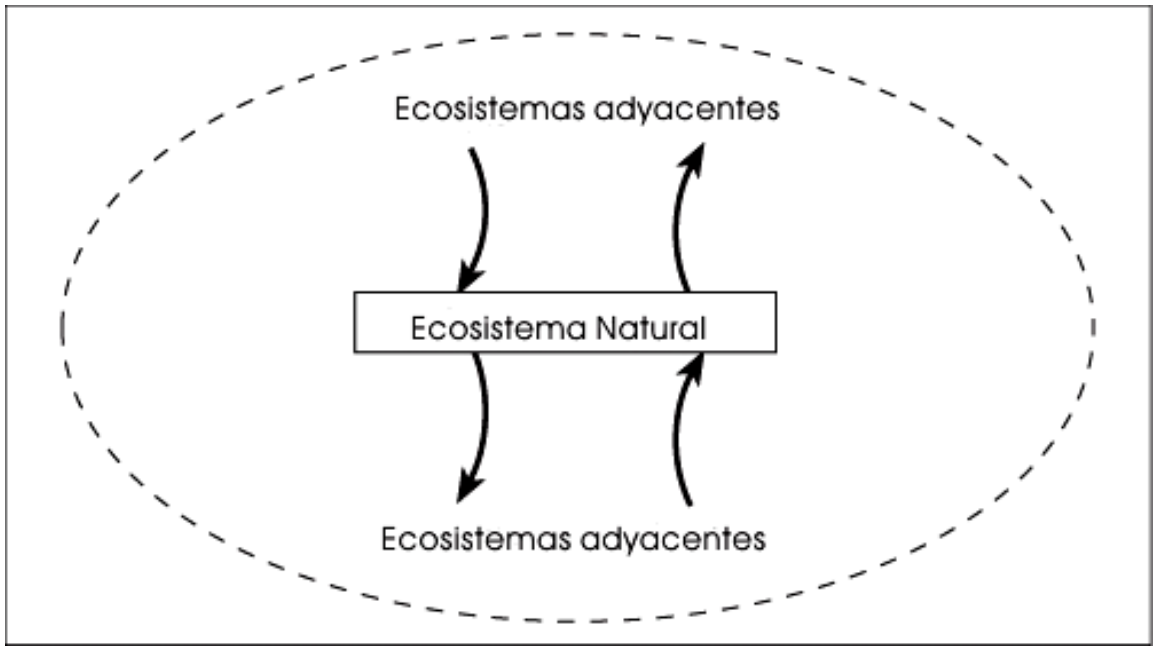


Figura 5.2 Intercambios de insumos y consumos de materiales, energía e información entre ecosistemas adyacentes.

Algunos ecosistemas agrícolas difieren mucho de los naturales; otros no. Los pastizales con animales de pastura como ovejas o reses generalmente requieren menos insumos humanos que los ecosistemas de cultivos porque los pastizales se parecen más a los ecosistemas naturales. Los ecosistemas agrícolas modernos son los que necesitan más insumos – maquinaria agrícola, fertilizantes químicos, plaguicidas y riego – porque son los que resultan más diferentes a los ecosistemas naturales. Los insumos intensivos incrementan la conversión de la energía solar a la energía de los alimentos para el hombre por dos vías importantes:

1. Proporcionan condiciones favorables para el crecimiento de los cultivos, como la abundancia de agua y nutrientes minerales.
2. Excluyen a las plantas y animales que compiten con la gente por la producción biológica del ecosistema.

Los insumos intensivos en los ecosistemas agrícolas modernos dependen en buena medida del petróleo. Se requieren grandes cantidades de energía petroquímica para

manufacturar plaguicidas y fertilizantes, transportarlos a las zonas agrícolas y aplicarlos a los sembradíos. El petróleo es la fuente de materia y energía para manufacturar los plásticos que cubren el suelo para evitar las pérdidas de humedad por evaporación. Es la fuente de energía para la manufactura y operación de la maquinaria agrícola, para bombear agua de riego, y para transportar las cosechas a mercados distantes. Ya que es típico utilizar diez calorías de energía fósil por cada caloría de alimento producido, los sistemas agrícolas modernos no convierten simplemente la energía solar en energía alimentaria. También convierten la energía fósil en energía alimentaria. De hecho, la gente está 'comiendo' petróleo.

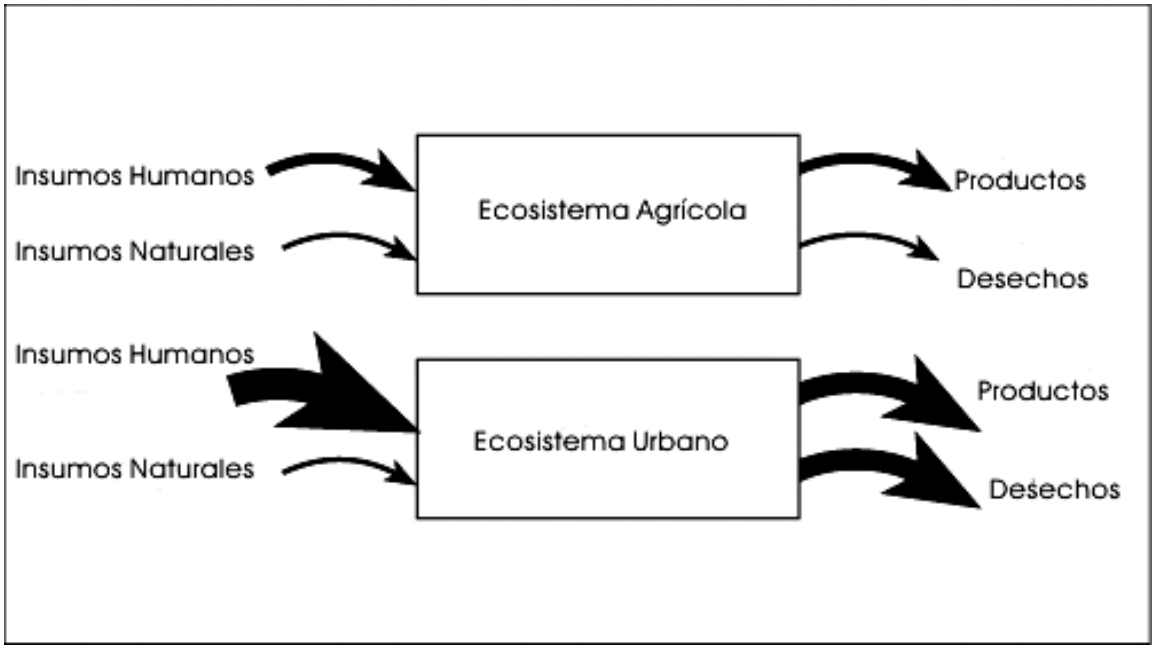


Figura 5.3 Insumos y egresos de materiales, energía e información para ecosistemas agrícolas y urbanos.

El agua es otro insumo intensivo, en el que el uso agrícola compite con el suministro para los ecosistemas naturales y urbanos. El riego moderno frecuentemente requiere grandes cantidades de agua, algunas veces proveniente de fuentes que se encuentran a cientos de kilómetros de distancia. Los conflictos alrededor del agua se convertirán en un rasgo creciente del escenario mundial.

El beneficio obtenido de los altos insumos es la obtención de grandes cantidades de productos – grandes volúmenes de producción de cosechas o animales. Sin embargo, los

productos intencionados no son los únicos productos de los ecosistemas agrícolas modernos. Otros productos son los desechos que pueden dañar los ecosistemas cercanos. Los fertilizantes y los plaguicidas transferidos fuera de los ecosistemas agrícolas, escurriendo desde los sembradíos, pueden contaminar los arroyos, ríos y mantos freáticos de la región circundante.

Los **ecosistemas agrícolas tradicionales** comprenden el tipo de tecnologías agrícolas que la gente desarrollaba antes de la aparición de la tecnología moderna. La agricultura tradicional se desarrolló durante muchos siglos mediante un proceso de ensamble cultural de ensayo y error. Muchas regiones del mundo en vías de desarrollo que aún no han sido modernizadas aún dependen de la agricultura tradicional. Muchos ecosistemas agrícolas tradicionales son semejantes a los ecosistemas naturales porque los agricultores tradicionales en vez de combatir a la naturaleza, han diseñado sus ecosistemas agrícolas para aprovechar los procesos naturales. Por ejemplo, es común que la agricultura tradicional presente una mezcla de muchos cultivos en el mismo terreno, lo mismo que en los ecosistemas naturales hay una mezcla de diferentes especies de plantas. Este estilo de agricultura se llama 'cultivo mixto', o **policultivo**. La agricultura tradicional requiere menos insumos que la moderna, de manera que resulta más autosuficiente. La agricultura tradicional también genera menos productos que la moderna – produce menos cosechas y menos contaminación. La **agricultura orgánica** moderna, que lucha por estar en armonía con la naturaleza mientras proporciona alimentos libres de compuestos químicos tóxicos, es similar a la agricultura tradicional.

Ecosistemas urbanos

Las ciudades son **ecosistemas urbanos**. Están organizadas casi enteramente por gente. Usualmente están dominadas por estructuras hechas por el hombre, como edificios y calles. Mucha de la flora y fauna de las ciudades es domesticada, como las plantas de los jardines y las mascotas, pero también hay plantas y animales silvestres, como las malezas, los pájaros y las ratas. Los ecosistemas urbanos no son autosuficientes. Requieren grandes

cantidades de insumos y generan cantidades substanciales de desechos (ver Figuras 5.3 y 5.4).

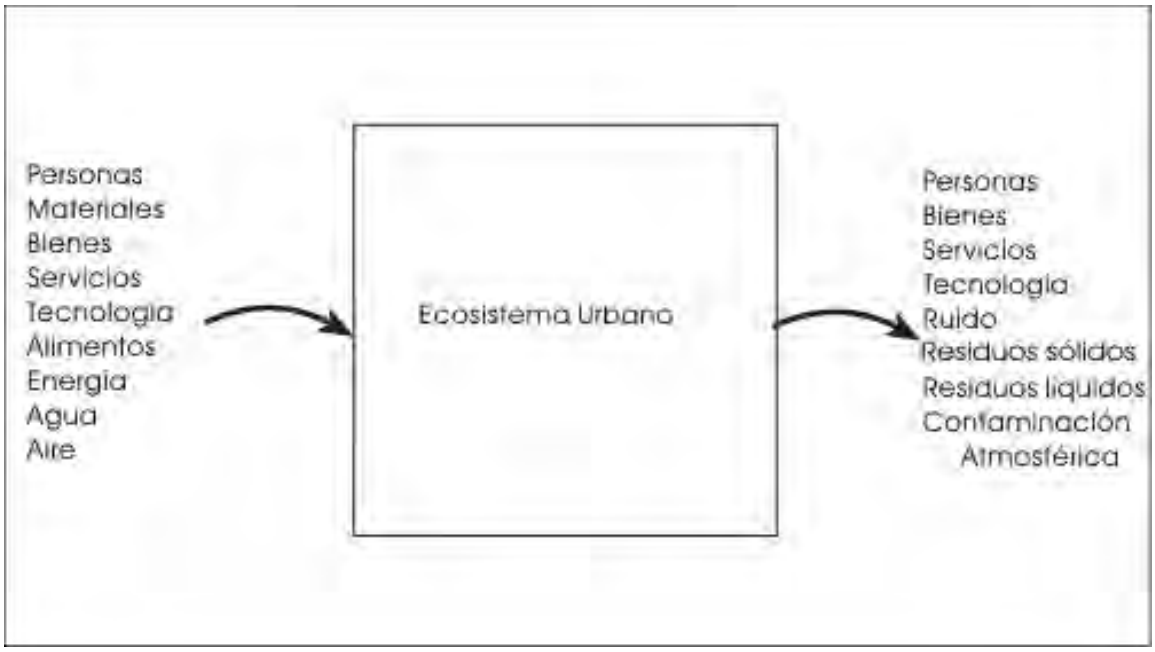


Figura 5.4 Insumos y egresos de materiales, energía e información en ecosistemas urbanos.

Las ciudades son la base de la civilización humana. Las primeras ciudades aparecieron hace unos 6,000 años. Aunque la mitad de la población humana actual vive en ciudades, en el pasado la mayoría de la gente vivía en ecosistemas urbanos más pequeños y más simples, como las aldeas. El crecimiento de las ciudades se aceleró considerablemente después de la Revolución Industrial, pero la dominancia de las ciudades que conocemos hoy en día es aún más reciente. A principios del Siglo XX, sólo 14 por ciento de la población humana vivía en ciudades. Actualmente, 75 por ciento de las personas que habitan las naciones industrializadas vive en ciudades. Aunque sólo 35 por ciento de la población del mundo en vías de desarrollo actualmente vive en ciudades, el número real de personas en las ciudades del mundo en vías de desarrollo es ya mayor que el número que se encuentra en las ciudades de las naciones industrializadas.

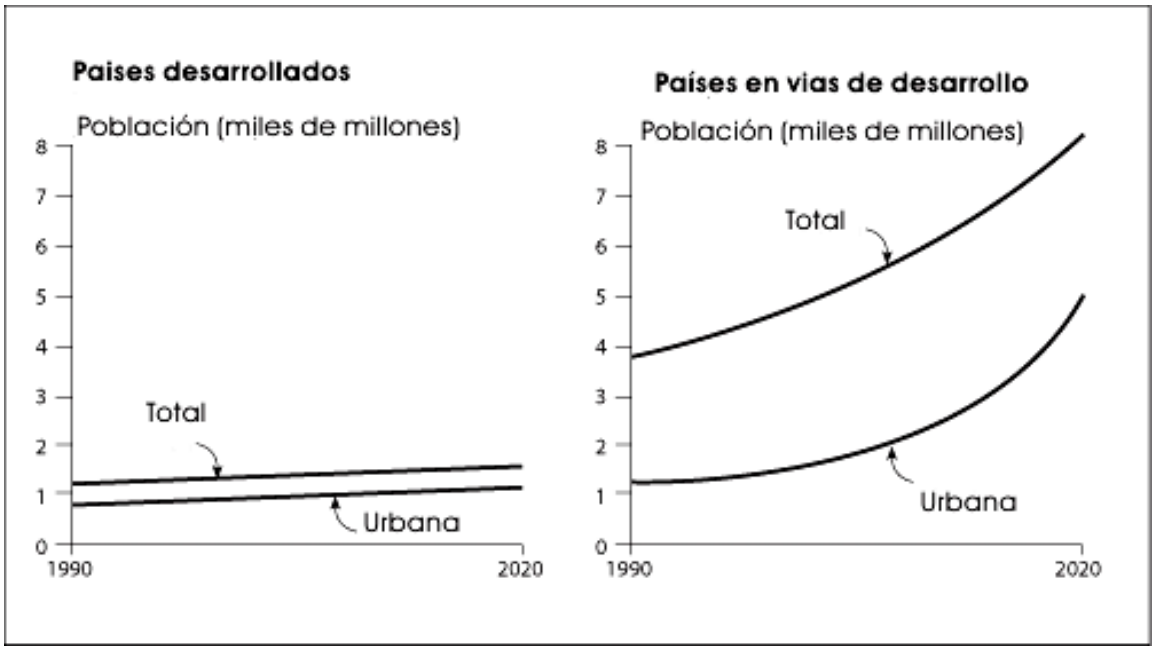


Figura 5.5 Proyección del crecimiento de la población humana en ciudades durante los próximos 20 años.

Hoy en día, la población urbana de las naciones industrializadas está creciendo muy lentamente, pero las ciudades del mundo en vías de desarrollo continúan creciendo muy rápidamente (ver Figura 5.5). En un lapso de 25 años, las ciudades del mundo en vías de desarrollo tendrán tres veces más gente que las de las naciones industrializadas. Muchas ciudades del mundo en vías de desarrollo están creciendo tan rápidamente que no pueden proporcionar a un porcentaje significativo de su población servicios básicos, como el agua, la recolección de residuos, la electricidad, la educación y los servicios básicos de salud.

MOSAICOS PAISAJÍSTICOS

Todo paisaje es un mosaico de diferentes sitios con distintas comunidades biológicas y por lo tanto, de distintos ecosistemas. Esto sucede porque:

1. Sitios diferentes tienen condiciones físicas distintas. Estas condiciones definidas pueden ser consecuencia en parte de la variación natural del paisaje, y en parte, consecuencia de las actividades humanas.
2. El proceso de ensamble comunitario produce comunidades biológicas distintas cuando las condiciones físicas son diferentes.
3. La gente construye ecosistemas agrícolas y urbanos donde las condiciones resultan adecuadas.

Este se conoce como un **mosaico paisajístico**. Es una propiedad emergente de los ecosistemas.

La Figura 5.6 muestra un típico mosaico de paisaje en la región Kansai del Japón occidental. El mismo tipo de ecosistemas se repite a lo largo del paisaje. Esto sucede porque se repiten las mismas condiciones físicas en diferentes partes del paisaje. Los sitios que presentan condiciones físicas similares pueden tener comunidades biológicas prácticamente iguales. Tienen por tanto ecosistemas semejantes. La gente construye ecosistemas agrícolas o urbanos similares en los lugares donde las condiciones son parecidas.

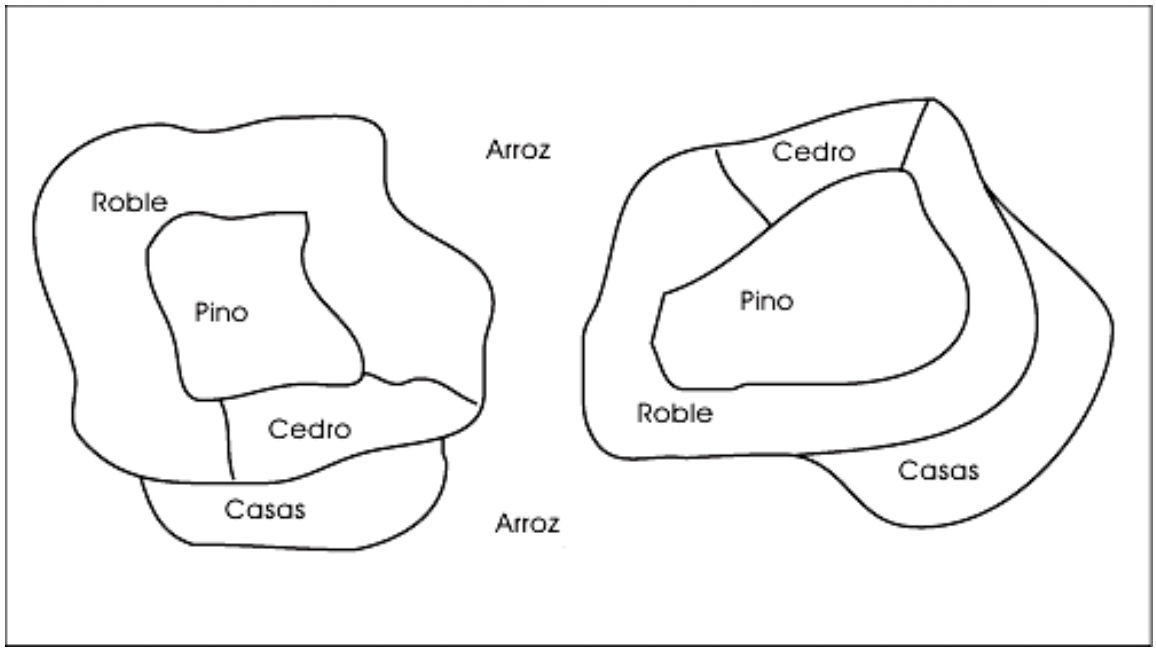


Figura 5.6 Plano de un típico mosaico paisajístico en el occidente de Japón.

Un tipo particular de ecosistema es un agrupamiento de ecosistemas parecidos que reciben el mismo nombre con base en las plantas más abundantes y conspicuas de la comunidad biológica. Los ecosistemas forestales comunes en el occidente de Japón son:

- Pino (*matsu*);
- Roble (*donguri*);
- Cedro japonés (*sugi*);
- Ciprés japonés (*hinoki*).

Los bosques de pino y roble ocurren naturalmente. Los bosques de pino son frecuentes en las porciones más altas de las colinas donde los suelos son someros debido a la **erosión edáfica.** Esto es porque el suelo es arrastrado por el agua pluvial de las cimas y las pendientes de las colinas hacia los valles inferiores (ver Figura 5.7). Los bosques de roble son frecuentes en las faldas de las colinas, donde los suelos son más profundos. Los bosques de cedros y cipreses pueden parecer superficialmente ecosistemas naturales, pero son ecosistemas agrícolas plantados para producir madera de alta calidad para la construcción. Las personas plantan cedros y cipreses en filas ordenadas cerca de la falda de los cerros, donde los suelos más profundos contienen una cantidad mayor de humedad y de nutrimentos vegetales para sostener un crecimiento rápido de árboles. Japón tiene otros ecosistemas agrícolas, principalmente arrozales y campos de hortalizas, que la gente coloca en las partes más bajas y planas de los valles o en terrazas al borde de los valles. Los ecosistemas urbanos tales como las casas de los poblados, usualmente se encuentran al pie de las colinas, justo encima de los arrozales.

Cada ecosistema proporciona hábitat para las especies de plantas y animales de su comunidad biológica. Un ecosistema de pinos tiene plantas que pueden vivir a la sombra de los pinos, microorganismos que pueden descomponer sus hojas, animales que se puede comer su corteza, hojas o raíces, y parásitos y patógenos adaptados a cada una de las

plantas y animales. Todas las plantas, animales y microorganismos de cada tipo de ecosistema forman un grupo discreto de especies coadaptadas entre sí.

Cada ecosistema es una 'isla' ecológica porque se encuentra rodeado por otros ecosistemas que no proporcionan hábitat para las mismas especies de plantas y animales. A veces, las plantas y animales se mudan de los sitios donde viven a otros lugares con hábitat adecuados. Esto se llama **dispersión** y es una fuente de especies de nuevo ingreso al ensamble comunitario. Las plantas no se pueden mover como los animales, pero sus semillas pueden ser transportadas a nuevos lugares por el viento y los animales. Este proceso de dispersión y ensamble comunitario, que ocurre en todas partes todo el tiempo, es responsable de las comunidades biológicas que vemos en un paisaje. Los materiales transportados por animales, por el viento, o por el flujo del agua, de un ecosistema a otro son productos de un ecosistema e insumos de otro. Esta no sólo es una transferencia de materia, sino también de la energía y la información contenidas en la materia misma. Una semilla de planta que flota por el aire de un ecosistema a otro contiene energía en sus cadenas de carbono e información genética en su ADN.

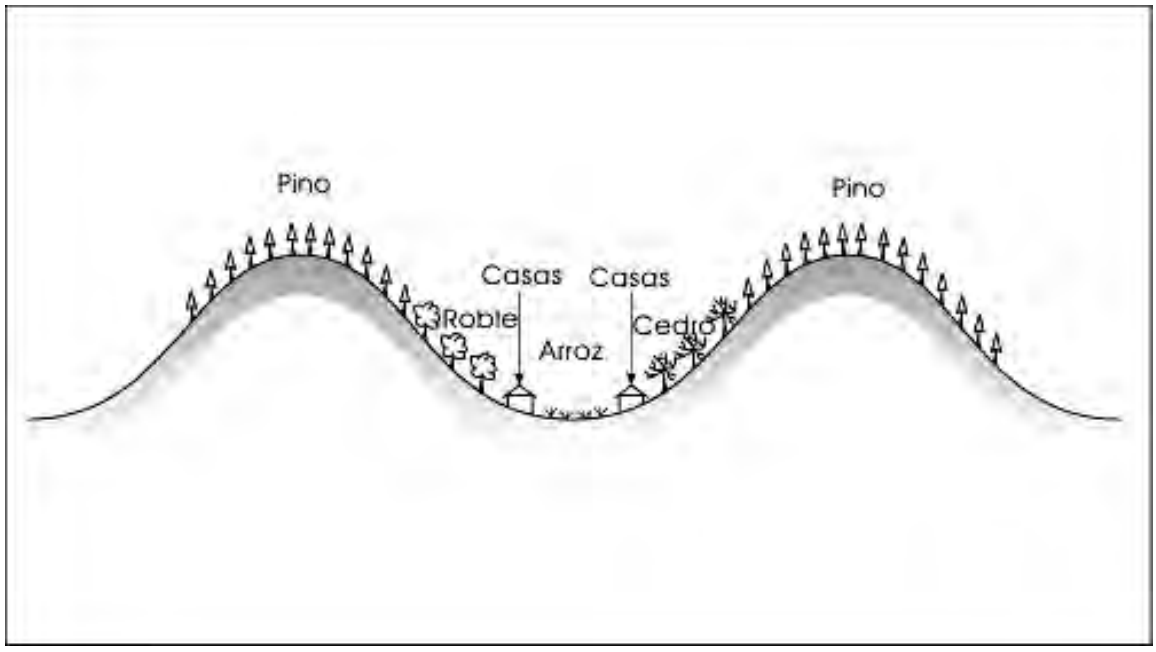


Figura 5.7 Perfil de un típico paisaje en el occidente de Japón.

Los mosaicos de paisaje tienen sus propios procesos de auto-organización, los cuales se ajustan a los tipos de ecosistemas en el paisaje y a las áreas que ocupan de tal manera que el paisaje en conjunto equilibra los insumos y productos. Por ejemplo, en un paisaje formado por pendientes cubiertas de bosques y arrozales en los valles inferiores, los arroyos son un producto de agua proveniente de los ecosistemas forestales y un insumo de agua para los ecosistemas de arrozal. Los agricultores pueden extender los arrozales pendiente arriba construyendo terrazas, pero el consumo de agua por los arrozales impone un límite a la superficie de terreno que pueden ocupar. Si hay demasiados arrozales, no quedarán suficientes bosques para proporcionarles agua a todos ellos. Este tipo de ajuste ocurre constantemente entre todo tipo de ecosistemas – naturales, agrícolas y urbanos. Los ecosistemas urbanos necesitan un área suficiente de ecosistemas agrícolas para obtener alimentos y otros recursos, y también requieren de ecosistemas naturales como fuente de agua.

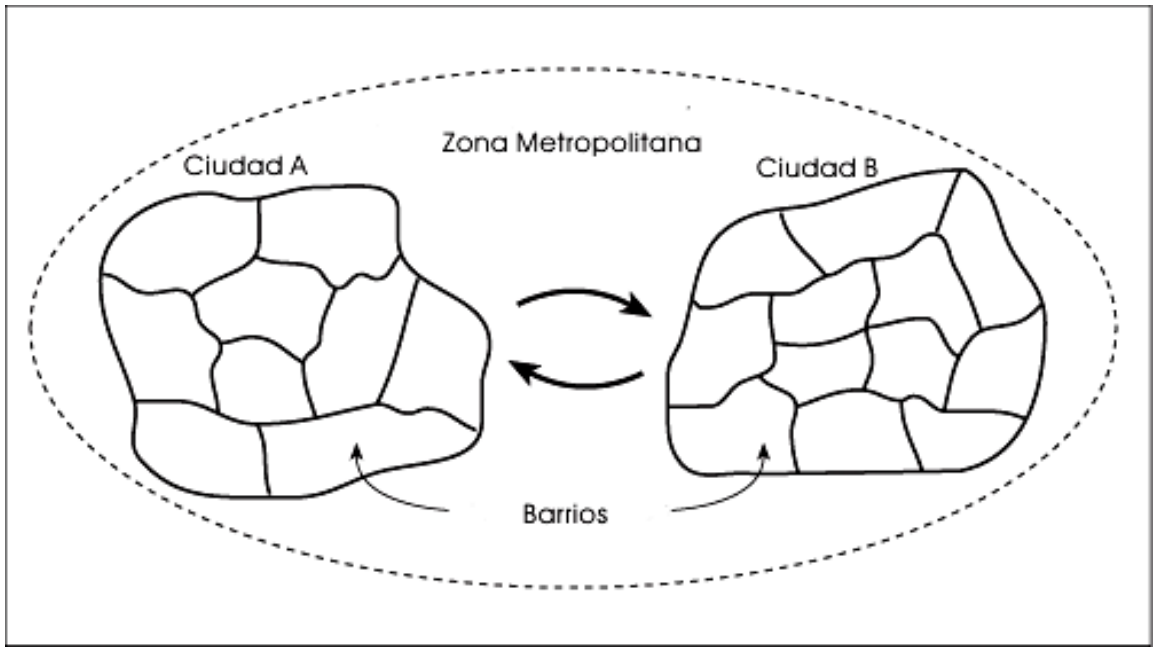


Figura 5.8 Jerarquía espacial de ecosistemas en una zona metropolitana.

El balance de los ecosistemas naturales, urbanos y agrícolas en el mosaico de paisajes es uno de las principales inquietudes ecológicas de nuestro tiempo. En cuanto a su capacidad para desplazarse unos a otros, parece haber una progresión de los ecosistemas

urbanos a los agrícolas y a los naturales. Los ecosistemas agrícolas se expandieron y sustituyeron a grandes áreas de ecosistemas naturales en las naciones industrializadas durante los siglos pasados. El mismo proceso tardó más tiempo en adquirir impulso en los países del mundo en vías de desarrollo, pero ahora avanza activamente. Actualmente, los ecosistemas urbanos se expanden y desplazan tanto a los agrícolas como a los naturales por todo el mundo, un proceso que no podrá continuar por mucho tiempo porque los ecosistemas urbanos dependen de los agrícolas y los naturales para abastecerse de recursos tales como alimentos y agua.

Jerarquías espaciales

Los ecosistemas son espacialmente **jerárquicos**. Todos los pequeños ecosistemas en una localidad se combinan para conformar un ecosistema más grande en esa localidad. Todos los ecosistemas mayores de las diversas localidades se combinan para formar otro aún mayor para toda la región. Expandiendo la escala, todos los ecosistemas de una zona climática mayor forman un **bioma**, y todos los biomas se combinan para constituir el ecosistema Tierra. Los ecosistemas más pequeños son más uniformes en su interior, mientras que los más grandes son más variables.

Los ecosistemas urbanos también forman un mosaico de paisajes que es jerárquico en cuanto a espacio (ver Figura 5.8). Cada ciudad se encuentra dividida en vecindarios, y cada uno de ellos contiene ecosistemas más pequeños, como zonas residenciales, centros comerciales, escuelas, parques, zonas industriales y áreas de almacenamiento de agua. Cada uno de estos pequeños ecosistemas urbanos tiene sus propias estructuras: edificios, calles, otras estructuras construidas por el hombre, y una comunidad biológica. Cada vecindario tiene su historia y su sistema social propios, que incluyen las características étnicas y socioeconómicas de las personas que viven y trabajan en él, sus organizaciones, estilo de vida, ocupaciones, y demás actividades.

Una ciudad puede encontrarse ligada a otras para formar una **zona metropolitana**. Los ecosistemas y los sistemas sociales de cada ciudad interactúan con los ecosistemas y

los sistemas sociales del área circundante, creando la **zona de influencia** de la ciudad, que sirve como fuente de trabajadores, combustibles, alimentos, agua y materiales de construcción para la ciudad. En el pasado, la zona de influencia de una ciudad era un área discreta que la rodeaba. A partir de la Revolución Industrial, con el colonialismo y el comercio internacional, la zona de influencia de una ciudad puede extenderse a muchas partes del mundo.

PUNTOS DE REFLEXION

1. ¿Cuáles son los diferentes tipos de ecosistemas naturales (a la manera de la Figura 5.6) en el mosaico de paisajes de la región donde vive? ¿Cuál es la posición típica de cada tipo de ecosistema en un perfil de paisajes como el que aparece en la Figura 5.7?
2. Hable con un agricultor para aprender acerca de los ecosistemas agrícolas de la región donde vive. ¿Cuáles son los principales tipos de agricultura? ¿Cuál es la posición típica de cada tipo de agricultura en un perfil de paisajes? ¿Cuáles son las partes naturales importantes de sus comunidades biológicas (es decir, organismos vivos que no son cultivos ni ganado)? ¿Cómo se diferencian entre sí las comunidades biológicas de distintos tipos de ecosistemas agrícolas? ¿Cuáles son los insumos de cada tipo de ecosistema agrícola, y cuál es la función de cada insumo? ¿Qué organización o estructura (esto es, insumos de información) imponen los agricultores a sus ecosistemas agrícolas? ¿De qué manera utilizan los agricultores insumos de energía para lograr la organización y la estructura?
3. ¿Cuáles son los intercambios significativos de insumo-egreso de materia, energía e información entre los ecosistemas naturales y agrícolas de la región donde vive?
4. Haga el mapa de un área de un kilómetro de radio alrededor de su casa, que muestre los diferentes tipos de ecosistemas urbanos, tales como zonas habitacionales, áreas comerciales, parque. Edificios de oficinas o áreas industriales. Si en ese radio hay también ecosistemas naturales o agrícolas, muéstrelos en el mapa.
5. Enumere los insumos y productos importantes de su ciudad o pueblo.

CAPITULO 6
Sucesión Ecológica

Los procesos naturales cambian continuamente a los ecosistemas. Los cambios pueden tardar años, o incluso siglos, avanzando tan lentamente que apenas resultan perceptibles. Tienen un patrón sistemático generado por el ensamble comunitario, que sigue una progresión ordenada conocida como **sucesión ecológica**, otra de las propiedades emergentes de los ecosistemas.

Los ecosistemas se cambian a sí mismos, y las personas cambian los ecosistemas. Las personas modifican los ecosistemas para satisfacer sus necesidades. Los cambios intencionales generados por las personas pueden poner en movimiento cadenas de efectos que conducen a nuevos cambios – es decir, a una **sucesión inducida por el hombre**. Algunas veces, estos cambios no son intencionados. Pueden resultar indeseables o irreversibles. En este capítulo se darán tres ejemplos de sucesión inducida por el hombre:

1. Sobrepastoreo y degradación de pastizales.
2. Sobrepesca y substitución de peces de importancia comercial por **peces chatarra**.
3. Incendios forestales severos cuando se protege a los bosques contra el fuego.

En virtud de que la sucesión ecológica puede tener consecuencias prácticas de mucha importancia, los seres humanos han respondido a ella desarrollando una gran variedad de formas para integrar su uso de los ecosistemas con los procesos naturales de sucesión. La sociedad moderna utiliza insumos intensivos para mantener los ecosistemas agrícolas y urbanos, en oposición a los procesos naturales de sucesión ecológica. Muchas sociedades tradicionales han recurrido a siglos de experimentación y experiencia para desarrollar estrategias que permitan aprovechar la sucesión ecológica de tal modo que les haga posible utilizar menos insumos. Este capítulo describirá ejemplos de manejo tradicional de bosques comunitarios y agricultura tradicional.

SUCESIÓN ECOLÓGICA

¿Los lugares con las mismas condiciones físicas siempre tienen exactamente los mismos ecosistemas? La respuesta es 'no'. En primer lugar, los elementos aleatorios del ensamble comunitario pueden conducir a ecosistemas diferentes. En segundo, los ecosistemas experimentan cambios lentos pero sistemáticos a medida que avanza el ensamble comunitario. Un sitio determinado tiene diferentes comunidades biológicas, y por tanto ecosistemas distintos, en tiempos distintos. La secuencia lenta pero ordenada de comunidades biológicas distintas en el mismo lugar es lo que se conoce como **sucesión ecológica**. Cada comunidad biológica constituye una etapa de la sucesión ecológica.

El cambio de una comunidad a otra se puede dar porque:

- Las pequeñas especies de plantas y animales generalmente crecen y se reproducen rápidamente. Las plantas y animales más grandes tardan más tiempo en crecer, y su crecimiento demográfico también es más lento. En consecuencia, las especies de plantas y animales que crecen más rápidamente son las primeras en poblar un sitio, y las más lentas las sustituyen posteriormente. Por ejemplo, si un incendio o tala destruye un bosque, unos cuantos meses después habrá muchas especies de pastos creciendo en ese lugar, porque los pastos crecen rápidamente. Más tarde, crecerán arbustos sobre los pastos, y después crecerán árboles por encima de los arbustos.
- Una comunidad biológica puede crear condiciones que conduzcan a su propia destrucción. Por ejemplo, a medida que los árboles envejecen, se debilitan y se hacen vulnerables a la destrucción ocasionada por insectos o enfermedades. Cuando esto sucede, una comunidad biológica 'envejece' y 'muere', y otra toma su lugar.
- Una comunidad biológica puede crear condiciones más adecuadas para otra comunidad biológica. Una comunidad biológica puede modificar las condiciones físicas o biológicas en un sitio, haciendo que resulte más favorable para el establecimiento de otra comunidad biológica, de manera que una comunidad biológica conduce a otra.
- Una comunidad biológica puede ser destruida por 'perturbaciones' naturales o generadas por el hombre, y sustituida por otra comunidad biológica. Los incendios,

las tormentas y las inundaciones son ejemplos de perturbaciones naturales. Las actividades humanas tales como la tala o el aclareo para el establecimiento de ecosistemas agrícolas o urbanos también pueden destruir una comunidad biológica. Las actividades como la pesca excesiva o el sobrepastoreo pueden cambiar una comunidad biológica a tal grado que resulte sustituida por otra.

Las primeras etapas de la sucesión ecológica se conocen como 'inmaduras'. Son más simples, con menos especies de plantas y animales. A medida que avanza el ensamble comunitario, la comunidad biológica se hace más compleja. Acumula más especies, muchas de ellas más especializadas en cuanto a su dieta y la forma en que interactúan con otras plantas y animales en la red alimenticia. La última etapa de la sucesión es la **comunidad clímax**. Las comunidades clímax no transitan por sí mismas a una nueva etapa. La sucesión ecológica es la progresión de comunidades biológicas inmaduras a la madurez y al estado clímax.

Un ejemplo de sucesión ecológica

La sucesión ecológica comienza de manera típica cuando la comunidad biológica existente es retirada mediante actividades humanas o debido a una perturbación natural como un incendio o una tormenta severa. Esto puede suceder en un área de gran tamaño, pero la sucesión también puede comenzar en el pequeño parche que queda abierto en el bosque cuando cae un árbol. En el oeste de Japón, las primeras etapas de la sucesión se caracterizan generalmente por la presencia de pastos cortos y pequeñas plantas con flores **anuales** (Figura 6.1A). Después de unos cuantos años, éstas pueden ser desplazadas por pastos más altos. Eventualmente crecen árboles jóvenes y arbustos entre el pasto, formando una capa lo suficientemente densa como para cubrir de sombra la mayor parte del pasto (Figura 6.1B). Al final, algunos de los árboles jóvenes crecen más altos que los arbustos y forman un bosque. Algunos de los arbustos desaparecen, mientras que otros sobreviven entre los árboles.

Si el suelo es profundo, el primer bosque es generalmente una mezcla de encinos deciduos con otros árboles y arbustos (Figura 6.1C). Los encinos y la mayoría de los demás árboles son eventualmente sustituidos por árboles de *shii* y *kashi*, que forman un bosque clímax (Figura 6.1E). (*Shii* y *kashi* son árboles latifoliados siempre verdes de la familia de las hayas). A medida que cambian las especies de plantas de una comunidad biológica, las especies de animales también cambian porque cada especie particular de animal utiliza especies particulares de plantas como alimento o refugio.

¿Por qué durante la sucesión ecológica aparece primero un bosque de encinos, y por qué eventualmente lo sustituyen los *shii* y *kashi*? Los *shii* y *kashi* crecen muy lentamente, pero viven durante cientos de años. Con el tiempo pueden crecer hasta alcanzar grandes alturas. Los encinos crecen rápidamente cuando tienen abundante luz solar, pero no crecen tan altos. Cuando crecen simultáneamente plántulas de *shii*, *kashi* y encino en un ecosistema inmaduro y abierto (Figura 6.1B), la abundancia de luz solar favorece a los encinos, que crecen más rápidamente que los *shii* y los *kashi.* El primer bosque en la sucesión ecológica es entonces el de encinos con arbustos y pequeños árboles de *shii* y *kashi* bajo su sombra (Figura 6.1C). Los *shii* y *kashi* pueden sobrevivir a la sombra de los árboles de encino, y poco a poco aumenta su altura. Después de alrededor de 50 años el bosque es una mezcla de encinos con *shii* y *kashi,* todos aproximadamente del mismo tamaño (Figura 6.1D). En ese momento, algunos de los árboles de encino son viejos y seniles, y pueden estar cubiertos por enredaderas que los 'ahogan'. Los encinos empiezan a decaer.

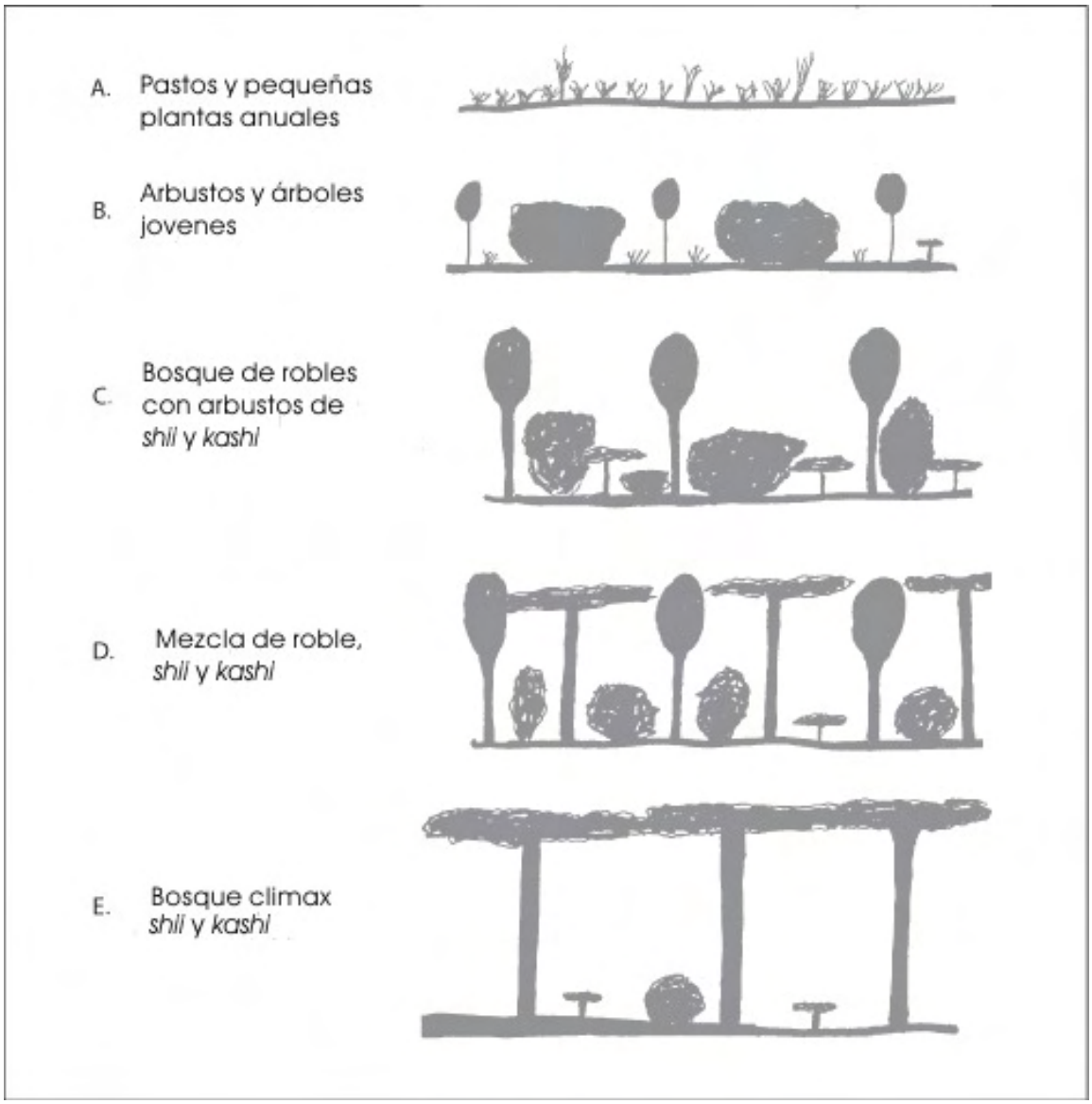


Figura 6.1 Típica sucesión ecológica en suelos profundos del occidente Japonés.

Eventualmente, los *shii* y los *kashi* crecen por encima de los encinos para formar un denso dosel que arroja sombra sobre todo lo que queda debajo. Los encinos no pueden sobrevivir a la sombra de los *shii* y los *kashi*, de modo que la comunidad biológica se transforma en un bosque clímax de altos *shii* y *kashi* con algunos *shii* y *kashi* jóvenes y dispersos y arbustos tolerantes a la sombra debajo (Figura 6.1E). Toda la progresión, desde el ecosistema de pastos a bosque maduro de *shii* y *kashi,* se lleva a cabo en un intervalo de 150 años o más. Debido a que los árboles de *shii* y *kashi* más jóvenes crecen para ocupar el espacio que queda cuando cae un árbol viejo, el bosque clímax permanece

aproximadamente en el mismo estado, a menos que sea destruido por la actividad humana, por un incendio, o alguna otra perturbación severa.

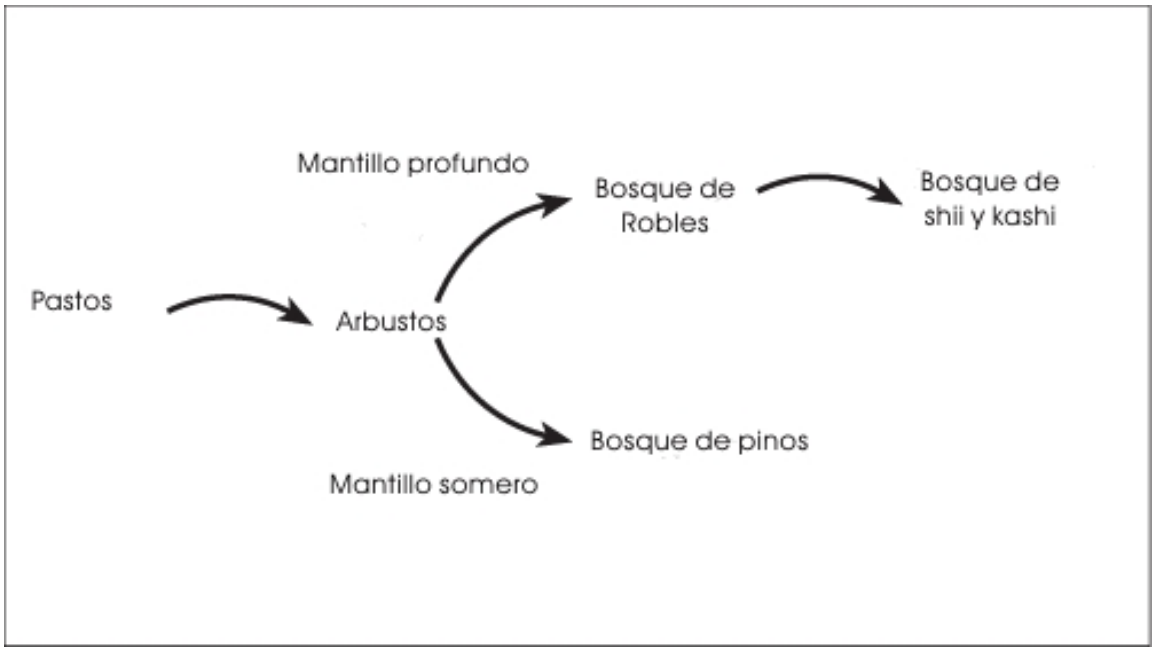


Figura 6.2 Sucesión ecológica en el occidente Japonés. Nota: Los sitios con suelos someros tienen una distinta sucesión de comunidades biológicas que los sitios con suelos más profundos.

La sucesión ecológica en los suelos someros del oeste de Japón es diferente de la sucesión en suelos profundos (Figura 6.2). Los encinos, *shii* y *kashi* requieren suelos profundos para crecer a gran estatura, pero los pinos crecen muy bien incluso en suelos someros, siempre y cuando tengan luz solar en abundancia. El ecosistema clímax en suelos someros es el bosque de pinos. Los pinos jóvenes también pueden prosperar en áreas abiertas y soleadas con suelos profundos, pero eventualmente otros árboles predominan en suelos profundos porque los pinos no pueden tolerar su sombra.

Es evidente entonces que un mosaico de paisaje contiene distintas comunidades biológicas en distintos lugares no solamente debido a la variación espacial de las condiciones físicas, sino también debido a la sucesión ecológica. Los sitios que tienen condiciones físicas similares tienen sucesiones ecológicas parecidas, pero los sitios con condiciones físicas similares pueden tener ecosistemas muy distintos entre sí porque se encuentran en momentos diferentes de la misma sucesión.

Debido a que las comunidades clímax permanecen aproximadamente en el mismo estado por muchos años, se podría esperar que en el oeste de Japón hubiese muchos bosques de *shii* y *kashi*. El paisaje regional estaba dominado por bosques clímax de *shii* y *kashi* en el pasado remoto, pero la gente taló la mayoría de los bosques de *shii* y *kashi* hace muchos siglos. Los *shii* y los *kashi,* incluso algunos árboles muy viejos y de gran tamaño, se encuentran dispersos por el paisaje actual, pero los bosques clímax de *shii* y *kashi* totalmente desarrollados son muy escasos. Permanecen algunos vestigios de los bosques clímax principalmente en arboledas sagradas alrededor de oratorios.

La sucesión ecológica como un ciclo de sistemas complejos

La sucesión ecológica es cíclica (ver Figura 6.3). Sigue las cuatro fases del ciclo de sistemas complejos que se describieron en el Capítulo 4: crecimiento, equilibrio, disolución y reorganización. Las comunidades biológicas inmaduras, tales como los pastizales y matorrales, son las etapas de *crecimiento* de la sucesión ecológica. Debido a que las comunidades inmaduras tienen relativamente pocas especies, las especies recién llegadas no enfrentan una competencia intensa por parte de las que ya se encontraban en la comunidad. La mayoría de las recién llegadas sobrevive al proceso de ensamble comunitario, y el número de especies de plantas y animales que hay en la comunidad crece rápidamente. Las especies más exitosas en los ecosistemas inmaduros son aquéllas que pueden crecer y reproducirse a gran velocidad cuando abundan recursos.

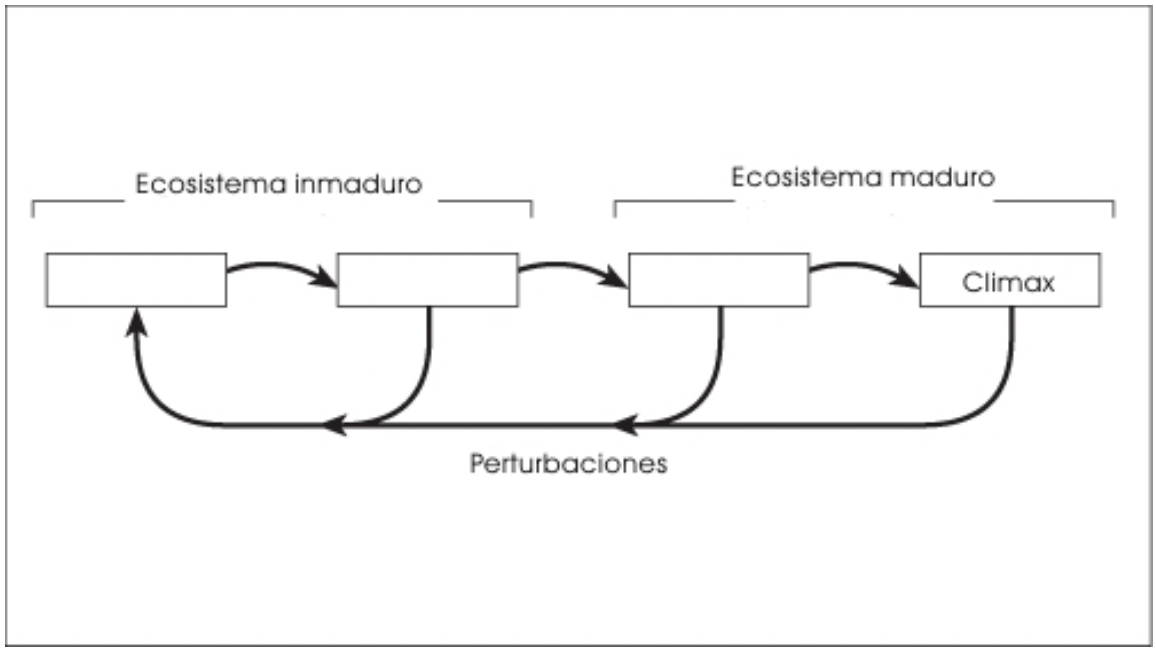


Figura 6.3 La sucesión ecológica como un ciclo de sistemas complejos.

Los ecosistemas maduran en la medida en que especies adicionales de plantas y animales se establecen a lo largo de los años, durante el proceso de ensamble comunitario. Cada vez se hace más difícil para las especies recién llegadas incorporarse al ecosistema maduro debido a que ya tiene un gran número de especies que ocupan todos los nichos ecológicos potenciales. Las especies recién llegadas sólo pueden sobrevivir en un ecosistema maduro si pueden superar en la competencia y desplazar a las especies que ya se encuentran ahí. Eventualmente, la comunidad biológica cambia muy poco. Esta es la **comunidad clímax** (*equilibrio*). Tiene el número más elevado de especies, y todas son competidoras eficientes, buenas para sobrevivir con recursos limitados. Un ecosistema clímax puede durar siglos, siempre y cuando no le resulten demasiado lesivas las perturbaciones externas tales como incendios o tormentas severas.

Sin embargo, tarde o temprano la comunidad clímax es destruida por algún tipo de perturbación. Esto es la *disolución*. La mayor parte de las especies de plantas y animales desaparece del sitio. Sigue entonces la fase de *reorganización*. Debido a que en este momento se encuentran vacíos muchos nichos, la competencia es muy ligera y la supervivencia resulta fácil para las especies recién llegadas si el sitio cuenta con las

condiciones físicas adecuadas y la comunidad biológica ofrece con una fuente de alimento apropiada. La etapa de reorganización es un tiempo durante el cual la comunidad puede adquirir un grupo de plantas y animales, u otro muy distinto, dependiendo de qué especies llegan de manera aleatoria al lugar durante este período crítico. Entonces ocurre la sucesión ecológica de comunidades inmaduras a maduras (*crecimiento*) hasta que se presenta otra perturbación o se alcanza de nuevo una comunidad clímax.

Las perturbaciones que ocasionan que las comunidades maduras sean sustituidas por etapas tempraneras son de escalas variables. Como resultado, los mosaicos de paisaje tienen parches de muchas dimensiones distintas. Por ejemplo, puede caerle un rayo a un árbol del bosque. El árbol muere y se cae, abriendo un pequeño hueco en el bosque, que resulta ocupado por una especie tempranera. En el otro extremo un tifón severo, o un incendio, o una tala a gran escala, puede arrasar cientos de kilómetros cuadrados de bosques.

Interacción de la retroalimentación positiva y negativa en la sucesión ecológica

Esta sección examina la tensión entre la retroalimentación positiva y negativa en la sucesión ecológica. La **retroalimentación negativa** tiende a mantener los ecosistemas en el mismo estado (**homeostasis** del ecosistema), pero éstos cambian de una etapa a otra en la medida en que interviene la **retroalimentación positiva**.

Veamos una vez más la sucesión de un ecosistema de pastizal a una comunidad de arbustos, empezando por un ecosistema donde el suelo está alfombrado por pastos (ver Figura 6.4A). Puede haber arbustos, pero son jóvenes y se encuentran dispersos. El ecosistema puede quedarse así durante 5 a 10 años, o aún durante más tiempo, porque las plántulas de los arbustos crecen muy lentamente. Crecen lentamente porque las raíces de los pastos están localizadas en las capas superficiales del suelo, mientras que la mayor parte de las raíces de los arbustos se encuentra más abajo. Los pastos interceptan la mayor parte del agua de lluvia, antes de que alcance las raíces de los arbustos. Debido a que los pastos limitan el suministro de agua para las plántulas de los arbustos, mantienen la integridad del

ecosistema como pastizal. En esta etapa interviene la **retroalimentación negativa** para mantener la comunidad biológica en el mismo estado.

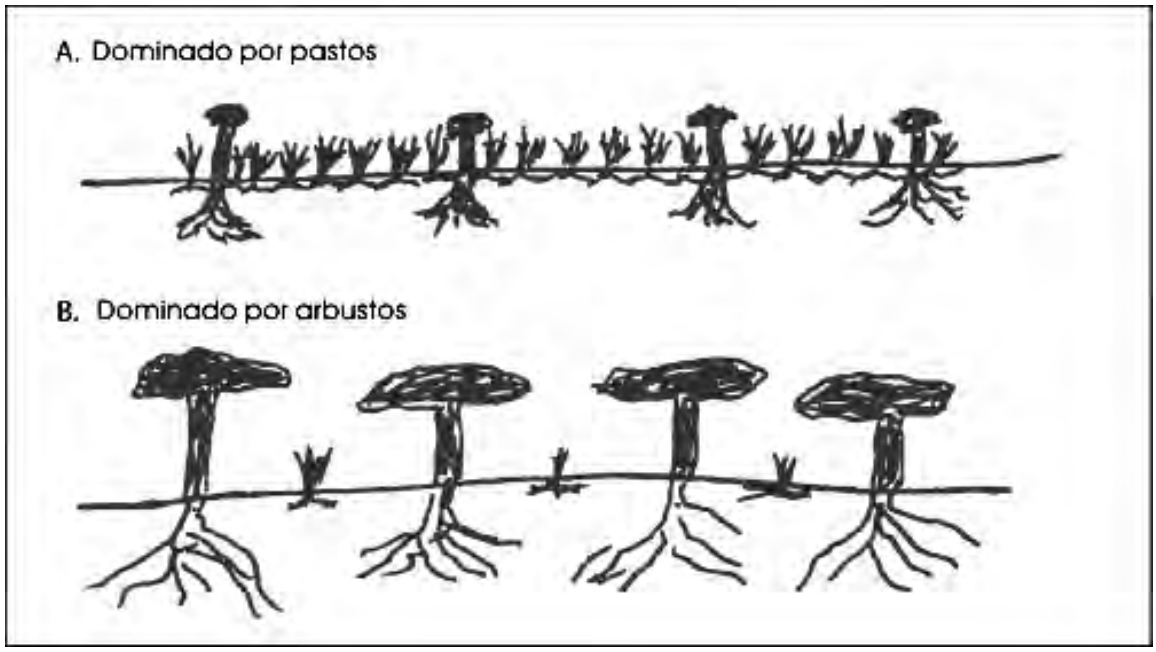


Figura 6.4 Competencia entre arbustos y pastos por la luz del sol y el agua.

Sin embargo, después de algunos años, algunos de los árboles y arbustos que han estado creciendo lentamente, alcanzan por fin alturas que les permiten proyectar sombras sobre los pastos que se encuentran bajo ellos (ver Figura 6.4B). Entonces los pastos cuentan con menos luz solar para llevar a cabo la fotosíntesis, y su crecimiento se ve restringido. Esto tiene como resultado que haya más agua disponible para los arbustos, que crecen más rápidamente y proyectan aún más sombra sobre los pastos. Este proceso de retroalimentación positiva permite que los arbustos predominen. Ahora dominan el acceso al agua y la luz solar, y los pastos decaen dramáticamente.

Este ejemplo muestra de qué manera la retroalimentación negativa puede mantener a un ecosistema en una etapa de la sucesión ecológica hasta que hay un cambio de magnitud suficiente en alguna parte del ecosistema como para disparar un circuito de retroalimentación positiva, que modifica el estado del ecosistema llevándolo a una nueva etapa en la sucesión. Este ejemplo es aplicable a mucho más pastos, arbustos y árboles. El mismo tipo de interacciones entre retroalimentaciones positivas y negativas es responsable

no sólo de la sucesión ecológica, sino también de buena parte del comportamiento de todos los sistemas complejos adaptativos. Los ecosistemas, los sistemas sociales y otros sistemas complejos adaptativos se mantienen más o menos en el mismo estado durante largos períodos debido a que predomina la retroalimentación negativa, hasta que un pequeño cambio dispara un poderoso circuito de retroalimentación positiva para cambiar rápidamente el sistema. Después, la retroalimentación negativa retoma el control para mantener al sistema en su nuevo estado.

Sucesión urbana

Los ecosistemas urbanos y sus sistemas sociales cambian de maneras similares a la sucesión ecológica. A medida que una ciudad crece, todos los barrios que se encuentran en ella experimentan cambios en su sistema social. Un barrio puede cambiar drásticamente a lo largo de un período de 25 a 100 años. Puede ser principalmente residencial durante un tiempo, y transformarse en comercial o industrial en otro. Los barrios experimentan crecimiento, vitalidad y progreso en ciertos períodos, y en otros se deterioran a medida que el punto focal del crecimiento y la vitalidad se desplaza a otros barrios. Lo mismo se puede decir acerca de ciudades enteras. Las ciudades crecen y decaen a medida que el punto focal del crecimiento y la vitalidad se desplaza de una ciudad a otra.

SUCESIÓN INDUCIDA POR EL HOMBRE

Las actividades humanas pueden tener un efecto poderoso sobre los ecosistemas y las formas en que éstos cambian. Esto se conoce como **sucesión inducida por el hombre**, y puede conducir a cambios frecuentemente inesperados y ocasionalmente muy dañinos a la utilidad que las personas obtienen de los ecosistemas. La contaminación de las lagunas que rodean las pequeñas islas del Pacífico Sur es un ejemplo impactante. Actualmente muchas comunidades del Pacífico Sur consumen alimentos enlatados y empacados de importación, y disponen de las latas vacías y otros residuos en basureros. El escurrimiento de agua pluvial por los basureros contamina las lagunas, reduciendo la cantidad de peces y otros alimentos de origen marino. Con menos alimentos provenientes del mar, las personas se

ven obligadas a comprar más y más alimentos enlatados baratos, la contaminación empeora y la laguna sostiene menos peces. Este circuito de retroalimentación positiva cambia el ecosistema de la laguna y también deteriora la dieta de la gente.

Degradación de pastizales por sobrepastoreo

Otro ejemplo de sucesión inducida por el hombre es el efecto que tiene el **sobrepastoreo** en los ecosistemas de pastizal. El sobrepastoreo ocurre cuando en un ecosistema de pastizal se encuentran más animales que pacen, como ovejas o reses, de los que puede sostener su capacidad de carga para esos animales.

Generalmente, los pastizales tienen una mezcla de diferentes especies de pastos que difieren en sus valores nutricionales. Como defensa contra su consumo por animales, muchas especies de pastos no son nutritivas. Incluso algunas especies de pastos son venenosas. Dado que los animales que pacen saben qué pastos se pueden comer y cuáles no, seleccionan las especies nutritivas y dejan el resto sin comérselas. En el mismo pastizal compiten entre sí distintas especies de pastos para obtener **nutrientes minerales** del suelo (principalmente nitrógeno, fósforo y potasio), agua y luz solar (ver Figura 6.5). Una mezcla de diferentes especies de pastos puede convivir en el mismo ecosistema, siempre y cuando ninguna de las especies tenga alguna ventaja sobre las demás. Sin embargo, si algunas de las especies se encuentran en desventaja, desaparecerán, y las demás especies resultarán dominantes.

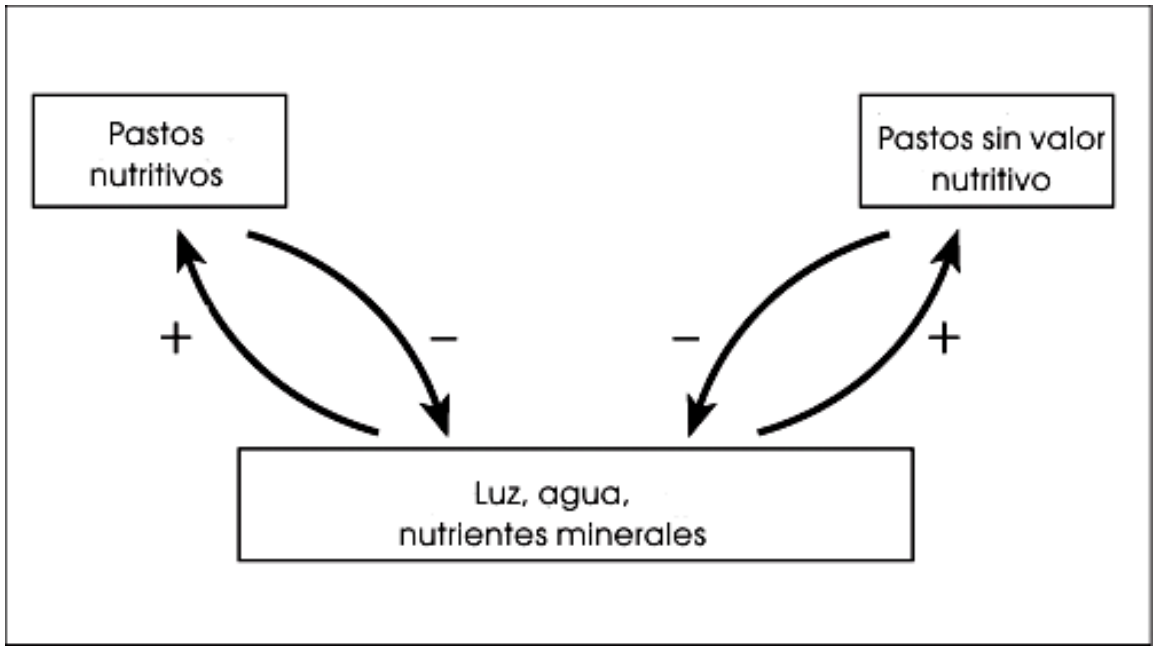


Figura 6.5 La competencia por luz, agua y minerales entre pastos nutritivos y no-nutritivos.

¿Qué sucede cuando demasiadas cabezas de ganado pastan por un período prolongado? Debido a que las reses seleccionan los pastos nutritivos, estas especies tienen una desventaja en su competencia con los pastos que no resultan nutritivos. Las poblaciones de pastos nutritivos disminuyen, dejando más recursos para que crezcan otras especies y se incremente su abundancia. Se pone en marcha un circuito de retroalimentación positiva para que los pastos que no son nutritivos sustituyan a los que sí lo son. Si se siguen las flechas a través del diagrama de la Figura 6.5 es posible observar que cada especie de pasto tiene un circuito de retroalimentación positiva que pasa primero por su 'comida' en el suelo y luego por las otras especies de pastos. Este proceso de sustitución se puede llevar años, pero una vez que termina, el pastizal ha pasado de ser un ecosistema con una mezcla de pastos, a un ecosistema dominado por pastos con un valor nutricional bajo. En consecuencia, la capacidad de carga para el ganado es mucho menor que antes.

Desertificación

En las regiones donde los ecosistemas maduros son bosques, los ecosistemas de pastos representan una etapa de sucesión temprana. Sin embargo, los pastizales son

ecosistemas clímax en las regiones de praderas, donde la precipitación no es suficiente para sostener un bosque. Los desiertos son ecosistemas clímax donde no hay la precipitación suficiente ni siquiera para sostener un pastizal. La **desertificación** es el cambio de pastizal a desierto en una región donde el clima es adecuado para los pastizales. Hay suficiente precipitación para pastizales, pero el sobrepastoreo puede transformarlos en desiertos.

En un ecosistema de pastizal saludable, todo el suelo se encuentra cubierto por pastos, que lo protegen de la erosión ocasionada por el viento o la lluvia. Si hay demasiadas cabezas de ganado, se reduce la cobertura de los pastos. Poco a poco, el viento y la lluvia se llevan el mantillo fértil del suelo que ya no se encuentra protegido por los pastos. Cuando se pierde el mantillo, el suelo pierde su fertilidad y disminuye su capacidad para retener agua. Entonces los pastos crecen más lentamente y son sustituidos por arbustos cuyas raíces pueden alcanzar el agua en zonas más profundas del suelo. En vista de que los arbustos no son nutritivos para el ganado, disminuye la capacidad de carga para el ganado. Entonces la gente puede utilizar cabras en lugar de reses, porque las cabras se pueden alimentar de arbustos que no sirven de alimento para las reses. Las cabras también se pueden comer los pastos, que arrancan de raíz. Si hay demasiadas cabras, destruyen los pastos que quedan, y más suelo pierde su cubierta protectora. Hay una mayor erosión, y eventualmente el suelo se encuentra tan degradado que ya ningún pasto puede crecer en él. El pastizal se ha transformado en un desierto con arbustos dispersos (ver Figura 6.6).

Estos cambios son lentos. Pueden pasar 50 años o más antes de que un pastizal se convierta en un desierto que produce muy poco alimento para la gente. Todo el ecosistema cambia. Los arbustos del desierto sustituyen a los pastos, y el resto de la comunidad biológica cambia porque depende de las plantas. También cambian las condiciones físicas, con frecuencia de manera irreversible. Debido a que el suelo degradado no puede retener suficiente agua para sostener el crecimiento de pastos, un desierto puede no volver a ser un pastizal, aún si se retiran todos los animales que pacen.

A nivel mundial, cada año se transforman en desiertos alrededor de 50,000 kilómetros cuadrados de pastizales. Las causas son complejas y variadas, pero el sobrepastoreo suele ser uno de los principales factores. ¿Por qué la gente coloca demasiados animales que pacen en los pastizales cuando las consecuencias resultan tan desastrosas? La razón principal es la sobrepoblación humana. La población humana en muchas áreas de pastizales ya excede la capacidad de carga del ecosistema local. Las personas utilizan demasiados animales que pacen debido a que los necesitan para alimentarse ahora, aunque esto signifique que habrá menos alimentos en el futuro. La desertificación ha contribuido a las hambrunas en lugares tales como el Sahel Africano. Este es un ejemplo del **exceso** demográfico que puede ocasionar que la población humana y su ecosistema se colapsen simultáneamente.

Sucesión de pesquerías

La pesca comercial puede tener efectos de muy largo alcance sobre las poblaciones de peces de mares y lagos. Si los pescadores se concentran en pescar unas pocas especies de valor comercial elevado, estas especies tendrán tasas de mortalidad más altas que otras especies de peces con las que compiten para obtener recursos alimentarios. Las poblaciones de peces comercialmente valiosos decrecen y son sustituidas por **peces chatarra** o otros animales acuáticos de poco o ningún valor comercial. Esto se conoce como la **sucesión de pesquerías**. Es básicamente el mismo proceso ecológico que la sustitución de pastos nutritivos por especies que no lo son, debida al sobrepastoreo. Durante los años 40 y 50 del Siglo XX, la población de sardinas frente a las costas de California decayó y fue reemplazada por anchoas. Mientras que se reconoce que los ciclos climáticos y biológicos de largo plazo pueden haber jugado algún papel en esta historia, parece ser que el cambio se debió principalmente a la sobrepesca. De manera parecida, las sardinas sustituyeron a las anchovetas frente a las costas de Perú y Chile cuando hubo una intensa captura durante los años 60 y 70 del Siglo XX, y han ocurrido historias similares con otras especies de peces en los mares y lagos de todo el mundo.

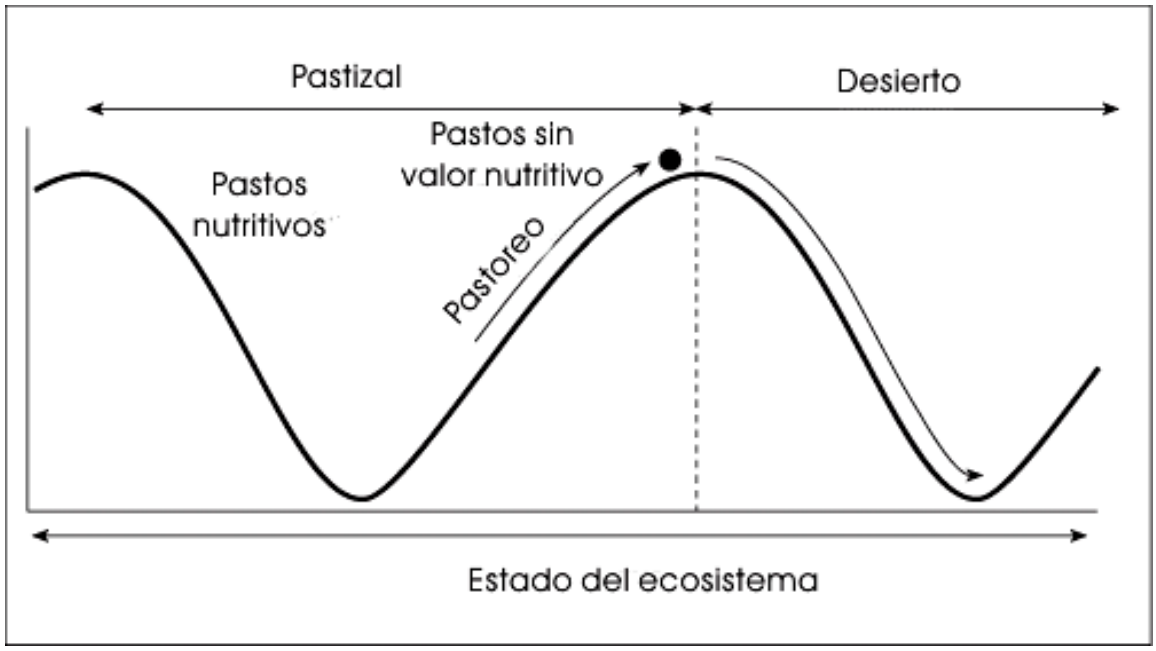


Figura 6.6 Sucesión antropogénica de pastizal a desierto debida al sobrepastoreo.

Cuando esto sucede, una disminución en el tamaño de la población de una especie particular de pez puede desencadenar una serie de efectos a través del ecosistema acuático que alterará la comunidad biológica de muchas otras formas. A veces también cambian las condiciones físicas. Puede ser que los peces que desaparecieron no puedan regresar, aún después de que haya cesado la sobrepesca. Cuando la gente daña una parte de un ecosistema, éste se adapta transformándose en otro tipo de ecosistema – uno que puede no servir a las necesidades de la gente tan bien como antes. Una gran cantidad de cambios a través del ecosistema lo han 'encausado' a formar una nueva comunidad biológica (ver Figura 6.7).

El principio de 'correcto/incorrecto' en la sucesión inducida por el hombre

La desertificación y la sucesión de pesquerías son ejemplos de una propiedad emergente de los ecosistemas que resulta más general. La sucesión inducida por el hombre puede hacer que los ecosistemas cambien de un dominio de estabilidad que sirve a las necesidades humanas ('correcto') a otro dominio de estabilidad que no lo hace ('incorrecto').

Los ecosistemas continúan siendo ‘correctos’ en tanto que la gente no los cambie demasiado. Si un ecosistema se altera severamente, las fuerzas naturales y sociales lo pueden transformar aún más, hasta alcanzar un dominio de estabilidad que puede seguir siendo “correcto”, pero que frecuentemente no lo es.

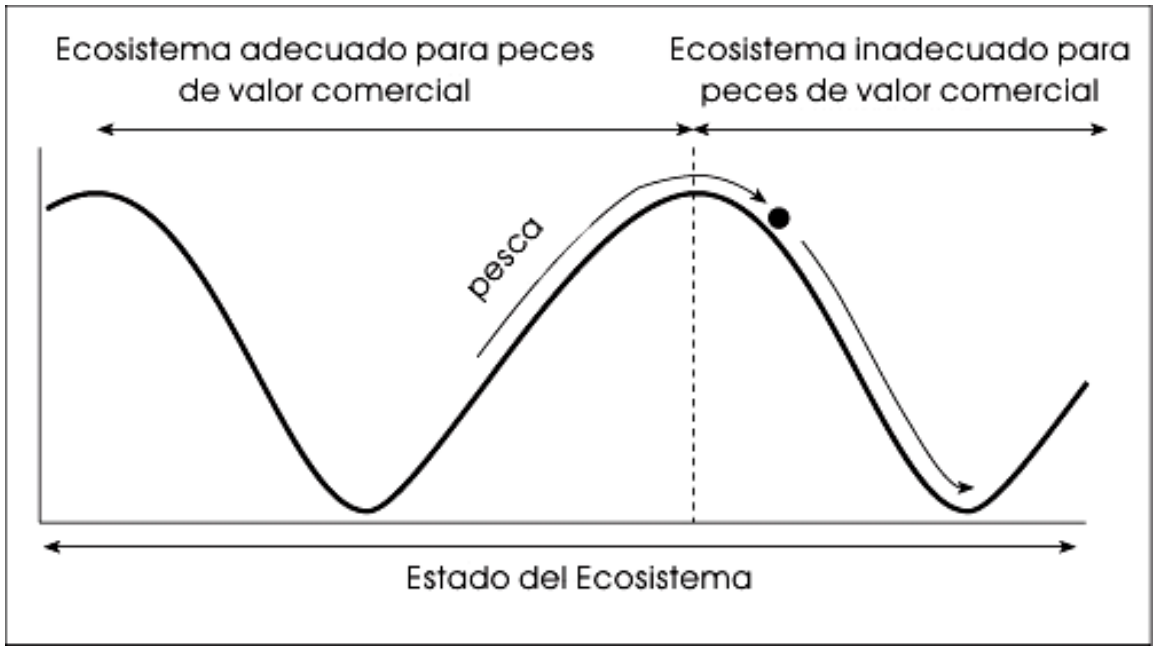


Figura 6.7 Desaparición de peces de valor comercial debido a la sobrepesca.

Los ecosistemas son impresionantemente resilientes en cuanto a su capacidad para continuar funcionando y proporcionando servicios dentro de cierto rango de usos, e incluso de abuso moderado. Los niveles moderados de pesca, pastoreo, tala, u otros tipos de uso pueden alterar el estado de un ecosistema natural, pero éste permanece dentro del mismo domino de estabilidad y continúa proporcionando peces, forraje, o madera (ver Figura 6.8). Lo mismo es cierto para los ecosistemas agrícolas y urbanos que incluyen dentro de sí a una comunidad biológica natural, tal como los animales y microorganismos que mantienen la fertilidad del suelo en una granja, o los árboles que retiran la contaminación del aire de una ciudad. Pero si un ecosistema cambia demasiado, puede desatarse una cadena de efectos a través de los ecosistemas y los sistemas sociales que alteren el ecosistema aún más. Pueden desaparecer los peces, el forraje, la fauna del suelo o los árboles urbanos. El **estado del**

ecosistema pasa de un dominio de estabilidad a otro, y el nuevo ecosistema puede no resultar tan satisfactorio para las necesidades humanas como el anterior.

GESTIONANDO LA SUCESIÓN

Manejo tradicional de bosques en Japón

La sucesión inducida por el hombre no siempre es dañina. Las personas que saben cómo interactuar con los ecosistemas de manera sustentable pueden provocar que los ecosistemas cambien – o dejen de cambiar – de maneras que mejor satisfagan sus necesidades. Pueden utilizar los procesos naturales para cambiar los ecosistemas hacia la etapa de la sucesión que desean. La gente también puede estructurar sus actividades en el ecosistema de tal manera que la comunidad biológica permanezca en la etapa de la sucesión deseada en lugar de desarrollarse hacia una etapa indeseada.

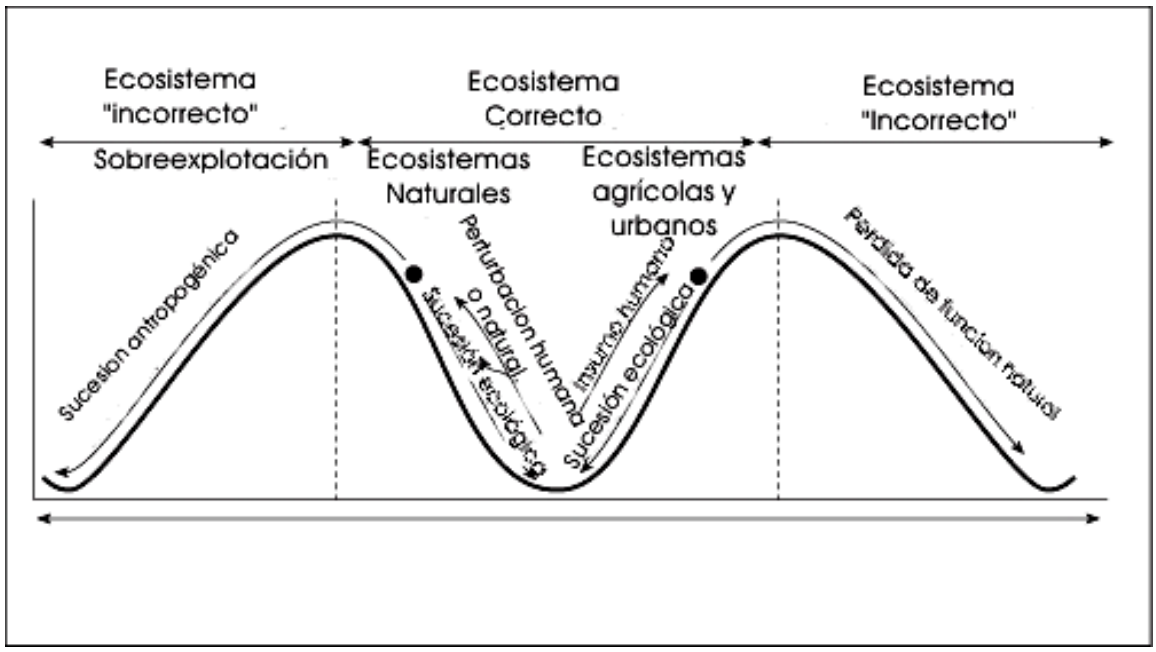


Figura 6.8 El principio "correcto/incorrecto" de sucesión antropogénica.

El sistema tradicional japonés ***satoyama*** (literalmente 'pueblo/montaña') es un ejemplo de manejo sustentable del paisaje que ha proporcionado los materiales esenciales para la vida comunitaria durante muchos siglos. Los residentes locales mantenían bosques

jóvenes de encinos y parches de un pasto alto y **perenne** (*susuki*) como una parte importante de su paisaje porque les proporcionaban productos valiosos. Las fuertes y largas cañas del pasto *susuki* se utilizaban para techar las casas y como composta para los campos agrícolas. Los residentes evitaban que sus áreas de pasto *susuki* se transformaran en bosques prendiéndoles fuego después de cortar las cañas para utilizarlas. El fuego mataba los árboles y arbustos jóvenes, pero las raíces subterráneas del pasto sobrevivían para retoñar después de la quema.

Los bosques comunitarios eran la fuente principal de materiales de construcción, carbón para cocinar los alimentos y calentar los hogares, y hojarasca para preparar composta para los campos agrícolas. Los bosques de encino resultaban mucho más útiles que los bosques más maduros de *shii* y *kashi*, porque los encinos crecían más rápido. Los residentes empleaban un procedimiento muy sencillo para asegurarse de que contaran suficiente encinal para satisfacer todas sus necesidades. Cada año cortaban todos los encinos de un área pequeña, haciéndolo de tal modo que pudieran retoñar nuevos encinos de los tocones de los árboles talados. Debido a que los nuevos encinos podían hacer uso de los grandes sistemas de raíces de los árboles talados, podían crecer tan rápidamente que en un intervalo de 20 a 25 años ya se encontraban de nuevo listos para ser cortados. Una vez que se cortaban los árboles de 20 a 25 años de edad, se repetía el mismo procedimiento, y retoñaban nuevos árboles de los tocones; habría más encinos listos para ser cortados en otros 20 o 25 años. Ya que se cortaban diferentes partes del bosque durante períodos distintos, el paisaje presentaba un mosaico de bosques de encino de diferentes edades que proporcionaba una diversidad de productos forestales y un hábitat diverso para muchas especies de plantas, insectos, aves y otros animales.

Cada año, los residentes cortaban los árboles jóvenes de *shii* y *kashi* para que no pudieran crecer por encima de los encinos. De esta manera conservaban durante siglos el bosque de encino como la parte principal de su mosaico de paisaje. Era esencial cortar los encinos cada 20 o 25 años. Si se esperaban demasiado y no eliminaban los árboles de *shii* y *kashi,* los encinos serían eventualmente sustituidos por estas especies. Si los cortaban demasiado pronto, los encinos no podrían crecer lo suficiente como para producir las

semillas necesarias para generar nuevos árboles. Sin árboles nuevos, el bosque de encino desaparecería eventualmente, y sería substituido por otras especies de árboles o por una etapa tempranera de la sucesión, con pastos y arbustos.

Hoy la situación es muy distinta. Durante los últimos 40 años, Japón ha importado petróleo y gas en lugar de utilizar carbón. Además, ha importado grandes cantidades de madera de otros países para la construcción, mientras tiende a utilizar menos madera de sus propios bosques. La mayoría de los agricultores aplica grandes cantidades de fertilizantes en sus campos, en lugar de usar la composta provenientedel bosque. Los bosques de encino ya no son talados de manera regular, los árboles se están haciendo seniles, y algunos empiezan a morir. Eventualmente, los bosques de encino podrán ser sustituidos por bosques de *shii* y *kashi.*

Protección contra incendios forestales

Los incendios – principalmente iniciados por relámpagos – son parte natural de muchos ecosistemas de bosque. Las semillas de algunas plantas únicamente pueden germinar cuando son estimuladas por el fuego. Las hojas muertas de los árboles se acumulan sobre el suelo para formar la **hojarasca**, que proporciona combustible para los incendios, usualmente iniciados por rayos. Cuando hay poca hojarasca no hay mucho combustible, los incendios arden lentamente y no generan demasiado calor. La mayor parte de la hojarasca se quema y algunas de las hojas de los árboles también se pueden quemar; sin embargo, pocos árboles mueren. Si el fuego mata algunos árboles (generalmente viejos), los huecos en el dosel son rápidamente llenados por el crecimiento de árboles jóvenes.

Los incendios cumplen una importante función en los bosques. Las hojas caídas contienen minerales, tales como fósforo y potasio, que las cenizas que quedan después de un incendio devuelven al suelo como **nutrientes minerales** para los árboles y las demás plantas del bosque. Pero si hay demasiada hojarasca sobre el suelo de un bosque, un incendio puede arder a temperaturas excesivamente elevadas porque las grandes cantidades

de hojarasca le aportan combustible en abundancia. Un incendio donde hay mucha hojarasca se puede extender sobre una superficie muy grande y arder con tal intensidad que destruye todos los árboles, así como las semillas de árboles que se encuentran enterradas en el suelo. Cuando esto sucede, el bosque es destruido y surge de las cenizas un ecosistema de pastizal. Pueden pasar muchos años antes de que exista de nuevo un bosque, especialmente si ya no existen bosques cercanos que proporcionen una fuente de semillas.

Los incendios frecuentes son un mecanismo de retroalimentación negativa que evita la acumulación excesiva de hojarasca en los ecosistemas forestales (ver Figura 6.9A). En virtud de que los incendios frecuentes casi nunca generan daños dignos de consideración, resultan ser el mecanismo que tiene la naturaleza para proteger a los bosques de los incendios severos que podrían dañarles. Esto es la 'homeostasis del ecosistema'. Un paisaje forestal con incendios frecuentes es un mosaico de bosques maduros y ecosistemas con pastos y arbustos, y bosques menos maduros en las áreas donde ha habido incendios recientemente (ver Figura 6.10). El tipo de ecosistema que se encuentra en cada parche depende del número de años que hayan transcurrido desde que ocurrió el último incendio, y de la severidad de éste. Generalmente, la gente considera que un paisaje diverso, salpicado de diferentes tipos de bosque y áreas abiertas, resulta más placentero que un bosque cerrado.

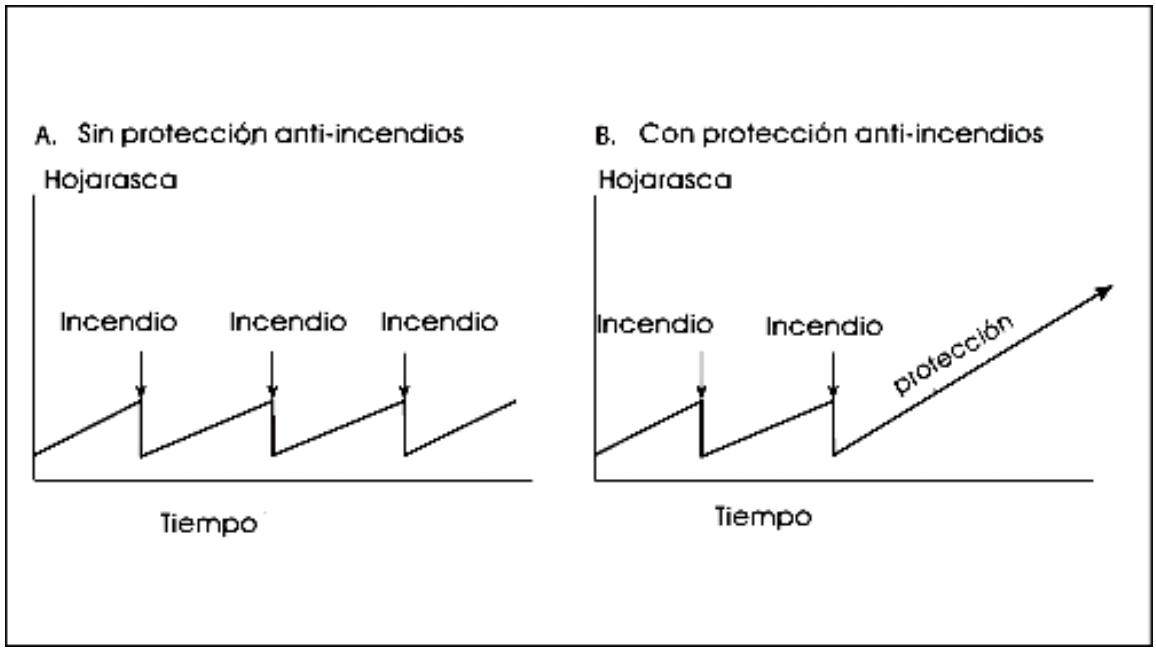


Figura 6.9 (A) Regulación natural de hojarasca por incendios (sin protección anti-incendios) y (B) la acumulación de hojarasca con protección anti-incendios.

Alrededor de 1900, la Oficina Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica (United States Forest Service) emprendió la política de proteger a los bosques de los incendios porque los técnicos forestales no entendían la importancia de los incendios forestales frecuentes. No querían que ningún árbol resultara dañado por el fuego. Se dedicaron a apagar todos los incendios forestales lo más pronto posible durante 80 años. Cada vez se acumulaba más hojarasca sobre el suelo debido a la cantidad de tiempo que transcurría sin que hubiese pequeños incendios frecuentes que se deshicieran de la hojarasca (ver Figura 6.9B). En 1980 se había acumulado tanta hojarasca en los bosques, que éstos resultaban cada vez más susceptibles al fuego. Los nuevos incendios resultaron muy difíciles de controlar, especialmente en las grandes zonas áridas del oeste de los Estados Unidos de Norteamérica.

A medida que la agencia forestal trataba de proteger a los bosques de los incendios, el problema se hacía mayor porque resultaba más difícil extinguir cada incendio, que podía destruir grandes superficies de hábitat natural. La protección de los bosques se fue haciendo cada vez más cara porque se hizo necesario echar mano de un gran número de combatientes de incendios, vehículos terrestres, y aviones cisterna para arrojar agua. A pesar de estos esfuerzos, algunas veces un solo incendio era capaz de destruir miles de kilómetros cuadrados de bosques.

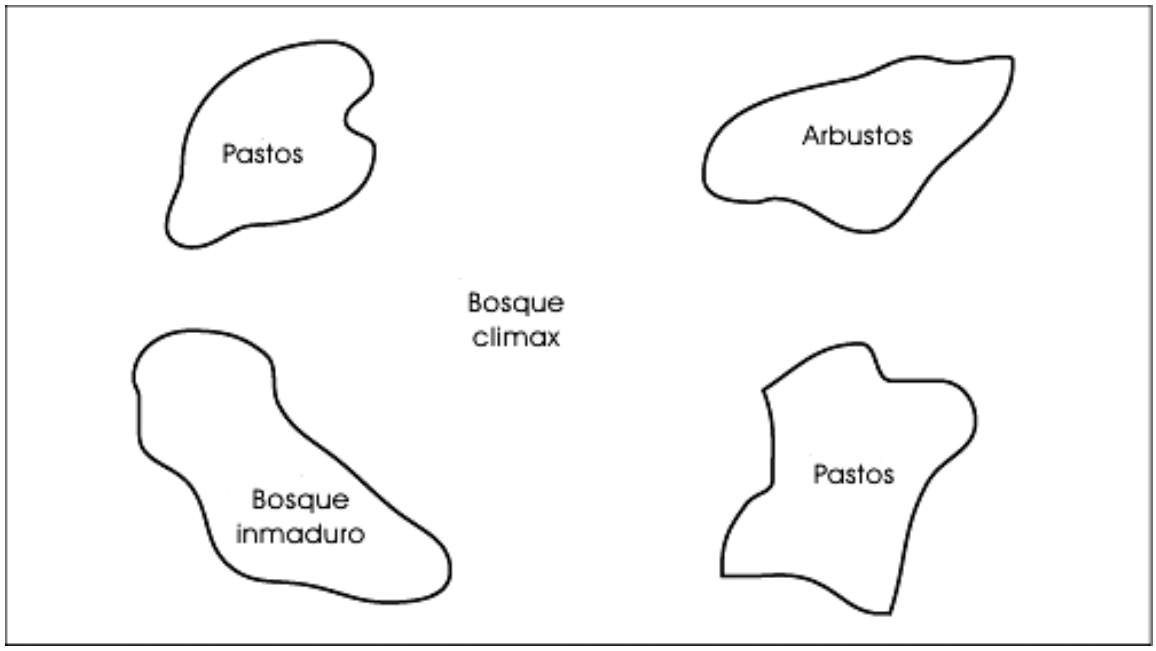


Figura 6.10 Mosaico paisajístico en la ausencia de protección anti-incendios.

Este ejemplo muestra cómo la interferencia humana con una parte natural de la 'homeostasis del ecosistema' hizo que los incendios se convirtieran en una perturbación capaz de destruir ecosistemas maduros, transformándolos en otros correspondientes a las etapas tempraneras de la sucesión (pastizales). La solución al problema es la **quema controlada** para deshacerse de la hojarasca y la **tala selectiva** para reducir el número de árboles que proporcionan combustible para los incendios. Esto es lo que la agencia forestal hace actualmente. Incluso una gran cantidad de hojarasca no arde a temperaturas elevadas si se encuentra húmeda, de manera que hay momentos (por ejemplo, después de que llueve) en los que los técnicos forestales pueden iniciar un incendio y quemar la hojarasca acumulada sin destruir los árboles. En vez de luchar contra la naturaleza, estas novedosas prácticas de manejo forestal trabajan en armonía con los circuitos de retroalimentación natural en los ecosistemas. Sin embargo, no ha resultado fácil corregir esta situación. Muchos bosques todavía tienen cantidades excesivas de combustible en los árboles en putrefacción, restos de vegetales, o arbustos, y el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica aún gasta muchos millones de dólares para combatir los incendios forestales destructivos. Además, a veces se pierde el control de las quemas controladas, resultando en

la destrucción severa e incontrolada de los bosques, la pérdida de millones de dólares por daños a la propiedad, y una considerable polémica política.

El ejemplo de los incendios forestales muestra cómo puede ser contraintuitiva la respuesta de los ecosistemas a las actividades humanas – resulta contraria a lo que esperamos. Nuestras acciones pueden tener no solamente los efectos directos que pretendemos que tengan, sino que también pueden ocasionar una cadena de efectos a través de otras partes del ecosistema que responden de maneras inesperadas.

Sucesión ecológica y agricultura

Los ecosistemas agrícolas, como las granjas o los potreros, contienen muy pocas especies de plantas y animales en comparación con los ecosistemas naturales. La gente simplifica los ecosistemas agrícolas porque los ecosistemas más simples canalizan un mayor porcentaje de su producción biológica hacia el consumo humano. Los ecosistemas agrícolas son ecosistemas inmaduros, y como todos los ecosistemas inmaduros, están continuamente sujetos a los procesos naturales de la sucesión ecológica que los tienden a convertir en ecosistemas naturales maduros. Los campos son invadidos por malezas. Los insectos, y otros animales que se alimentan de las cosechas, se incorporan al ecosistema. La estrategia básica de la agricultura moderna consiste en contraponerse a estas fuerzas de la sucesión ecológica. La sociedad moderna utiliza insumos humanos intensos en forma de materiales, energía e información para evitar que la sucesión ecológica altere sus ecosistemas agrícolas.

Es típico que la agricultura tradicional siga una estrategia diferente. Reduce la necesidad de insumos intensivos armonizando la agricultura con los ciclos naturales de la sucesión ecológica. Por ejemplo, la agricultura de **roza, tumba y quema** o **agricultura itinerante**, es común en las áreas tropicales donde los suelos no son apropiados para la agricultura permanente. La roza, tumba y quema es particularmente útil en:

- laderas boscosas susceptibles a la erosión cuando se elimina un bosque para introducir agricultura;
- suelos forestales infértiles y vulnerables al lixiviado de nutrientes más allá del alcance de las raíces de los cultivos.

Un procedimiento común en este tipo de agricultura consiste en despejar un área del bosque cortando y quemando los árboles y los arbustos. El fuego es una herramienta que los agricultores de roza, tumba y quema emplean para hacer uso de una gran cantidad de energía natural para preparar sus campos para el cultivo. El fuego convierte los árboles y los arbustos en cenizas que sirven como un fertilizante natural, y además mata las plagas que se encuentran en el suelo. La ceniza proporciona una alcalinización natural para asegurar un pH adecuado para los cultivos. Un agricultor puede establecer un cultivo en el área clareada durante uno o dos años. Después de eso, la fertilidad del suelo disminuye y las plagas de los cultivos incrementan, de manera que las cosechas se vuelven demasiado pequeñas como para justificar el esfuerzo. El agricultor abandona ese parche antes de que surjan estos problemas, mudándose a otra parte del bosque donde prepara otro parche para el cultivo. El parche abandonado se deja en **barbecho** durante por lo menos diez años.

Una vez que se deja un parche en barbecho, lo invade una gran cantidad de plantas y animales del bosque circundante, generando una secuencia de comunidades biológicas que sigue la progresión usual de la sucesión ecológica, de pastos y arbustos, hasta árboles. La vegetación natural y la hojarasca protegen al suelo contra la erosión. Eventualmente, se recupera la fertilidad de la capa superficial del suelo mediante la **bomba de nutrientes** del bosque, en la medida en que los árboles con raíces profundas llevan los nutrientes hasta sus hojas, que después caen al suelo. Las plagas de los cultivos desaparecen porque no pueden sobrevivir en un ecosistema natural, sin los cultivos que les sirven de alimento. El agricultor podrá volver a ese lugar después de unos diez años de barbecho, repitiendo el proceso de roza, tumba y quema, y sembrando un cultivo. Un paisaje de agricultura trashumante tiene un mosaico de parches, algunos de ellos campos agrícolas con cultivos, pero la mayoría con diferentes etapas de sucesión en el curso del barbecho del bosque.

La agricultura de roza, tumba y quema es una forma altamente eficiente y ecológicamente sustentable de utilización de suelos frágiles cuando la población humana es lo suficientemente pequeña como para permitir que los agricultores dejen los terrenos en barbecho durante el tiempo requerido. Por desgracia, la roza, tumba y quema no puede funcionar cuando la población es demasiado grande. Cuando los terrenos son escasos, los agricultores se ven obligados a talar el bosque y sembrar sus cultivos antes de que el barbecho haya tenido el tiempo suficiente para que la tierra se recupere por completo. La consecuencia es un círculo vicioso de degradación del suelo y disminución de las cosechas. La explosión demográfica en el mundo en vías de desarrollo ha transformado a la agricultura de roza, tumba y quema de muchos lugares de ser una práctica ecológicamente sustentable a una que no lo es. Una solución a este problema es la **agroforestería** (o **agrosilvicultura**), que combina los cultivos de arbustos o árboles, como el café o frutales, con cultivos alimentarios convencionales, creando un ecosistema agrícola que emula un ecosistema forestal natural.

La población humana de Java, en Indonesia, es demasiado grande para sostener una agricultura de roza, tumba y quema con un barbecho forestal natural. La mayoría de los agricultores de Java es bastante pobre, porque debe satisfacer todas las necesidades de sus familias con únicamente una o dos hectáreas de tierra, pero saca el mayor provecho posible de esta situación mediante una agricultura tradicional que simula el ciclo natural de la sucesión ecológica. Comienzan por sembrar un policultivo de especies tales como camotes (o boniatos), frijoles, maíz, y varias docenas más de otras plantas alimenticias que crecen rápidamente. En el mismo terreno siembran de manera dispersa plantas de bambú o árboles. Los cultivos de crecimiento rápido dominan durante los primeros años (el ecosistema agrícola *kebun* de la Figura 6.11), y después se imponen los árboles o el bambú (el *talun* de la Figura 6.11). Tan pronto como los árboles y el bambú son lo suficientemente grandes, los agricultores los cosechan para utilizarlos como materiales de construcción y combustible, limpian el terreno, queman los materiales vegetales no utilizados, y una vez más siembran un policultivo de plantas alimenticias y árboles. Buena parte del paisaje de Java parece bosque natural pero es, de hecho, un sistema agroforestal cuidadosamente cultivado – etapas 'forestales' de un ciclo agrícola que aprovecha totalmente la sucesión

ecológica. Cada familia maneja un pequeño mosaico de paisaje en diferentes etapas del ciclo, de manera que cuentan con un suministro continuo de los diversos alimentos y demás materiales que requieren.

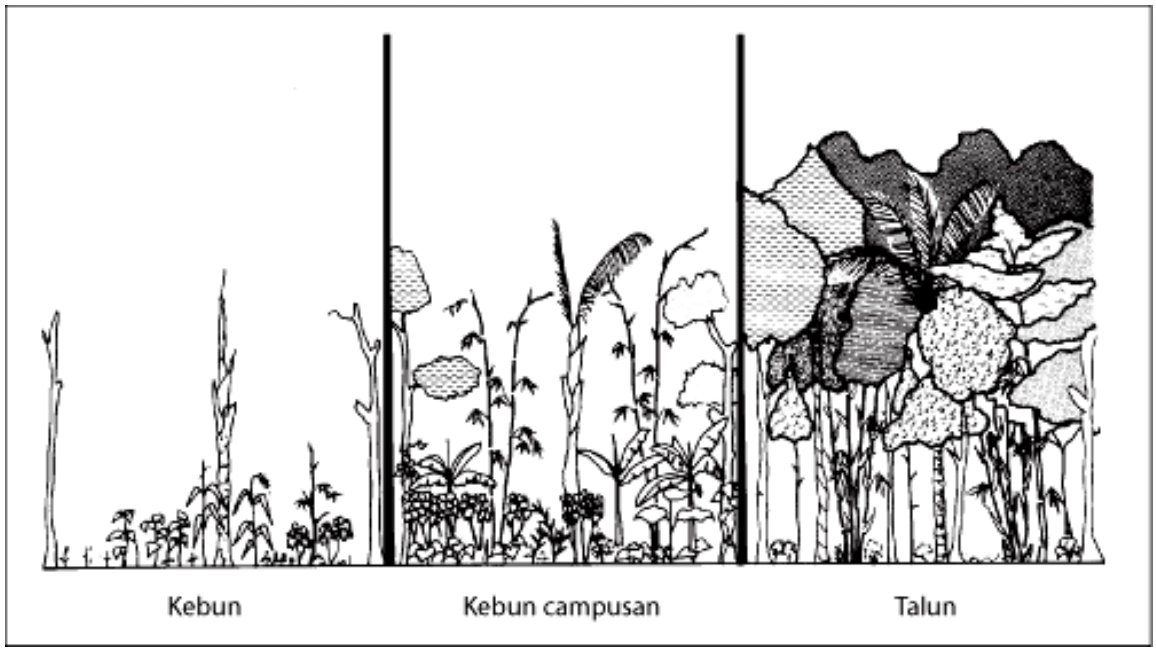


Figura 6.11 Sucesión de policultivos en Java de uno dominado por cultivos de plantas anuales a uno dominado por cultivos arbóreos. Fuente: *Christanty, L., Abdoellah, O., Marten, G. y Iskandar, J. (1986) "Tradicional agroforestry in West Java: the pekerangan (homegarden) and kebun-talun (annual-perennial rotation) cropping systems" in Marten, G., Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective, Westview, Boulder, Colorado.*

PUNTOS DE REFLEXION

1. ¿Cuáles son las secuencias típicas de la sucesión natural en la región donde vive (como en las Figuras 6.1 y 6.2)? ¿Los lugares con condiciones físicas distintas tienen secuencias diferentes? ¿Qué papel parece tener el azar en las secuencias que ocurren en realidad?
2. ¿Ha habido ejemplos de sucesión inducida por el hombre en la región donde vive? ¿Qué actividades humanas los desencadenaron? ¿Fueron reversibles?
3. Hable con sus abuelos u otros parientes o amigos que hayan vivido cerca de su hogar familiar durante mucho tiempo. ¿Cómo han cambiado los ecosistemas naturales, agrícolas y urbanos? Elabore un mapa que muestre cómo era el mosaico de paisajes en un

radio de un kilómetro alrededor de su hogar familiar hace 50 años. Compare el mapa de hace 50 años con el mapa elaborado en el apartado de ‘Cosas en qué pensar’ del Capítulo 5 (esto es, un mapa del estado actual de los ecosistemas). ¿Cómo ha cambiado el mosaico de paisajes durante los últimos 50 años? (si hace 50 años no había viviendas en el área que habita, haga el mapa para un período más reciente, como de 30 o 40 años). De ser posible, elabore una serie de mapas que muestre los cambios sucesivos del mosaico de paisajes a lo largo del tiempo.

CAPITULO 7

Coevolución y Coadaptación de los Sistemas Sociales Humanos y los Ecosistemas.

Los últimos capítulos previos presentaron algunas de las capacidades emergentes de los sistemas sociales y los ecosistemas. Este capítulo trata dos propiedades emergentes del sistema social y el ecosistema que se encuentran estrechamente relacionadas:

1. La **coevolución** (el cambio simultáneo).
2. La **coadaptación** (el ajuste entre uno y otro).

El Capítulo 5 introdujo a la coevolución y la coadaptación como partes integrales de la evolución biológica de las plantas, los animales y los microorganismos que conviven en el mismo ecosistema. La coevolución y la coadaptación consisten en una interacción de ajustes y cambios mutuos que nunca cesa.

Sucede lo mismo entre los seres humanos y el resto del ecosistema (ver Figura 7.1). Los sistemas sociales humanos se adaptan a su medio ambiente, al ecosistema, y los ecosistemas se adaptan a los sistemas sociales humanos. Los ecosistemas naturales, y las porciones naturales de los ecosistemas agrícolas y urbanos, responden a las intervenciones humanas haciendo ajustes que contribuyen a la supervivencia. Los ecosistemas agrícolas y urbanos también evolucionan y se adaptan al sistema social en la medida en que las personas los modifican para que se adecúen a su sociedad cambiante.

Este capítulo comienza con dos ejemplos de coadaptación entre sistemas sociales y ecosistemas. Termina con la historia de los cambios coadaptativos desencadenados por la Revolución Industrial entre el sistema social en modernización y los ecosistemas agrícolas.

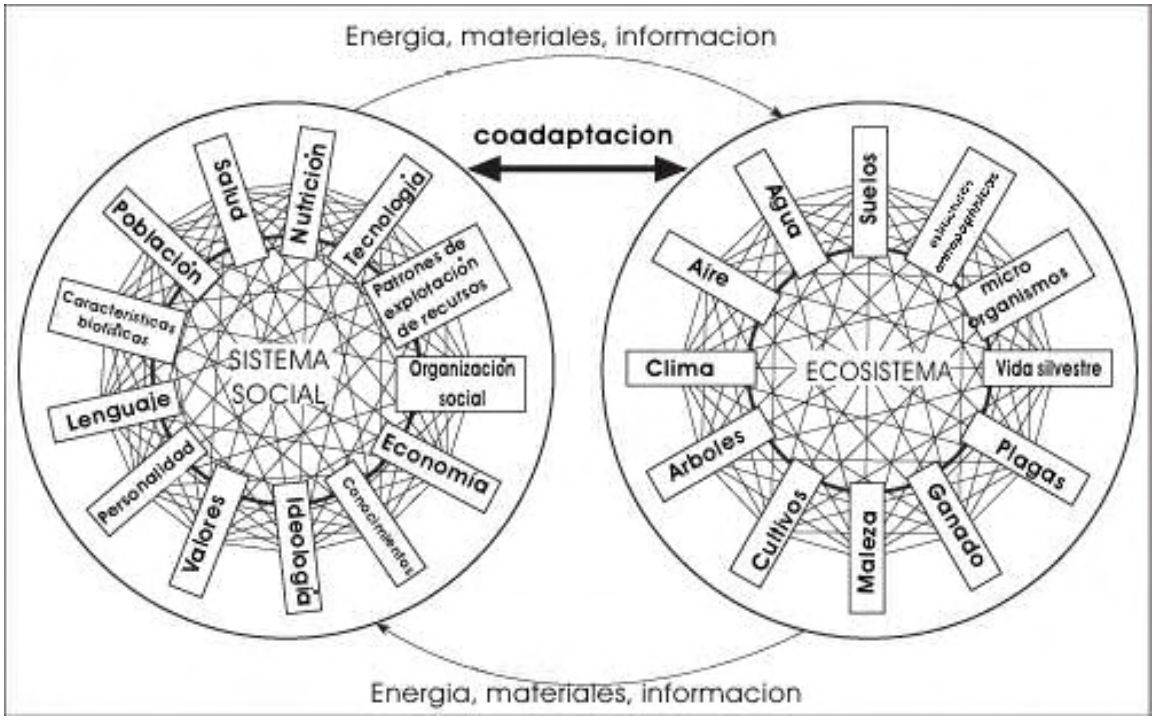


Figura 7.1 Interacción, coevolución y coadaptación del sistema social humano con el ecosistema. Fuente: Adaptado de *Rambo, A. & Sjise, T. (1985) An Introduction to Human Ecology Research on Agricultural Systems in Southeast Asia, University of the Philippines, Los Banos, Philippines.*

COADAPTACIÓN EN SISTEMAS SOCIALES TRADICIONALES

Las sociedades tradicionales son una rica fuente de ejemplos que ilustran la coadaptación entre sistemas sociales y ecosistemas. Siglos de ensayos y errores de evolución cultural han generado delicados ajustes entre muchos aspectos de los sistemas sociales tradicionales y su medio ambiente. El próximo apartado presenta dos historias de coadaptación entre sistemas sociales y mosquitos transmisores de enfermedades. La primera historia se refiere a la adaptación de un aspecto del sistema social humano, el diseño de la vivienda, a un aspecto del ecosistema, los mosquitos y la malaria. La segunda historia trata de la adaptación de un componente del ecosistema, los mosquitos, a un aspecto del sistema social, como es la tecnología de plaguicidas. El ejemplo que aparece en el apartado siguiente concierne al uso que los Indígenas Americanos hacían del fuego para modificar su mosaico de paisajes.

Coadaptación entre la gente y los mosquitos

Hace aproximadamente 100 años, los franceses desplazaron a muchas personas de las tierras bajas del Vietnam colonial hacia las montañas. Querían que hubiera más gente en las montañas para talar los bosques, y para trabajar en las plantaciones de caucho y las minas de estaño. Desgraciadamente, muchas personas de las tierras bajas murieron de malaria cuando se les forzó a vivir en las montañas. Esto era sorprendente, porque la malaria no había sido un problema grave en Vietnam. La malaria es transmitida por mosquitos, pero afortunadamente para los habitantes de las tierras bajas, la especie de mosquito que se desarrolla en los vastos arrozales de esa región no transmite la malaria. Aunque en las montañas si se encuentran las especies de mosquito transmisoras de la malaria, la enfermedad nunca fue un problema grave para los montañeses, que habían vivido ahí durante muchas generaciones. A causa de la malaria, los franceses nunca lograron desplazar con éxito a grandes cantidades de personas de las tierras bajas a las montañas.

¿Por qué los habitantes de las tierras bajas contraían malaria, mientras que los montañeses no lo hacían? La razón consistía en una diferencia cultural. Los montañeses construyen viviendas elevadas sobre el suelo, para mantener a sus animales, como los búfalos de agua, bajo la casa, y tienen la cocina dentro de la casa (ver Figura 7.2). Los mosquitos vuelan cerca del suelo, prefieren picar a los animales antes que a las personas, y el humo los repele, de manera que rara vez entran en las casas alzadas y llenas de humo de los montañeses, y pican a los animales que se encuentran bajo las viviendas, en lugar de picar a las personas.

Los habitantes de las tierras bajas construyen sus casas directamente sobre el suelo, mantienen a sus animales lejos de la vivienda, y cocinan al aire libre (ver Figura 7.2). Cuando los habitantes de las tierras bajas se mudaron a las montañas, continuaron construyendo sus viviendas y cocinando de la manera tradicional. Los mosquitos entraban fácilmente en las casas a nivel del suelo y sin humo, y picaban a las personas dentro de las

casas porque no había animales que los atrajeran más. El diseño de vivienda de las tierras bajas funcionaba muy bien en esa región pero no estaba adaptado al ecosistema montañoso.

Los montañeses estaban protegidos contra la malaria sin siquiera darse cuenta de que los mosquitos transmiten esa enfermedad. En ese entonces, antes de que los científicos descubrieran el papel de los mosquitos en la transmisión de la malaria, la gente de todo el mundo creía que la malaria era ocasionada por espíritus o por agua contaminada. Si se le preguntaba a los montañeses por qué construían sus viviendas de una manera determinada, respondían que por tradición. El diseño de sus viviendas era producto de cientos de años de evolución cultural que adaptó sus edificaciones a todas sus necesidades, incluso a la salud.

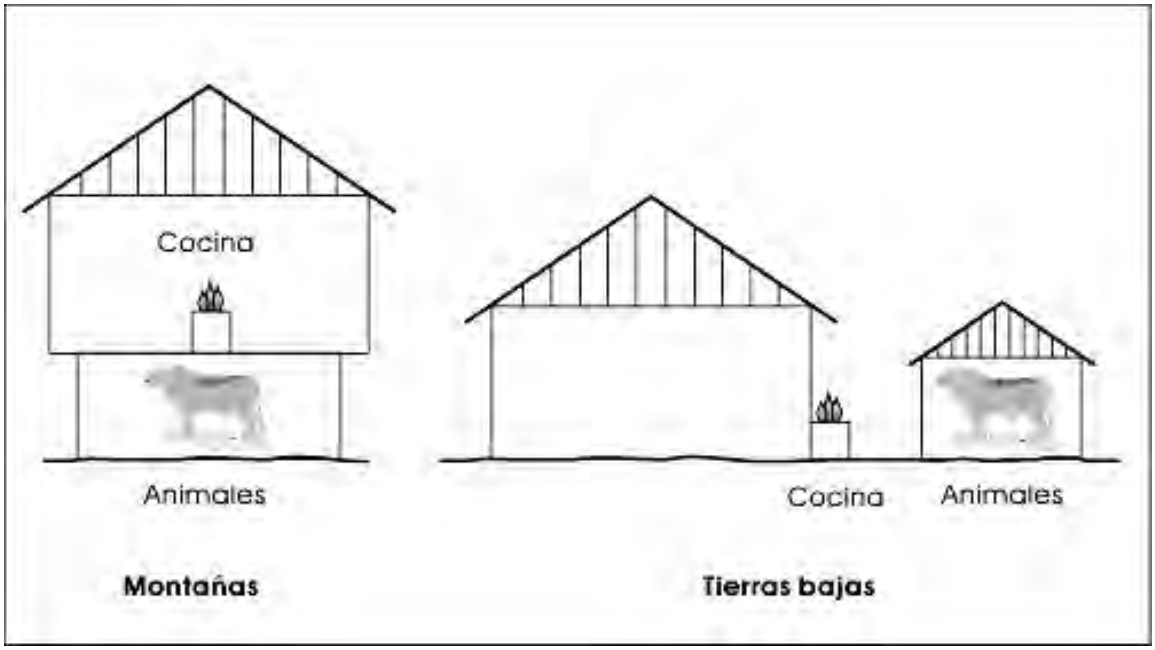


Figura 7.2 Vivienda tradicional de las montañas y tierras bajas en Vietnam.

En 1940 los científicos inventaron el DDT, un insecticida eficaz contra los mosquitos transmisores de malaria. En virtud de que los mosquitos de la malaria descansan sobre los muros de las casas, y dado que el DDT permanece durante meses después de haber sido aplicado sobre estas superficies, era posible matar a casi todos los mosquitos rociando DDT sobre los muros de las viviendas solamente unas cuantas veces al año. La Organización Mundial de la Salud montó una campaña global de DDT contra la malaria en

los 1950s, y al principio ésta funcionó perfectamente. La malaria prácticamente desapareció hacia fines de los 1960s. Sin embargo, los mosquitos volvieron durante la década siguiente, y también volvió la malaria. Actualmente contraen malaria unos 500 millones de personas cada año en todo el mundo, y varios millones de ellas mueren.

Los mosquitos volvieron porque desarrollaron resistencia al DDT. Unos cuantos mosquitos contaban con una mutación genética que les protegía contra el DDT. Después de que el DDT empezó a utilizarse intensamente, este gen resistente al DDT se extendió rápidamente por las poblaciones de mosquitos, porque los que contaban con él sobrevivían, mientras que los demás morían. En algunas regiones también se dio una mutación conductual. Los mosquitos empezaron a descansar en la vegetación fuera de las viviendas, en lugar de hacerlo sobre los muros impregnados de DDT. El DDT no resultó una tecnología sustentable para el control de la malaria. ¿Pero que ha sucedido con otros insecticidas? El DDT es muy barato; sin embargo, todos los demás insecticidas son demasiado caros como para ser utilizados a gran escala contra los mosquitos de la malaria. La mayoría de las naciones desistió en sus intentos por controlar la enfermedad, y desde entonces ha habido pocos avances en el control de la malaria. La utilización de medicamentos contra la malaria ha reducido las defunciones en algunas áreas, pero muchas de estas drogas ya no funcionan porque el parásito que ocasiona la enfermedad se ha hecho resistente a ellas.

En el Capítulo 12 aparece una descripción detallada de la coadaptación de los seres humanos y los mosquitos.

Quemas controladas por los Indígenas Americanos

El ejemplo de la protección de los bosques contra el fuego que se presentó en el Capítulo 6 explicó cómo fue que el Servicio Forestal de los Estados Unidos aprendió el valor de la utilización del fuego controlado para el manejo forestal. Esto es algo que los Indígenas Americanos ya sabían mucho antes de que los europeos llegaran a América del

Norte. Ya que los Indígenas Americanos coevolucionaron con los ecosistemas de América del norte durante miles de años, su sistema social y su tecnología para el uso de la tierra estaban altamente adaptados a una relación sustentable con el medio ambiente. El uso controlado del fuego era parte íntegra de su manejo forestal. Encendían fuegos porque sabían que los incendios frecuentes eran una forma de mantener saludables los ecosistemas forestales. También utilizaban las quemas controladas para crear pequeños parches de ecosistemas diferentes, como los prados de pastos. Un mosaico de paisajes que reunía diferentes etapas de sucesión ecológica proporcionaba más plantas y animales silvestres como fuentes de alimentos que un sistema conformado exclusivamente por el bosque. Cuando los europeos llegaron a América del Norte cometieron muchos errores porque su sistema social no estaba adaptado a los ecosistemas americanos. (En el Capítulo 10 se presentan algunos ejemplos de las consecuencias ambientales debidas a las diferencias culturales entre los europeos y los Indígenas Americanos en América del Norte).

COEVOLUCIÓN DEL SISTEMA SOCIAL Y EL ECOSISTEMA DESDE LA AGRICULTURA TRADICIONAL A LA MODERNA

Los ecosistemas se adaptan de dos maneras a los sistemas sociales humanos:

1. Los ecosistemas se reorganizan en respuesta a las actividades humanas.
2. Las personas cambian los ecosistemas para ajustarlos a su sistema social.

El ejemplo de los mosquitos mostró cómo se reorganizan los ecosistemas naturales. Los mosquitos desarrollaron resistencia al DDT en respuesta al hecho de que su uso les impuso una elevada tasa de mortalidad. Los componentes naturales de los ecosistemas agrícolas y urbanos también se adaptan a las actividades humanas reorganizándose. Las porciones de los ecosistemas agrícolas y urbanos que se encuentran organizadas por la gente cambian con el sistema social porque la gente las cambia. Las personas construyen los ecosistemas agrícolas y urbanos de manera que se ajusten a su sistema social, y la gente ajusta su sistema social a sus ecosistemas agrícolas y urbanos. La

modernización de la agricultura después de la Revolución Industrial ilustra la coevolución del sistema social y los ecosistemas agrícolas.

Antes de la Revolución Industrial, las personas estaban muy conscientes de las limitaciones ambientales. Su cultura, sus valores, su conocimiento, su tecnología, su organización social y otras partes de su sistema social se encontraban por necesidad estrechamente adaptadas a la naturaleza. La mayoría de las personas practicaba la **agricultura de subsistencia** a pequeña escala; la mayor parte de la producción agrícola se destinaba al consumo doméstico. La mayoría de las familias tenía alguna variedad de animales de granja y sembraba muchos cultivos diferentes para satisfacer las necesidades familiares de alimento y vestido. Las técnicas agrícolas se encontraban adaptadas a las condiciones ambientales locales. La cantidad de tierra que cada familia podía cultivar se encontraba limitada por la gran cantidad de trabajo humano o animal que se requería para la agricultura. La mayoría de los campesinos utilizaba **policultivos** – una mezcla de varios cultivos distintos en un mismo terreno. Los sistemas agrícolas que aparecen en la Figura 6.11 son policultivos.

Los policultivos tenían varias ventajas:

- Protegen a los suelos contra la erosión, y pueden mantener la fertilidad del suelo sin la utilización de fertilizantes químicos. La mezcla de diferentes especies en un policultivo genera una gran cantidad de vegetación, que cubre el suelo por completo. En contraste, es frecuente que un terreno de **monocultivo** (una sola especie) tenga mucho suelo desnudo. La gran cantidad de vegetación de un policultivo protege el suelo contra la precipitación pluvial, reduciendo la erosión. La vegetación también proporciona cantidades sustanciales de fertilizante orgánico, cuando las porciones no utilizadas de la cosecha se reincorporan al suelo con el arado. Si algunas de las plantas que se encuentran en el terreno son leguminosas (por ejemplo, frijoles o chícharos), las bacterias de las raíces de las leguminosas convierten el nitrógeno atmosférico en formas aprovechables por las plantas.

• Proporcionan un control natural de plagas. Las plagas agrícolas son generalmente específicas para una especie determinada de cultivo. Por ejemplo, si un terreno está 100% cubierto por un monocultivo de maíz, las plagas del maíz se multiplican en gran cantidad y causan graves daños si no se utilizan plaguicidas. Pero si en un terreno hay muchos cultivos diferentes, son solamente unas cuantas plantas de maíz, las plagas del maíz tienen problemas para localizar a sus hospederos; y como resultado, no pueden multiplicarse demasiado y el daño que ocasionan es limitado. Los policultivos también proporcionan un buen **hábitat** para animales tales como aves e insectos depredadores que se alimentan de insectos plaga. Los depredadores constituyen un control natural de plagas. Cuando se utilizan plaguicidas químicos en la agricultura moderna, mueren muchos de los depredadores, y se pierde buena parte del control natural de las plagas.

• Permiten que los campesinos diversifiquen sus riesgos. Si durante un año el estado del tiempo es malo para algunas especies de cultivos, probablemente no lo sea para todos. Si los precios de algunos cultivos en el mercado son bajos probablemente sean mejores para otros.

La agricultura en Europa cambió cuando la Revolución Industrial hizo posible la utilización de maquinaria en lugar de trabajo humano o animal para realizar trabajos como arar o cosechar campos. La cadena de los efectos que sucedieron a partir de la mecanización se puede trazar a través de la Figura 7.3. Las máquinas dieron a los agricultores la habilidad para cultivar mayores superficies de terreno. El tamaño de las áreas agrícolas creció dramáticamente porque la agricultura mecanizada es más eficiente en una escala más grande (**economía de escala**). Esto cambios iniciales en el sistema social y el ecosistema desencadenaron una serie de modificaciones a lo largo de circuitos de retroalimentación positiva interconectados en el ecosistema y el sistema social.

Cuando se incrementó el tamaño de los terrenos agrícolas, los agricultores pudieron producir más de lo que necesitaban para sus familias, de manera que cambiaron de la agricultura de subsistencia a una economía de mercado. Una mayor superficie agrícola

también significaba que había un excedente en la producción que servía para sostener a las ciudades. Mucha gente dejó la agricultura y emigró a las ciudades, donde existían mejores oportunidades económicas.

Uno de los principales cambios en el ecosistema fue que pasó de la agricultura de policultivos al monocultivo. Con la mecanización, los agricultores dejaron de mezclar los cultivos porque la maquinaria agrícola funciona mejor con cultivos uniformes. La economía de mercado también significó un incentivo para el cambio porque era más conveniente para los agricultores producir y vender un solo cultivo. El cambio de policultivo a monocultivo condujo a muchos otros cambios. Los monocultivos no protegían el suelo contra la erosión ni mantenían su fertilidad tan bien como los policultivos. Los riesgos de fracaso de las cosechas debidos al mal tiempo o a ataques de plagas también eran mayores con los monocultivos porque 'todos los huevos estaban en una sola canasta'. En consecuencia, era importante que la agricultura se hiciera más independiente del medio ambiente mediante el riego, los fertilizantes químicos y los plaguicidas, todo lo cual se hizo posible gracias a los nuevos desarrollos científicos y a la energía proveniente de los combustibles fósiles.

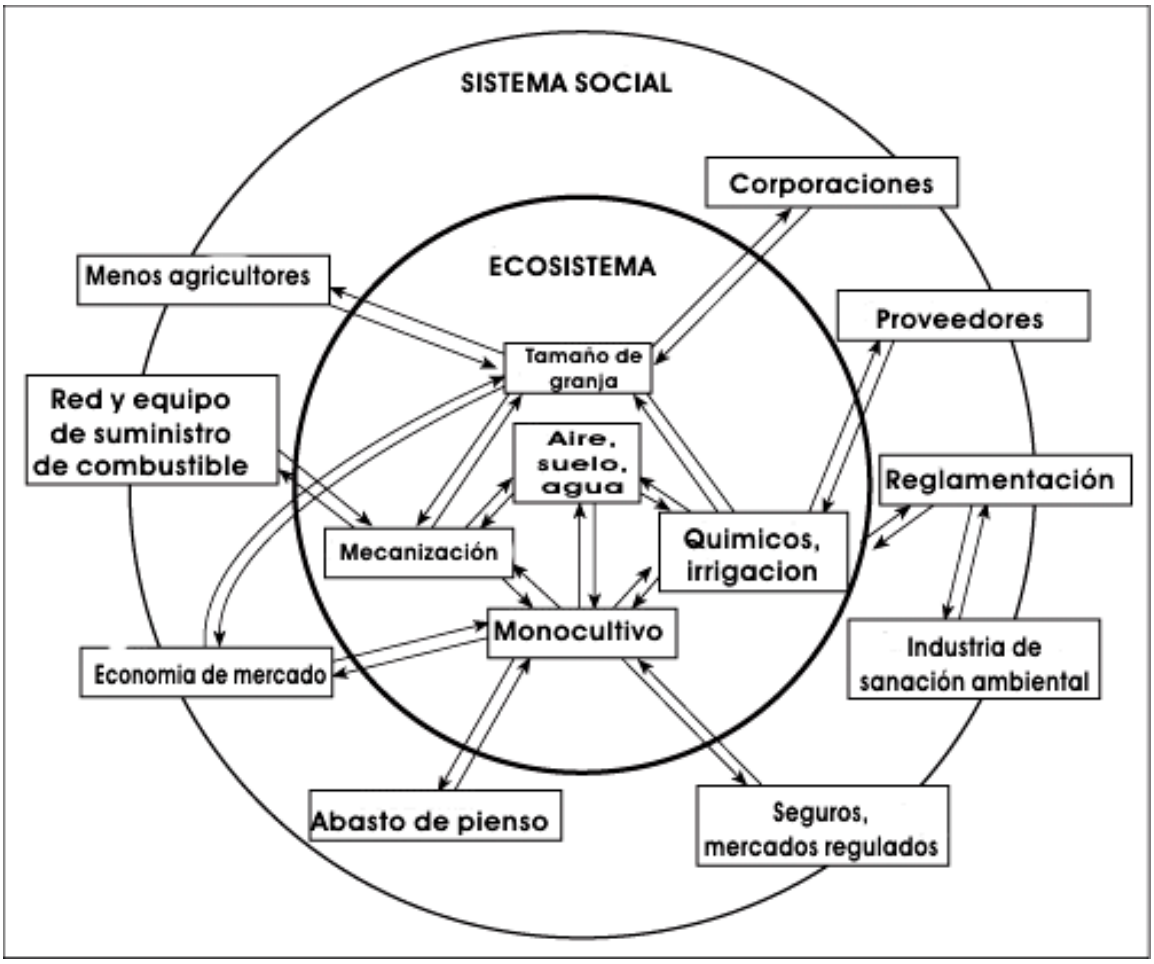


Figura 7.3 Interrelación del sistema social con ecosistemas agrícolas tras la Revolución Industrial.

Los gobiernos fueron involucrándose gradualmente en la investigación para proporcionar mejores tecnologías para el nuevo estilo de la agricultura: variedades mejoradas de cultivos para obtener mayores rendimientos utilizando más insumos (fertilizantes químicos, plaguicidas, etc.), así como mejores técnicas para utilizar los insumos. Se organizaron redes comerciales para proporcionar maquinaria, agroquímicos y semillas de alto rendimiento a los agricultores. Los seguros agrícolas y la regulación gubernamental del mercado, incluyendo los subsidios emitidos por el gobierno, se desarrollaron a la luz de los mayores riesgos asociados con los monocultivos.

Las mejoras en la tecnología hicieron que los monocultivos resultaran cada vez más ventajosos que los policultivos. Debido a que las diferentes especies de plantas tienen requerimientos distintos para su desarrollo, las condiciones en un campo de policultivo no pueden resultar óptimas para todas las especies de plantas que crecen en él. La especialización a través del monocultivo hizo que resultara más fácil para los agricultores utilizar insumos elevados para obtener las condiciones óptimas para alcanzar los rendimientos más altos posibles de un cultivo determinado.

Los agricultores cambiaron su sistema de creencias – su **cosmovisión**. Una vez que se había iniciado la Revolución Industrial, la tecnología, la maquinaria y los combustibles fósiles parecían liberar a la gente de muchas limitaciones ambientales. Las personas empezaron a pensar más en la agricultura en términos económicos, como negocio, y menos en términos ambientales. Todos creían que el futuro iba a proporcionar avances en la ciencia y la tecnología que ofrecerían posibilidades infinitas para la acumulación de capital y el desarrollo económico. Eventualmente, muchas granjas fueron ocupadas por grandes corporaciones, y la agricultura se fue haciendo cada vez más 'verticalmente integrada'. Actualmente, muchas de las compañías poseedoras de supermercados también son dueñas de los terrenos agrícolas y de las plantas procesadoras de alimentos que proveen de alimentos a sus supermercados.

Eventualmente la gente tuvo que cambiar sus creencias, a medida que las implicaciones del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos para la salud ambiental y humana se hicieron evidentes en años recientes. Los gobiernos empezaron a regular el uso de agroquímicos, y emprendieron programas de investigación para enfrentar las consecuencias de su aplicación. Surgió una nueva industria ambiental en el sector privado, creada para enfrentar la contaminación proveniente de la agricultura y otras fuentes.

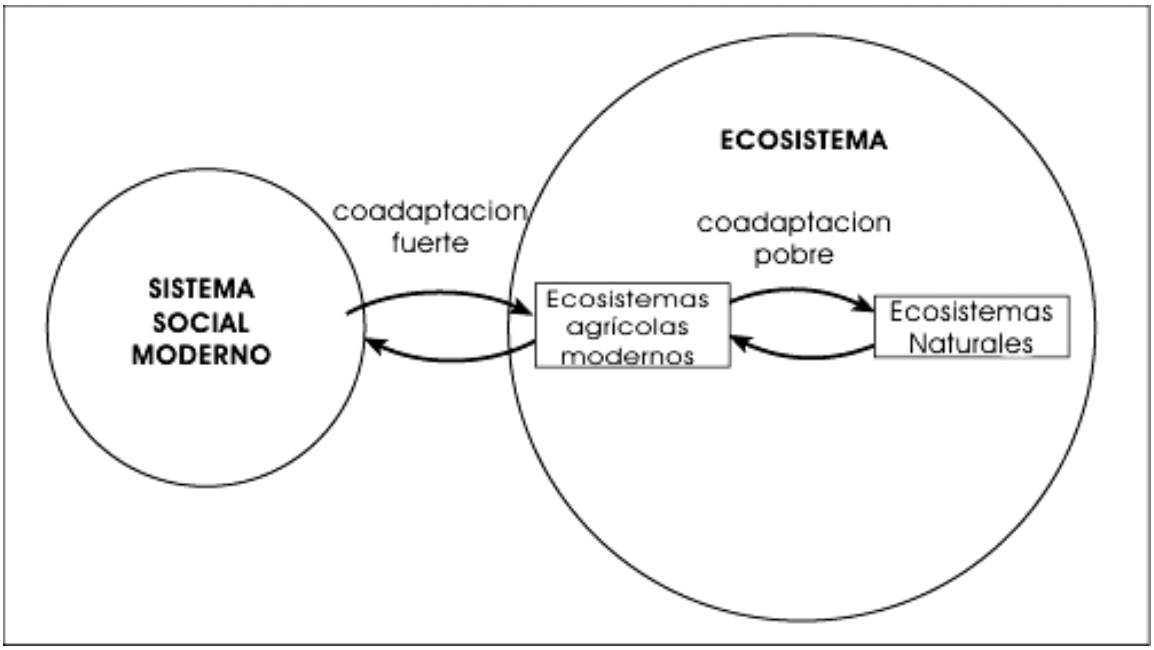


Figura 7.4 Coadaptación de los sistemas sociales modernos y ecosistemas.

Los sistemas sociales y los ecosistemas agrícolas han cambiado a lo largo de la historia en formas que les han permitido funcionar bien unos con otros. En términos generales, esto sigue siendo cierto. Los sistemas sociales y los ecosistemas agrícolas modernos continúan cambiando juntos y están fuertemente coadaptados (ver Figura 7.4). El problema actual consiste en que los ecosistemas agrícolas modernos han perdido su coadaptación con los ecosistemas naturales que los rodean (los ecosistemas naturales de los que depende su viabilidad en el largo plazo). Los ecosistemas agrícolas modernos dependen de insumos a gran escala de fertilizantes y plaguicidas provenientes de fuentes naturales que pueden resultar insostenibles a esa escala, y que contaminan los ecosistemas circundantes con aflujos de fertilizantes y pesticidas provenientes de los terrenos agrícolas. Los ecosistemas agrícolas modernos también dependen de los ecosistemas naturales para obtener insumos masivos de energía y, en muchos casos, agua de riego, que pueden resultar imposibles de sostener.

La reciente popularidad de los alimentos orgánicos estimula un retorno a los ecosistemas agrícolas que resultan más compatibles con los ecosistemas naturales. Los agricultores orgánicos están volviendo a utilizar selectivamente métodos tradicionales

de labranza, y usando fertilizantes orgánicos y métodos ambientalmente inocuos de control de plagas. Sus ecosistemas agrícolas no dependen de insumos químicos, y la contaminación de los ecosistemas circundantes se minimiza. A medida que continúa creciendo el mercado de alimentos orgánicos, los científicos agrícolas y los agricultores se verán estimulados para desarrollar nuevas tecnologías agrícolas ecológicamente robustas.

PUNTOS DE REFLEXION

1. Considere el ejemplo de la coevolución de los sistemas sociales y los ecosistemas naturales desde la agricultura tradicional hasta la moderna que se presentó en este capítulo. Enliste lo sucedido para cada flecha en la Figura 7.3.
2. Hable con un agricultor acerca de los cambios que han acontecido durante los últimos 50 años en los ecosistemas agrícolas de la región donde vive. Pregúntele al agricultor acerca de:
    - los insumos materiales que había hace 50 años y cómo han cambiado desde entonces;
    - los cambios en la organización y la estructura de los ecosistemas agrícolas y cómo se han modificado durante los últimos 50 años los métodos de labranza y los insumos de energía;
    - los cambios asociados en el sistema social (tales como los cambios en los estilos de la vida rural, la organización de la comunidad local, la tenencia de la tierra, las asociaciones agrícolas y la comercialización de los productos del campo, la importación de alimentos, y el papel del gobierno).

3. Piense acerca de los intercambios insumo-egreso y otras interacciones de ecosistemas agrícolas y naturales que ocurren en la región donde vive. ¿Parecen estar bien coadaptados los ecosistemas agrícolas a los naturales? ¿Tienen una relación sustentable con los naturales?

4. ¿En qué formas se encuentra coadaptado el sistema social de su barrio (o pueblo) al medio ambiente local? ¿En qué formas se encuentra coadaptado su sistema social nacional al medio ambiente? Enumere las maneras en que estos sistemas sociales se encuentran pobremente coadaptados a su medio ambiente.

CAPITULO 8

Servicios Ambientales.

Todos dependemos de los ecosistemas para obtener alimentos y demás recursos naturales que sostienen nuestras vidas. La mayoría de los recursos son **renovables** porque los ecosistemas los suministran de manera continua. Las personas utilizan los recursos y los devuelven al ecosistema como residuos en el drenaje, la basura o los efluentes industriales. Los ecosistemas renuevan los recursos procesando los residuos de tal modo que resulten de nuevo accesibles a la gente (véase la Figura 8.1). Para lograr esto, se requiere un suministro continuo de energía solar. La energía solar impulsa el movimiento cíclico de la materia a través del ecosistema, brindando a todos los animales, incluso al ser humano, un suministro de recursos naturales renovables y un depósito para sus residuos.

La provisión de recursos naturales renovables forma gran parte de los servicios ambientales. Estos servicios no dependen únicamente de la luz del sol, sino también de una comunidad biológica saludable que transporte la materia y la energía a los humanos de tal forma que puedan utilizarla. La habilidad de los ecosistemas para proporcionar estos servicios deriva de dos propiedades emergentes importantes: los **ciclos de materia** y el **flujo de energía**. Como veremos, la materia circula; pero la energía no lo hace, ya que sale del ecosistema al fluir por él.

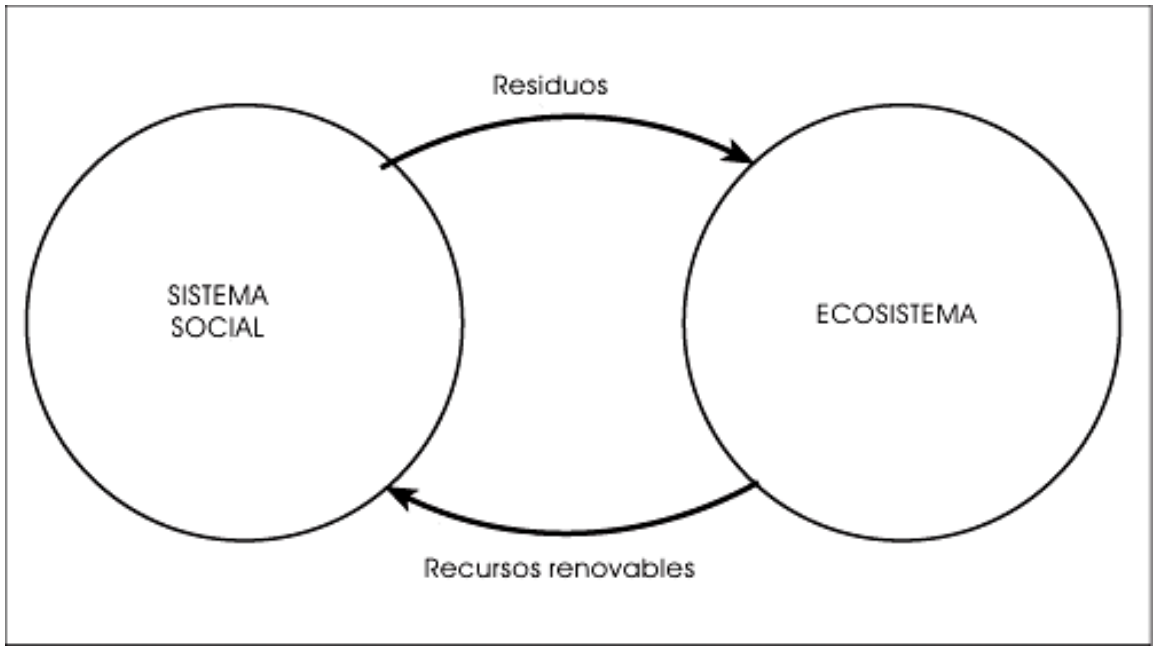


Figura 8.1 La utilización de recursos renovables por los humanos, y su retorno al ecosistema como residuos.

Ante la explosión demográfica humana y el incremento de los niveles de consumo que implica el desarrollo económico, recientemente se han generado exigencias crecientes de estos servicios ambientales. Cuando las personas tratan de extraer demasiado de los ecosistemas (cuando sobreexplotan los servicios ambientales), obtienen cada vez menos al dañar la capacidad de los ecosistemas para proporcionar estos servicios. Si la población humana persiste en hacer demandas excesivas, el ecosistema puede cambiar al grado que los servicios desaparezcan por completo. La pérdida de servicios puede resultar irreversible. Como vimos al analizar la sobrepesca y la desertificación debida al sobrepastoreo en el Capítulo 6, la **sobreexplotación** puede alterar un ecosistema hacia un nuevo dominio de estabilidad de manera que el servicio no regresa, aún cuando se reduzca la demanda.

CICLOS DE MATERIA Y FLUJO DE ENERGÍA

Los **ciclos de materia** y el **flujo de energía** son propiedades emergentes de los ecosistemas que resultan de la **producción** y el **consumo** en los ecosistemas (véase la Figura 8.2).

Producción

Utilizando la energía del sol, la fotosíntesis forma cadenas de carbono a partir del dióxido de carbono para constituir los tejidos vivientes de las plantas. La **producción biológica** (también llamada **producción primaria** neta) es el crecimiento de las plantas. Además de proporcionar el material estructural para todos los organismos vivientes, las cadenas de carbono almacenan una gran cantidad de energía, que utilizan para el 'trabajo' metabólico.

Consumo

Los animales y los microorganismos se alimentan de plantas, o de otros animales y microorganismos, y utilizan las cadenas de carbono de sus alimentos como:

- Material de construcción para su propio crecimiento;
- Fuente de energía para las actividades metabólicas (procesos fisiológicos que los organismos vivientes utilizan para unir entre sí las cadenas de carbono y construir sus cuerpos).

Para obtener energía, las cadenas de carbono son rotas y liberadas a la atmósfera como dióxido de carbono. Este proceso se conoce como **respiración**.

Ciclos de materia

El movimiento de la materia a través de un ecosistema constituye los **ciclos de materia**, también llamados ciclos de minerales, o ciclos de nutrientes, ya que elementos

como el nitrógeno, el fósforo y el potasio son minerales que nutren a las plantas. La materia se mueve a través de los ecosistemas en un ciclo de producción y consumo. Los elementos más importantes son carbono, oxígeno e hidrógeno, requeridos para la fotosíntesis, y nitrógeno, fósforo, azufre, calcio y magnesio, que se necesitan para la construcción de proteínas y otros compuestos estructurales de los cuerpos de los seres vivos. El crecimiento de las plantas también requiere potasio y algunos otros elementos en menor cantidad (hierro, cobre, boro, zinc, y manganeso, entre otros). Estos elementos se transfieren del suelo y el agua a las plantas verdes mientras crecen (esto es, durante la producción). Regresan al suelo y al agua cuando las cadenas de carbono se rompen durante el consumo.

Los animales y algunos microorganismos son **consumidores**. Las distintas especies juegan diferentes papeles ecológicos, como:

- Herbívoros (animales que se alimentan de plantas);
- Depredadores (animales que cazan y se alimentan de otros animales);
- Descomponedores, descomponedores y carroñeros (animales que se alimentan de plantas o animales muertos);
- Parásitos (animales que viven sobre o dentro de hospederos animales o vegetales.);
- Patógenos (microorganismos que viven en o dentro de plantas o animales y les ocasionan enfermedades).

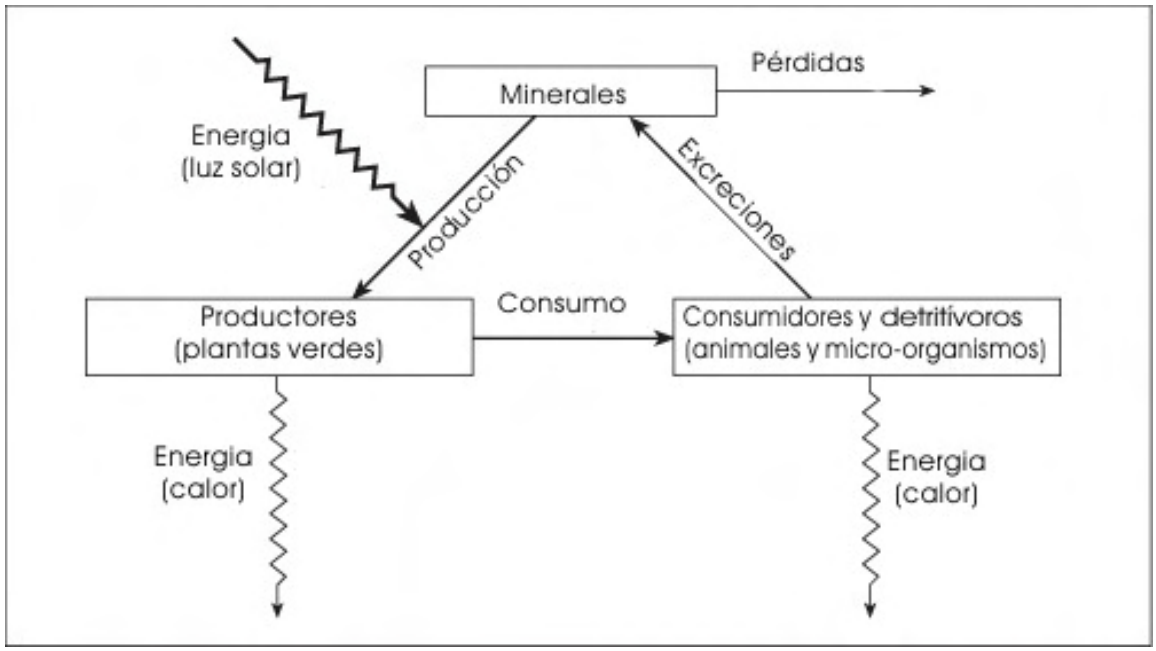


Figura 8.2 Ciclos de materiales y flujo de energía a través de un ecosistema.

Los consumidores utilizan las cadenas de carbono de sus alimentos como material de construcción para sus cuerpos. Cuando obtienen más nutrientes minerales de sus alimentos de los que requieren para sus cuerpos, los liberan al ambiente. Por ejemplo, el nitrógeno se excreta como amoniaco o urea. Los minerales regresan al suelo, donde sirven de nutrimentos para las plantas.

La mayoría de los microorganismos la constituyen los **descomponedores**, que consumen los cuerpos de las plantas, animales y otros microorganismos muertos para obtener los materiales de construcción de cadenas de carbono que necesitan para crecer. Liberan cualquier exceso de nutrientes minerales en sus alimentos al medio ambiente, quedando disponibles para las plantas. La función básica de los descomponedores en el ecosistema es similar en muchas formas a la de los consumidores.

Las leyes de la termodinámica

La energía se presenta en seis formas básicas:

1. Radiante (luz solar, ondas de radio, rayos X, radiación infrarroja).
2. Química (como las baterías, o las cadenas de carbono).
3. Mecánica (el movimiento).
4. Eléctrica (el movimiento de los electrones).
5. Nuclear (la energía que se encuentra en los átomos).
6. Calor (el movimiento de átomos y moléculas).

La primera ley de la termodinámica concierne a la conservación de la energía. *Establece que la energía no puede ser creada ni destruida, pero se puede transformar de una forma en otra.* Esto significa que siempre existe la misma cantidad de energía, antes y después de su transformación de una forma en otra.

La segunda ley de la termodinámica indica que siempre que la energía se transforma de una forma en otra, parte de ella se convierte en calor de bajo nivel. Esto quiere decir que la conversión de energía de una forma en otra nunca es 100 por ciento eficiente (véase la Figura 8.3). Parte de la energía se pierde en forma de calor. La energía 'perdida' aún es energía, pero ya no es la energía de alto nivel necesaria para generar trabajo, como mover objetos o impulsar los procesos metabólicos de plantas y animales.

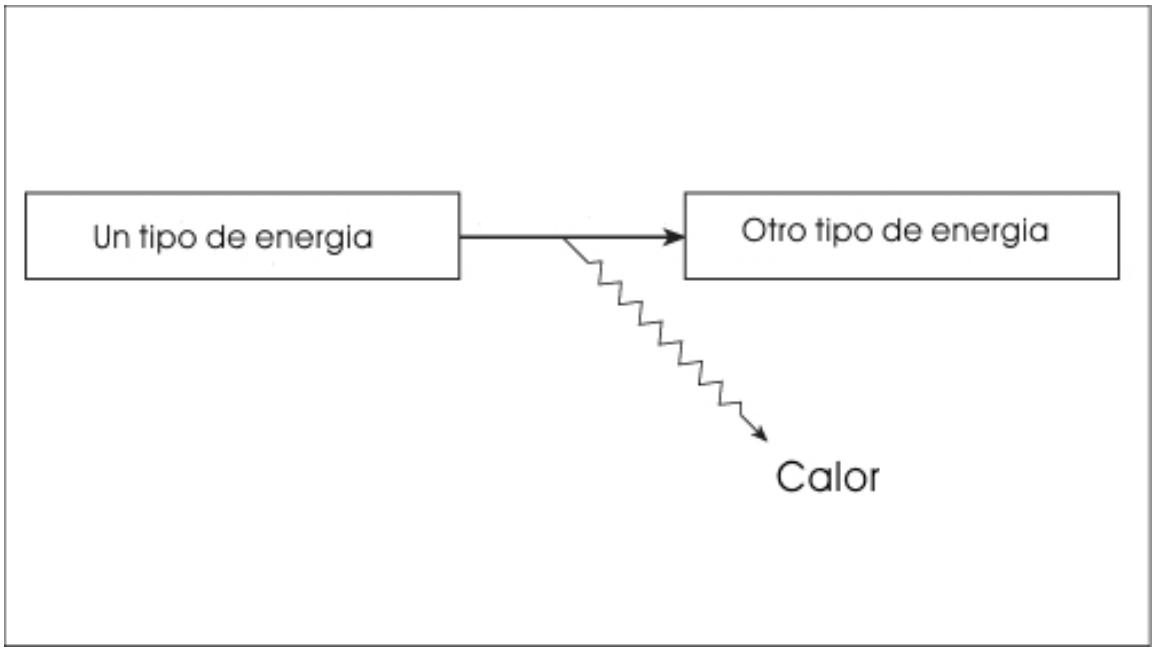


Figura 8.3 La segunda ley de la termodinámica: la conversión de energía en calor al transformarse un tipo de energía en otro.

Una consecuencia importante de la segunda ley de la termodinámica es que todos los sistemas del Universo, tanto físicos como biológicos, necesitan insumos de energía para continuar funcionando. El funcionamiento de los sistemas físicos y biológicos involucra muchas transformaciones de energía. Cada vez que la energía se transforma de una forma en otra al realizarse un 'trabajo' físico o metabólico, parte de ella se convierte en calor de bajo nivel, que ya no puede ser utilizado. En otras palabras, el sistema pierde energía útil (de alto nivel) a medida que la usa. Si no hay un insumo de energía a un sistema, toda su energía útil se pierde eventualmente como calor de bajo nivel, y al sistema no le queda energía útil de alto nivel para continuar funcionando. El principal insumo de energía para los ecosistemas es la luz solar. La comunidad biótica utiliza energía para realizar trabajo físico, como el movimiento de los animales y microorganismos, trabajo metabólico y otros trabajos que los ecosistemas requieren para continuar organizándose y funcionar adecuadamente (véase la Figura 8.4).

Una metáfora de los ciclos de materia y el flujo de energía en los ecosistemas

Un recipiente de agua sobre una estufa ilustra cómo se mueven la materia y la energía a través de un ecosistema (véase Figura 8.5). El fuego calienta el agua que se encuentra en el fondo del recipiente, haciéndolo pasar a un nivel más alto de energía (los objetos calientes tienen un nivel de energía más alto que los fríos). Debido a que el agua caliente es más ligera que la fría, sube hacia la superficie. Mientras el agua caliente se encuentra en la superficie, su temperatura disminuye, y se enfría a medida que la energía en forma de calor se traslada del agua caliente al aire más frío que se encuentra sobre ella. Después de perder calor, el agua (que ahora se encuentra más fría y más pesada) se hunde hacia el fondo del recipiente para sustituir al agua recién calentada que está subiendo. El resultado es una circulación de agua – un ciclo físico. El fuego es el insumo de energía al sistema, y la pérdida de calor del agua superficial es egreso de energía del sistema.

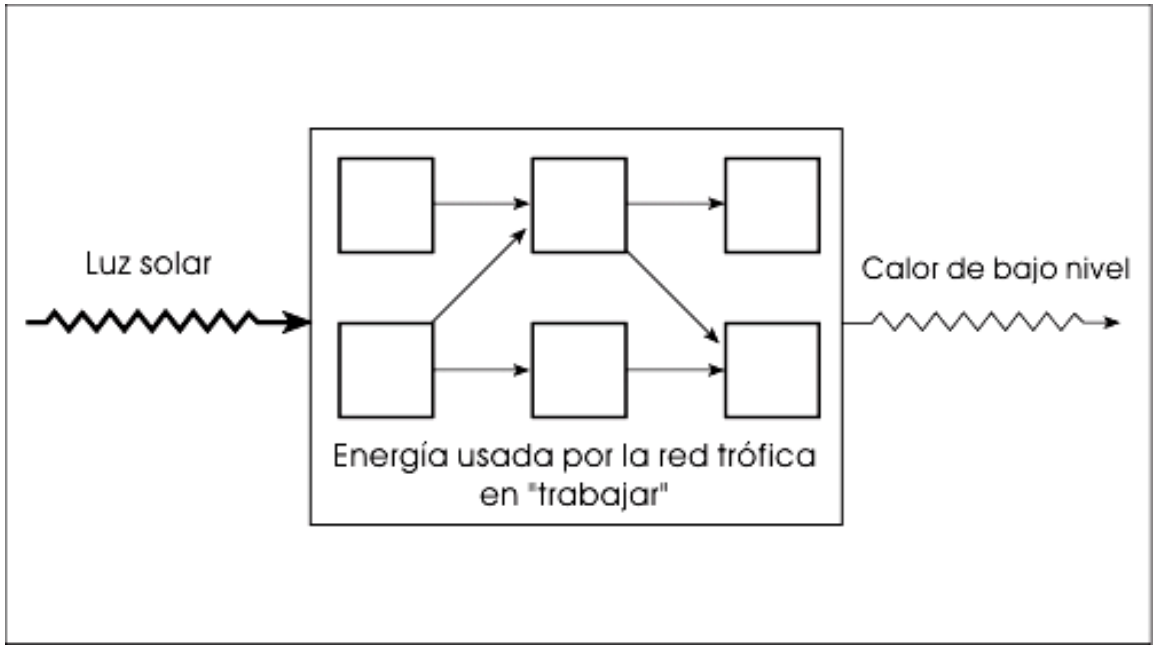


Figura 8.4 Flujo de energía a través de la red trófica de un ecosistema.

Debido al insumo de energía (el fuego), el agua en el recipiente se auto-organiza. Hace su propia estructura (diferentes temperaturas en distintas partes del recipiente). El agua del recipiente forma un ciclo material, pero la energía no circula. La energía entra al recipiente desde el fuego, se mueve del fondo del recipiente hacia sus bordes con el agua caliente, y deja el recipiente como calor de bajo nivel. Esto se conoce como flujo de

energía. Si el fuego (el insumo de energía) se apaga, el agua en el recipiente deja de circular, la energía deja de fluir, y el agua pierde su estructura auto-organizada.

Flujo de energía en los ecosistemas

Como en el caso del recipiente de agua, el movimiento de la materia por los ecosistemas es cíclico. La energía ingresa a los ecosistemas como luz solar (como el fuego que calienta el recipiente). La energía es capturada por la fotosíntesis en cadenas de carbono utilizadas por las plantas verdes para su crecimiento. Las cadenas de carbono se parecen al agua caliente del recipiente en tanto que contienen energía de un alto nivel. Las plantas rompen algunas de las cadenas de carbono de su cuerpo (a través de la respiración) para obtener la energía necesaria para su metabolismo, y parte de la energía se libera al medio ambiente como calor. Las plantas cuentan con las cadenas de carbono restantes (es decir, su fotosíntesis menos su respiración) para crecer. El crecimiento de todas las plantas en un ecosistema constituye su **producción primaria** neta. La producción primaria es la fuente de materia orgánica y energía (en forma de cadenas de carbono) de los ecosistemas.

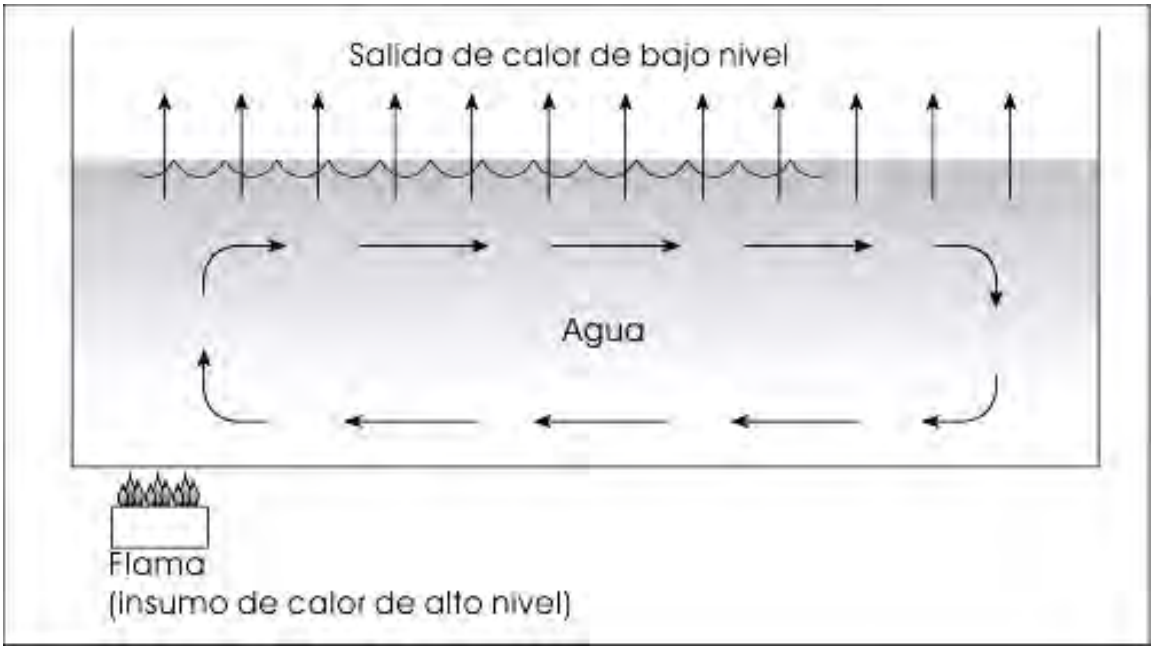


Figura 8.5 La cazuela de agua como metáfora del ciclo de materia y flujo de energía en un ecosistema.

Cuando los consumidores (animales y microorganismos) utilizan las cadenas de carbono de sus alimentos como material de construcción para sus cuerpos, rompen algunas de estas cadenas para liberar energía y cubrir sus requerimientos metabólicos. Esto es la respiración, y la energía generada se utiliza en movimientos – en primera instancia, en el movimiento y la reorganización de las moléculas necesarias para el crecimiento y las actividades metabólicas esenciales para la supervivencia; y en segunda, el movimiento del cuerpo entero. Una vez utilizada la energía proveniente de la respiración, parte de ella es liberada al medio ambiente en forma de calor. Cuando un consumidor se come a otro, hay un flujo de energía de alto nivel en forma de cadenas de carbono a lo largo de una cadena alimenticia que atraviesa la red trófica, y hay una pérdida de energía en forma de calor en cada paso del trabajo metabólico (respiración). El porcentaje de energía de una fase de la **cadena alimenticia** disponible para la próxima etapa se conoce como **eficiencia de la cadena alimenticia**. Se calcula como la cantidad de energía contenida en los alimentos menos la energía utilizada en la respiración. Usualmente es de 10 a 50 por ciento. La Figura 8.6 muestra el flujo de energía de una etapa de la cadena alimenticia a otra.

A medida que pasan a través de la red trófica, las cadenas de carbono se van rompiendo poco a poco para liberar energía, hasta que desaparecen (véase la Figura 8.7). Cuando los consumidores espiran dióxido de carbono y agua, y excretan otros minerales, como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio, estos minerales se presentan como nutrientes para las plantas, exactamente en el mismo estado en que ingresaron a los sistemas biológicos la primera vez. Circulan de nuevo hacia las plantas. Los residuos de los consumidores son alimentos para los productores. La energía no se recicla hacia las plantas porque sale de los consumidores como calor de bajo nivel, que las plantas no pueden utilizar; las plantas solamente utilizan la luz solar. A escala global, la energía luminosa del Sol que llega a la Tierra se convierte eventualmente en calor de bajo nivel, y deja el planeta como radiación infrarroja (véase la Figura 8.8).

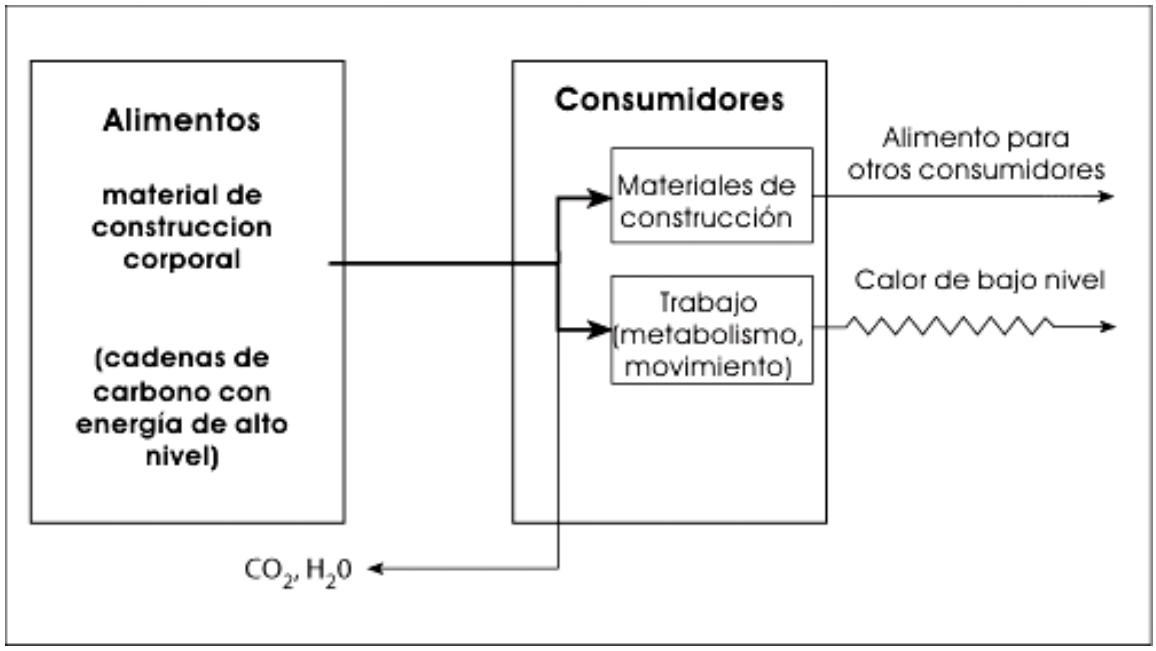


Figura 8.6 Flujo de energía de una etapa a otra en una cadena alimenticia.

En los ecosistemas agrícolas, el número de etapas en la cadena alimenticia que conduce al ser humano determina la eficiencia de la canalización de la producción primaria del sistema hacia la gente. Una cadena alimenticia más larga significa que habrá menos alimentos para la gente. La gente obtiene más alimentos de la misma superficie de tierra cuando consume plantas.

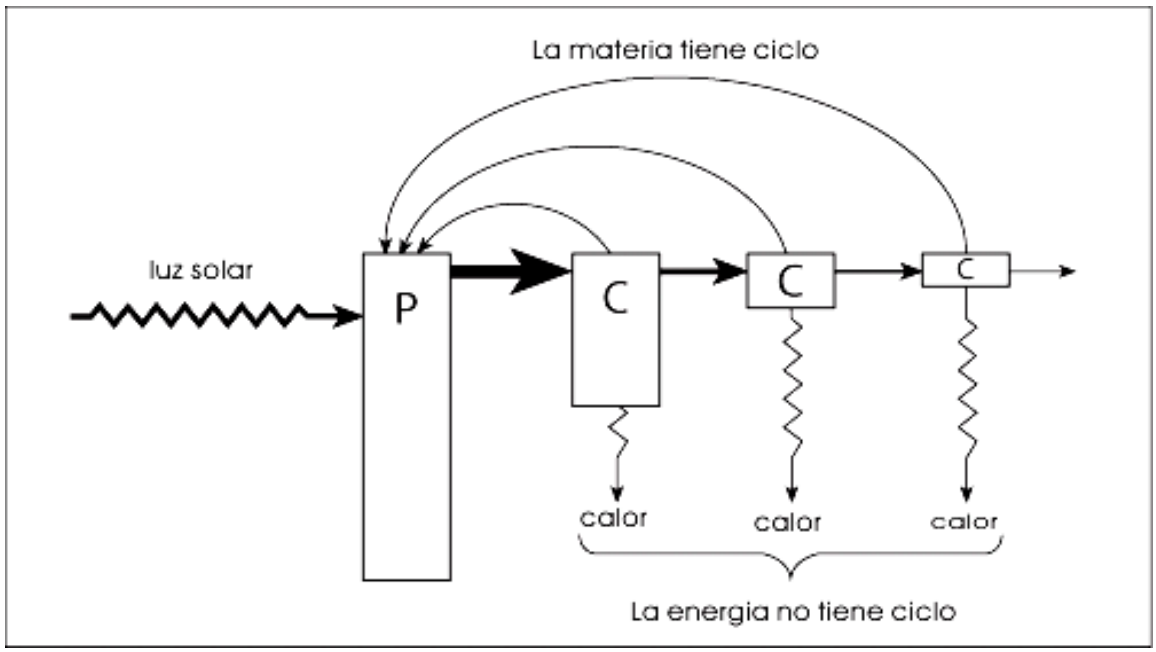


Figura 8.7 Flujo de energía a través de una cadena alimenticia. P = productores. C = consumidores.

La luz solar es la única fuente significativa de insumo de energía para la mayoría de los ecosistemas, pero los insumos humanos de energía son importantes para los ecosistemas agrícolas y urbanos. Los insumos humanos de energía incluyen el trabajo humano, la tracción animal, los insumos mecanizados de energía, como los tractores y otros equipos de maquinaria, y el contenido energético de los materiales introducidos por los humanos a los ecosistemas. Los insumos humanos de energía no se integran al flujo biótico de energía como lo hace la luz. Los insumos humanos de energía se utilizan para organizar ecosistemas cambiando la comunidad biótica y añadiéndoles estructuras físicas antropogénicas. A su vez, esto afecta los flujos bióticos de energía y los ciclos de materia, cambiando la producción primaria y la red trófica. Con la agricultura moderna, la mayor parte de los insumos humanos de energía provienen de la energía petroquímica.

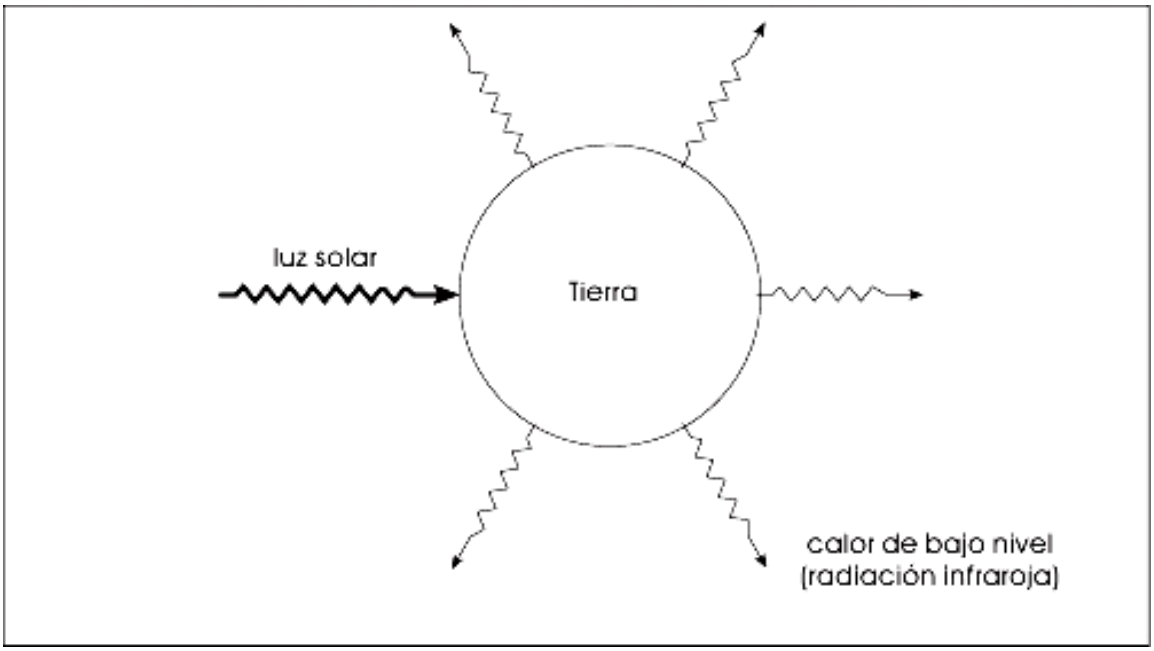


Figura 8.8 Ingresos y egresos de energía del planeta Tierra.

SERVICIOS AMBIENTALES

La Figura 8.9 muestra lo dependiente que es el ser humano del funcionamiento de otras partes del ecosistema. Los humanos somos consumidores – solamente una entre todas las especies de consumidores que hay en el ecosistema. Casi todo lo que la gente requiere para sobrevivir proviene de ciclos de materia y flujos de energía para dos servicios esenciales:

1. El suministro de recursos renovables (plantas, animales y microorganismos como alimento; fibras de plantas y animales para el vestido; madera para la construcción; y agua).
2. La absorción de contaminantes y residuos (consumo y descomposición de los residuos orgánicos por bacterias, absorción de nutrimentos minerales del agua por plantas acuáticas, y dilución de los materiales tóxicos en los ríos, océanos y atmósfera).

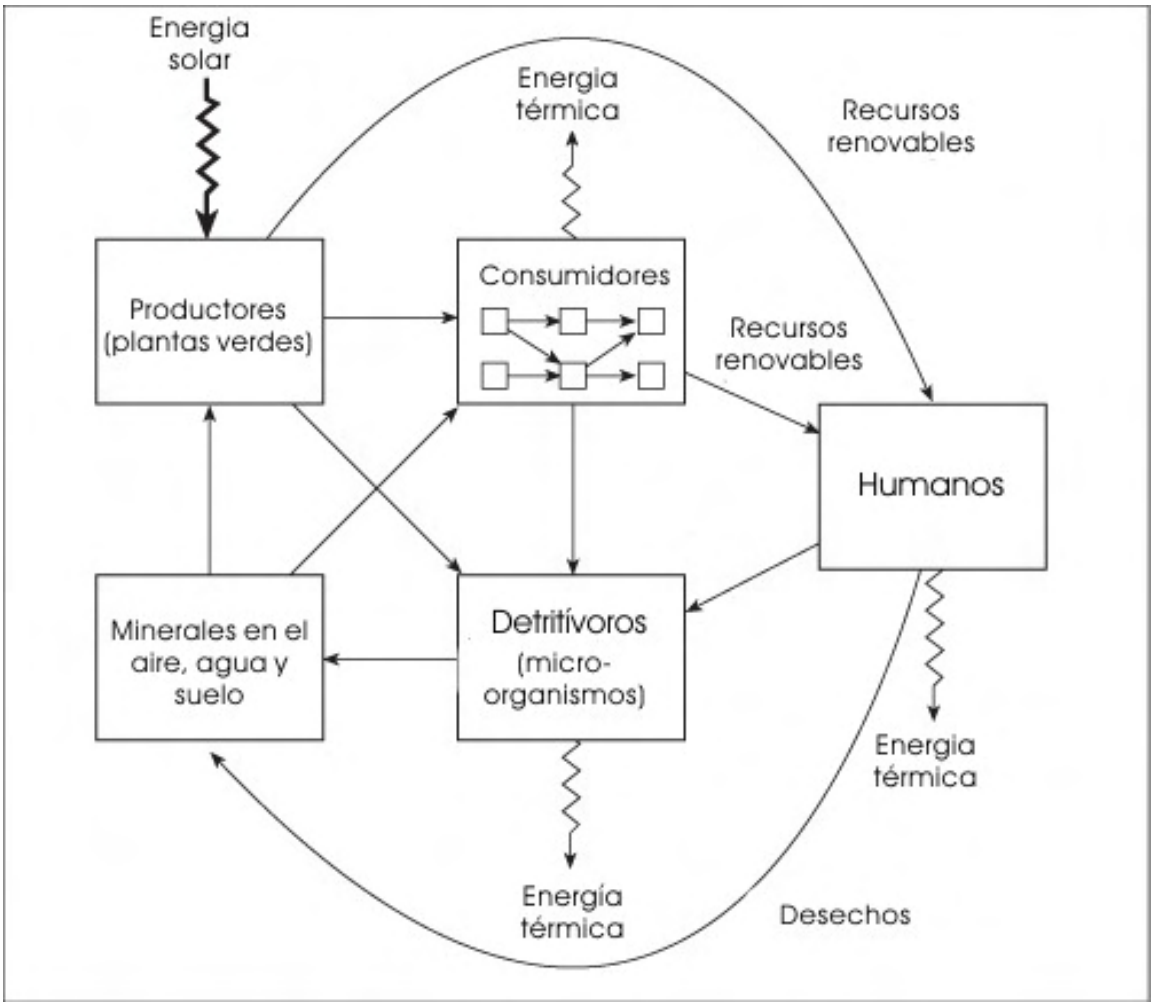


Figura 8.9 Los servicios ambientales como ciclos de materia en un ecosistema. Nota: Los consumidores son animales (herbívoros, depredadores, parásitos) y micro-organismos patógenos dentro de la red trófica.

LA RELACIÓN ENTRE LOS SERVICIOS AMBIENTALES Y LA INTENSIDAD DE USO

Una importante propiedad emergente de los ecosistemas consiste en que los servicios ambientales decaen si se utilizan con una intensidad que daña la habilidad del ecosistema para proporcionarlos (véase la Figura 8.10).

Utilizando las pesquerías como ejemplo, si el esfuerzo pesquero (el número de redes o anzuelos en el agua) en determinado ecosistema acuático es mínimo, un incremento en

este esfuerzo conducirá a mayores capturas. Sin embargo, si el esfuerzo pesquero es mayor al óptimo, un incremento en la pesca conducirá a un menor volumen de captura. Esto se debe a que la población de peces se ve disminuida a tal grado que no quedan suficientes peces adultos como para producir un número adecuado de alevines para que la próxima generación de peces pueda sostener los mismos niveles de captura. La **sobreexplotación** ha disminuido el **capital natural** del ecosistema.

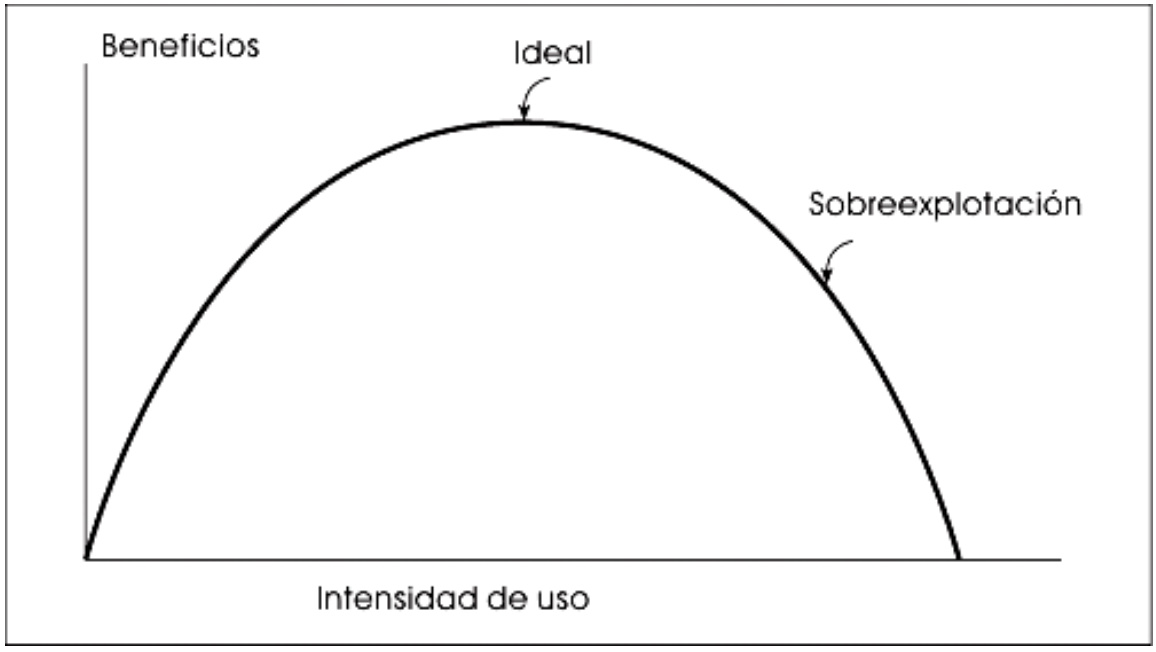


Figura 8.10 La relación entre servicios ambientales y la intensidad de su uso.

Lo mismo sucede con los bosques, las praderas, y la agricultura. En tanto que la tala no es frecuente, su incremento rinde un mayor volumen de madera; mientras no haya demasiados animales pastando en una pradera, una mayor cantidad de animales rendirá más carne y leche; y una agricultura más intensiva generará mayores rendimientos siempre que esta no haya sido ya antes demasiado intensiva. Pero si los árboles se talan con demasiada frecuencia, los bosques no serán capaces de madurar; en consecuencia, la cantidad de madera extraída pronto se vuelve insostenible. Si la pradera se apacienta con demasiada intensidad, los pastos serán menos abundantes. El suministro de alimentos para los herbívoros es reducido, y los rendimientos de producción (es decir, el crecimiento de los animales) son menores. El uso excesivo de fertilizantes o plaguicidas químicos para

incrementar la productividad de los cultivos puede contaminar el suelo y reducir la producción. Las cantidades grandes de fertilizantes o plaguicidas pueden resultar tóxicas para las plantas; los plaguicidas también pueden matar a los animales y microorganismos edáficos que conservan la fertilidad de los suelos. La explotación recreativa de las áreas naturales puede dañar los ecosistemas originales y ejercer impactos sobre la belleza visual que originalmente fue el atractivo del sitio.

Una propiedad emergente de los ecosistemas: los servicios ambientales pueden desaparecer si la intensidad de uso es excesiva.

Esta propiedad emerge cuando una **sucesión inducida por el hombre** hace cambiar a un ecosistema de un dominio de estabilidad 'correcto' a uno 'incorrecto' (véase la Figura 6.8). Un ejemplo es la sucesión de pesquerías, cuando los peces de valor comercial desaparecen por haber los pescadores enfocado sus esfuerzos sobre una especie determinada (ver Figura 6.7). El ecosistema cambia de uno que provee peces comercialmente valiosos en abundancia a otro que no lo hace. La desertificación debida al sobrepastoreo es otro ejemplo (ver Figura 6.6). La relación entre la intensidad de uso y los beneficios obtenidos puede cambiar de ser una como la que se muestra en la Figura 8.10 a otra como la ilustrada en la Figura 8.11.

Otro ejemplo es la intensificación de la producción de alimentos extendiendo ladera arriba técnicas agrícolas inadecuadas – una práctica común en el mundo en vías de desarrollo de hoy en día. Cuando se desarrollan cultivos año tras año en las laderas, la erosión puede acabar con todo el mantillo, dejando al suelo sin la capacidad para sostener más cultivos. De manera parecida, la intensificación inapropiada de la producción de alimentos mediante el riego puede hacer que la tierra deje de ser adecuada para ese propósito. El uso de riego en las regiones áridas donde el agua resulta insuficiente, puede resultar en una **salinización** que hace que el suelo resulte tóxico para los cultivos. Cuando el agua de riego se evapora, deja tras de sí minerales que pueden acumularse hasta alcanzar concentraciones tóxicas para los cultivos, a menos que la tierra se sature con agua adicional

para lavarla de sales. En la ausencia de agua adicional, las sales se acumulan hasta que el rendimiento de las cosechas decrece al grado que la agricultura se vuelve improductiva. Grandes superficies de tierras semi-áridas del sureste de Asia que se dedicaron a la agricultura durante la Revolución Verde de hace varias décadas, ahora son páramos debido a la salinización.

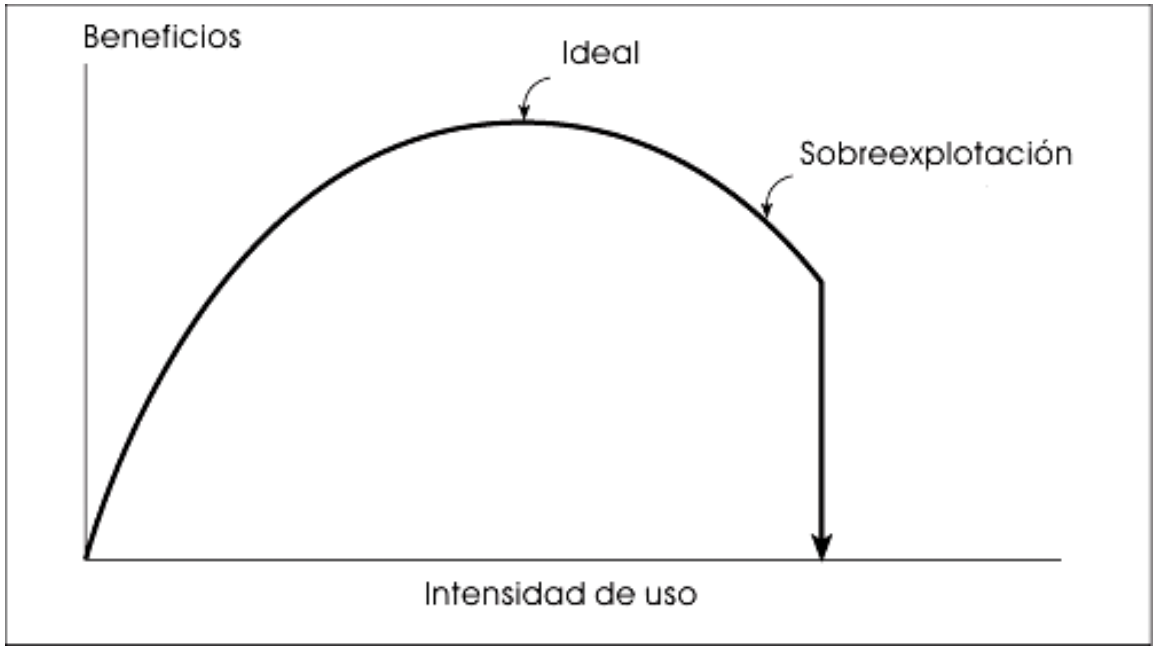


Figura 8.11 Desaparición de un servicio ambiental debido a la sobreexplotación.

Sucede lo mismo con la absorción de residuos en los ríos, lagos, océanos y otros ecosistemas acuáticos. Arrojar demasiados residuos en un ecosistema acuático puede reducir su capacidad para absorberlos. Los ecosistemas absorben residuos orgánicos cuando, por ejemplo, los descomponedores, como las bacterias, los utilizan como alimento. Los descomponedores utilizan el oxígeno del agua para respirar, y liberan cadenas de carbono parcialmente rotas al agua, como subproductos de la descomposición. Incrementar la cantidad de residuos implica que habrá más respiración, y más subproductos. Si se arrojan demasiados residuos orgánicos al agua, los descomponedores utilizarán todo el oxígeno disuelto en ella, y los subproductos liberados por ellos alcanzarán concentraciones tóxicas. La calidad química del agua cambiará tanto que ni siquiera los descomponedores que consumen residuos podrán sobrevivir. Los descomponedores que consumen residuos

serán sustituidos por otras especies de bacterias, que no purifican el agua, y la capacidad natural del ecosistema acuático para absorber residuos orgánicos se verá reducida.

Antes de la Revolución Industrial, cuando la población humana era relativamente pequeña y las exigencias sobre los servicios ambientales eran correspondientemente reducidas, el uso de los servicios ambientales se encontraba en la porción 'ascendente' de la curva que se muestra en la Figura 8.11. Actualmente, con la superpoblación y una maquinaria industrial masiva, de cobertura global, que consume grandes cantidades de recursos naturales, el uso humano de los servicios ambientales se encuentra cada vez más en la porción 'descendiente', de sobreexplotación, de la curva.

¿Cómo podemos saber cuál es la mejor intensidad de uso? ¿Cómo podemos saber si estamos sobreexplotando los servicios ambientales? Nuestro sistema social no ha podido desarrollar medios eficaces para responder a estas preguntas porque antes, cuando la población humana era menor y la gente no imponía demandas excesivas a los ecosistemas, la sobreexplotación no era un problema relevante. Una aproximación práctica para evitar la sobreexplotación consiste en incrementar la intensidad de la utilización de recursos en intervalos relativamente pequeños, vigilando cuidadosamente cómo cambian los beneficios obtenidos a medida que crece la intensidad de uso. Pueden evaluarse simultáneamente las partes relevantes del sistema social y el ecosistema, en busca de evidencias de consecuencias imprevistas. La intensidad de uso es la correcta si los beneficios aumentan cuando ésta aumenta (ver Figura 8.10). Una disminución de los beneficios obtenidos indica que existe una sobreexplotación.

Por simple que parezca en principio esta aproximación, su puesta en práctica no resulta nada sencilla. A veces, los procedimientos operativos para evaluar los servicios ambientales no son del todo evidentes. La recolección y sistematización de los datos puede resultar costosa, y los resultados pueden resultar poco concluyentes. Las actividades humanas incluyen tantas acciones distintas que afectan a los ecosistemas, y las respuestas de los ecosistemas pueden involucrar tantos servicios, que puede ser virtualmente imposible identificar causas y efectos específicos. Más aún, la respuesta de los servicios ambientales a

los cambios en las actividades humanas puede tardar años o décadas, un marco de referencia temporal que frecuentemente no coincide con la velocidad de cambio de las actividades humanas. Cuando existen dudas acerca de la sobreexplotación, es prudente seguir el **principio precautorio** descrito en el Capítulo 10.

LA FALACIA DE QUE LA OFERTA Y LA DEMANDA PROTEGEN A LOS RECURSOS NATURALES DE LA SOBREEXPLOTACIÓN

Algunas personas suponen que la mano invisible de la oferta y la demanda protege a los recursos renovables contra su sobreexplotación (ver Figura 8.12). Esta creencia se basa en la idea de que el uso excesivo de un recurso se evita mediante un incremento en su precio, cuando el recurso escasea. La protección proviene de un circuito de retroalimentación negativa. Por ejemplo, si se capturan demasiados peces, éstos escasean, su precio aumenta, hay una menor demanda de peces, se capturan menos, y la población de peces vuelve a aumentar.

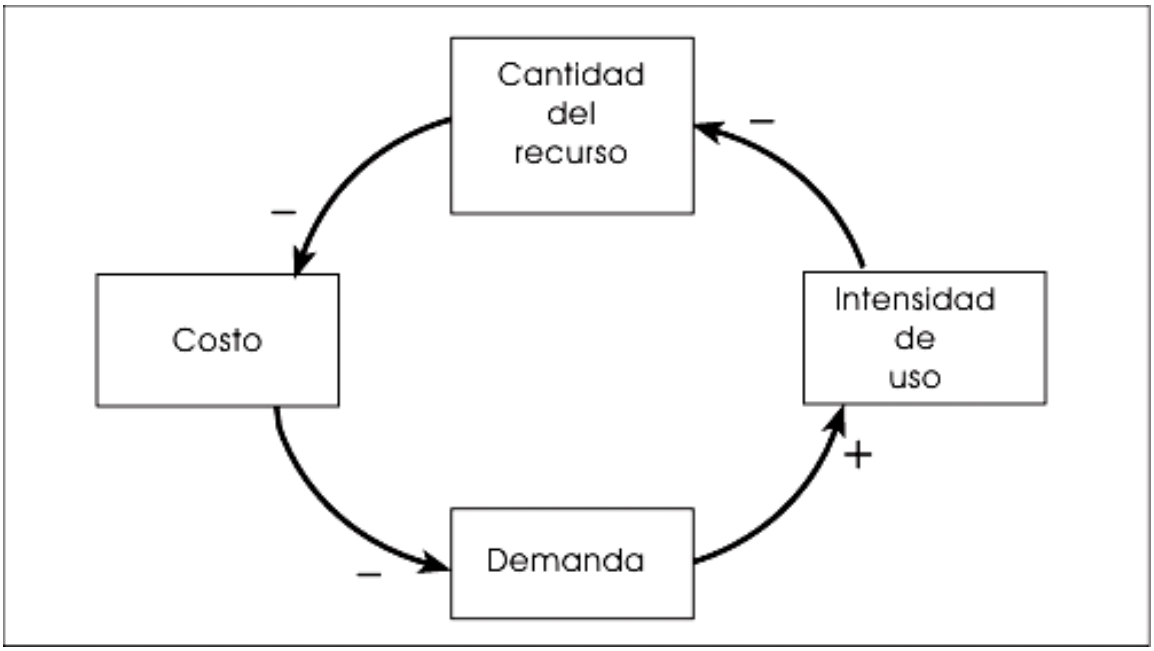


Figura 8.12 El control del uso de recursos por la oferta y la demanda. Nota: Las flechas negativas indican efectos negativos: si el abasto del recurso aumenta, disminuye el precio; si el abasto del recurso disminuye, aumenta el precio. Las flechas positivas indican efectos positivos: si aumenta la demanda, aumenta la intensidad de uso; si la demanda disminuye, disminuye la intensidad de uso.

El circuito de retroalimentación negativa de la oferta y la demanda es real, pero la creencia de que las fuerzas del mercado protegen a los recursos naturales de la sobreexplotación se basa en una visión simplista de los ecosistemas que ignora que las sucesiones inducidas por el hombre resultan irreversibles. Puede haber un cambio de un dominio de estabilidad a otro (ver Figura 6.6). Cuando los peces comercialmente valiosos son sustituidos por 'peces chatarra' debido a la sobrepesca, los peces valiosos pueden no volver, aún si la captura se suspende totalmente.

Los bosques aportan otro ejemplo. Si se cortan los árboles con demasiada frecuencia, la comunidad biótica puede cambiar de bosque a pastizal o a matorral. Si se tala una superficie muy grande de bosque, éste puede no regenerarse al no quedar semillas de árboles maduros para generar renuevos. Además, sin árboles que proporcionen hojarasca, el suelo puede perder la cubierta de hojas que lo protege contra la erosión, y ésta puede reducir la fertilidad del suelo al grado que la supervivencia de los árboles se hace imposible. Hay razones sociales además de ecológicas para explicar la pérdida del bosque después de la tala excesiva. Los mismos caminos que construyen las compañías madereras para extraer los árboles de los bosques del mundo en vías de desarrollo también pueden proporcionar acceso a las áreas recientemente deforestadas para que la gente hambrienta de tierras siembre cultivos de plantas. El bosque nunca se regenera si la gente continúa utilizando la tierra para la agricultura.

PUNTOS DE REFLEXION

1. Haga una lista con los productos provenientes de plantas, animales y microorganismos más importantes que usted utiliza. Estos productos corresponden a

las flechas que van de los productores, consumidores y descomponedores, a los seres humanos, tal como se muestra en la Figura 8.9. ¿De qué tipos de ecosistemas provienen los diferentes productos? ¿Dónde se encuentran estos ecosistemas? En el caso de los productos que provienen de animales y microorganismos, ¿cuántos eslabones tiene la cadena alimenticia que conduce a cada producto? ¿Qué productos u otros servicios significativos provienen de un ecosistema en conjunto?

2. Piense en algunos recursos renovables importantes que consume directa o indirectamente. ¿Piensa usted que la intensidad de uso de esos recursos es óptima, en el sentido que se ilustra en la Figura 8.10? ¿Es menor, o mayor que la óptima? (esto es, ¿se encuentran sobreexplotados esos recursos?). En el caso de los recursos que parecen estar sobreexplotados, ¿cómo podría reducirse el uso? ¿Qué obstáculos significativos, de índole práctica o social, existen para reducir su uso? ¿La sobreexplotación ha conducido a cambios irreversibles en algunos de los recursos?
3. Piense en algunos recursos no renovables. ¿Están siendo utilizados de tal forma que puedan durar por el tiempo que la gente los requiera? En el caso de los recursos que están siendo agotados rápidamente, ¿qué puede hacerse para reducir las tasas de consumo? ¿Qué obstáculos significativos existen para reducir el consumo?
4. La gente hace demandas de los ecosistemas para obtener servicios que mejoren la calidad de su vida. Dado que la capacidad de los ecosistemas para satisfacer las necesidades humanas es limitada, necesitamos estar conscientes de lo que realmente queremos de la vida y lo que realmente necesitamos de los ecosistemas. Haga una lista de las cosas que resultan más importantes para su calidad de vida. ¿Qué proporción de su lista está compuesta por bienes de consumo? ¿Qué implicaciones tiene su lista para las demandas que se hacen a los ecosistemas?

CAPITULO 9
Percepciones de la naturaleza.

Las personas dan sentido a la complejidad que les rodea llevando en sus mentes cientos de imágenes e 'historias' acerca de sí mismas, su sociedad y su medio ambiente biofísico – cómo está estructurado cada uno de ellos, cómo funcionan y cómo se interrelacionan. Cada imagen o historia encapsula una porción de su realidad de manera simplificada. Juntas, las imágenes e historias constituyen la **cosmovisión** de una persona – su **percepción** de sí mismo y el mundo que le rodea. Las imágenes e historias compartidas forman la cosmovisión de una sociedad. Las personas y las sociedades utilizan su cosmovisión para interpretar información y formular acciones.

Las imágenes e historias que las sociedades tienen acerca de los ecosistemas son la base de su percepción de la naturaleza, que juega un papel central en la conformación de las interacciones entre el sistema social y el ecosistema. (El concepto de 'naturaleza' en este capítulo se refiere a la totalidad del mundo biofísico, incluyendo los ecosistemas agrícolas y urbanos, además de los naturales). Las percepciones dan forma a la interpretación de la información cuando ésta ingresa a un sistema social desde un ecosistema, y las percepciones dan forma a los procesos de toma de decisiones que conducen a acciones que afectan a los ecosistemas (ver Figura 9.1). Las distintas culturas – y diferentes individuos dentro de la misma cultura – tienen percepciones distintas acerca de cómo funcionan los ecosistemas y cómo responden a las acciones humanas. Mientras que toda percepción se basa en la realidad, algunas percepciones de la naturaleza resultan más útiles porque abarcan la realidad de manera más completa o precisa. Reconocer las distintas percepciones puede ayudar a entender porqué individuos distintos y sociedades diferentes interactúan con el medio ambiente de maneras tan distintas que resultan impactantes.

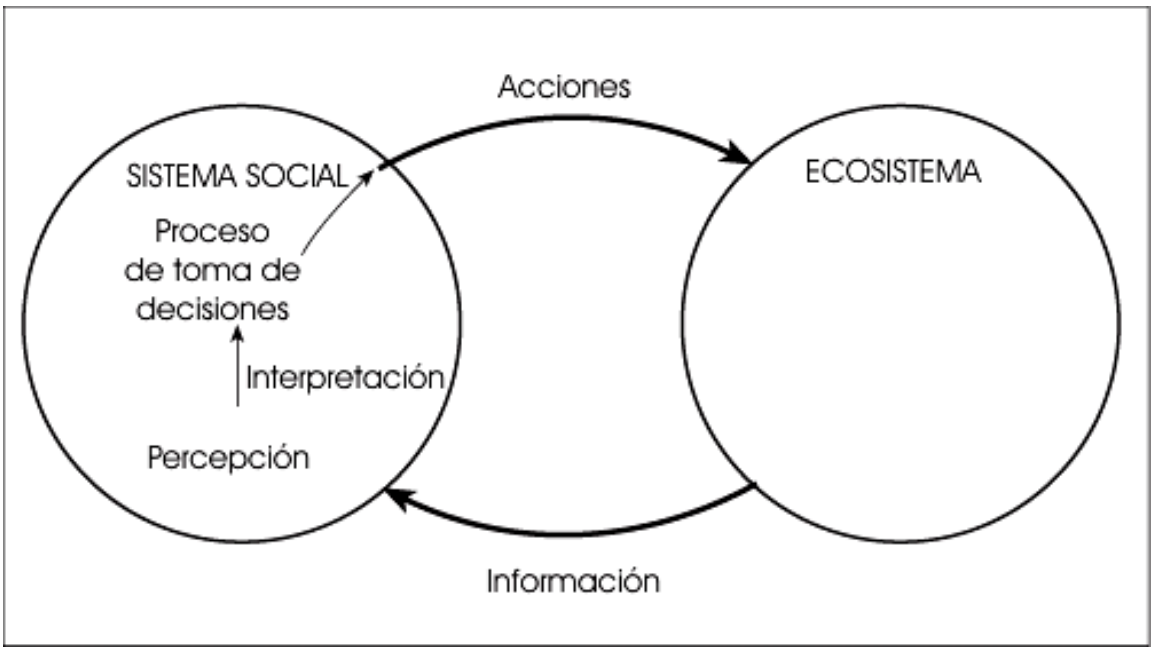


Figura 9.1 El papel de la percepción de la naturaleza en la toma de decisiones que afectan a ecosistemas.

Este capítulo describe cinco percepciones comunes de la naturaleza. Las dos primeras – 'todo está conectado con todo' y 'benigna/perversa' – son conceptos fundamentales en la ecología humana, pero no se encuentran limitadas a los científicos. Las otras tres percepciones de la naturaleza – 'frágil', 'durable' y 'caprichosa' – son casos especiales de la perspectiva 'benigna/perversa'. Cada una de estas tres perspectivas representa una porción válida de la realidad. Sin embargo, cada una es menos completa que la de 'benigna/perversa' en formas que pueden hacer que las personas interactúen con los ecosistemas sin tomar totalmente en consideración las formas en que los ecosistemas responderán ante sus acciones.

La religión es una manera poderosa con que cuentan las sociedades para organizar sus cosmovisiones y dar forma a la conducta humana. Las sociedades de cazadores-recolectores veían la naturaleza con reverencia y respeto. Sus religiones animistas consideraban que las personas eran una parte integral de la naturaleza, básicamente iguales al resto de los animales. La religión cambió con las revoluciones Agrícola e Industrial. Las religiones occidentales consideraron que el ser humano tenía un carácter único que le

dotaba de autoridad sobre la naturaleza, además de hacerle responsable de su integridad. La reverencia hacia la naturaleza disminuyó en la medida en que las sociedades occidentales alcanzaron un mayor dominio, y la responsabilidad cedió su lugar a la explotación. El respeto por la naturaleza renació con la aparición de los problemas ambientales durante los años recientes.

PERCEPCIONES COMUNES DE LA NATURALEZA

En la naturaleza todo se encuentra conectado con todo

Los miembros de las sociedades tradicionales enfatizan el hecho de que en la naturaleza todo se encuentra conectado con todo. Creen que muchos eventos son consecuencia directa o indirecta de las actividades humanas, pero se encuentran más allá del entendimiento humano. Tratar a la naturaleza con un respeto cuidadoso para evitar consecuencias adversas es parte de su cultura. Esta percepción de la naturaleza es similar al concepto de la ecología humana de que las acciones del hombre generan cadenas de efectos que reverberan por los ecosistemas y los sistemas sociales. La principal diferencia entre la ecología humana y la percepción tradicional de que todo está interconectado radica en que las sociedades tradicionales no ponen atención en los detalles de las conexiones. Los ecólogos humanos son lo más explícito posible acerca de estos detalles, de modo que las personas puedan entender mejor y predecir las consecuencias de sus actos.

La naturaleza es benigna y perversa (el principio 'sirve/no sirveo')

Benigna significa que es 'bondadosa', o 'que genera bienestar'. Perversa significa lo contrario. Esta percepción de la naturaleza establece que la naturaleza es benigna (esto es, que proporciona los servicios que deseamos) en tanto que la gente no modifique radicalmente los ecosistemas a partir de su condición natural (Figura 9.2). En otras palabras, el ecosistema nos sirve. No obstante, la naturaleza puede ser perversa (esto es, no proporcionar los servicios que necesitamos) si la gente modifica el estado de los ecosistemas a tal grado que resulten incapaces de funcionar adecuadamente. El ecosistema

cambia a una forma que no proporciona los servicios tan bien como antes. En otras palabras, el ecosistema no nos sirve. Este percepción de la naturaleza es la misma que la de un interruptor que cambia de "sirve" a "no sirve" debido a la sucesión inducida por el hombre (véase el Capítulo 6). El amplio espectro de la perspectiva benigna/perversa y su confirmación por la observación científica hacen que resulte particularmente relevante para la ecología humana.

Las siguientes tres perspectivas son casos especiales comunes de la perspectiva benigna/perversa. Cada una de ellas está incompleta porque enfatiza solamente un aspecto de la realidad más amplia captada por la de benigna/perversa.

La naturaleza es frágil

Este punto de vista considera que la naturaleza tiene un delicado balance que se vendrá abajo si el ser humano modifica las condiciones naturales de los ecosistemas. Enfatiza el elemento 'no sirve' de la respuesta 'sirve/no sirve' de los ecosistemas ante las acciones humanas. Esta perspectiva sostiene que aún las desviaciones pequeñas de las condiciones naturales pueden llevar a consecuencias desastrosas e irreversibles para los ecosistemas. Cambiar el **estado del ecosistema**, así sea un poco, puede conducirlo a otro dominio de estabilidad (ver Figura 9.2). Por supuesto, 'frágil' no implica que el ecosistema desaparezca. Todo lugar tiene y tendrá siempre un ecosistema. Frágil significa que es fácil cambiar de un tipo de comunidad biológica a otro.

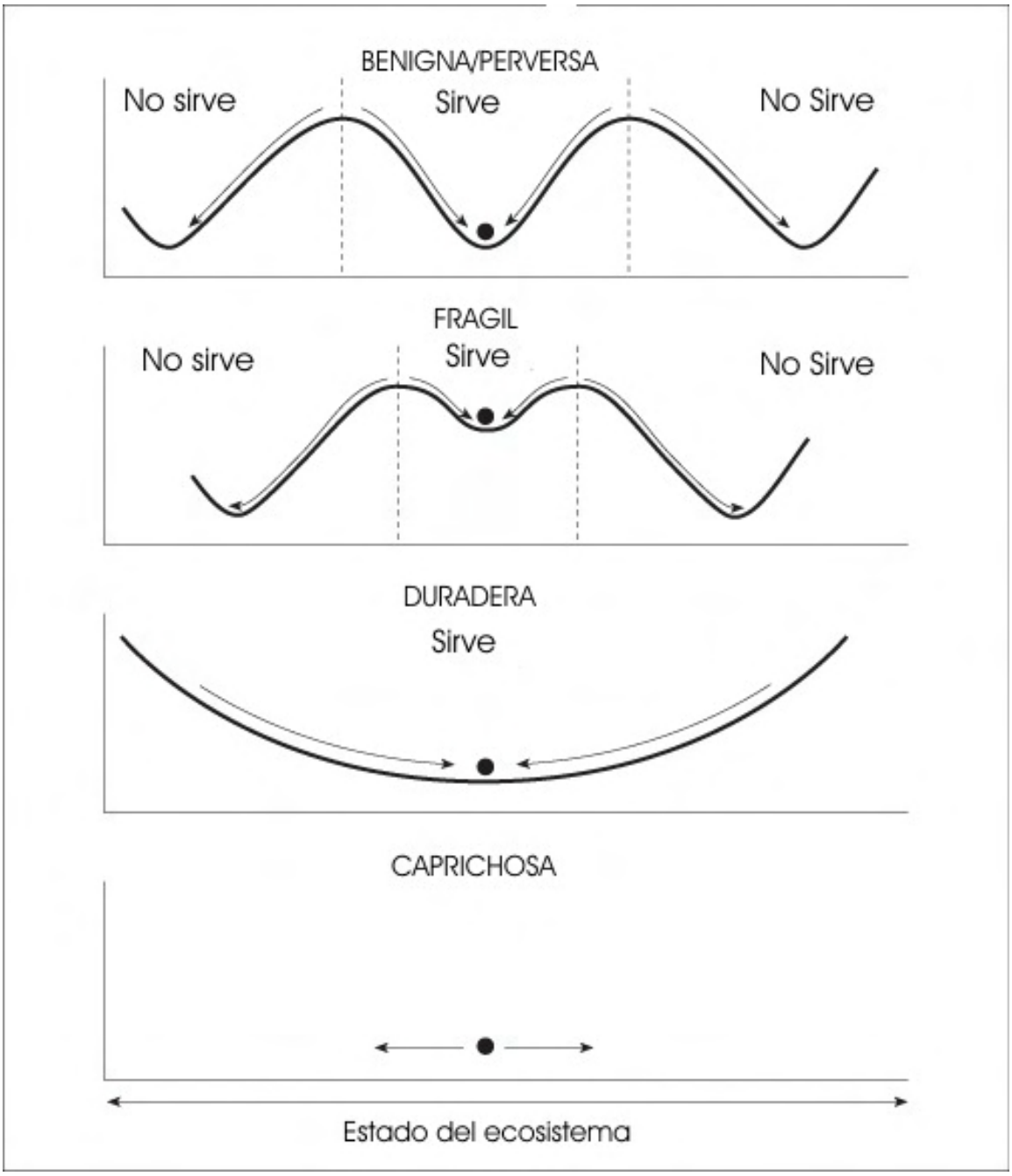


Figura 9.2 Diagramas de dominios de estabilidad según distintas percepciones de la naturaleza.

La naturaleza es duradera

Esta percepción de la naturaleza es opuesta al punto de vista que la juzga 'frágil'. Ha sido una parte común de la cosmovisión de la sociedad occidental desde la Revolución

Industrial. Se centra en el elemento 'sirve' de la respuesta 'sirve/no sirve' de los ecosistemas ante las acciones humanas (Figura 9.2). Este punto de vista sostiene que las personas pueden utilizar y moldear la naturaleza como deseen. La naturaleza puede satisfacer cualquier demanda que se le haga, en tanto la gente utilice la ciencia y tecnología adecuadas para extraer de la naturaleza los beneficios que ofrece. Si las actividades humanas dañan los ecosistemas, la ciencia, la tecnología y otros insumos de origen humano pueden reparar el daño o proporcionar alternativas viables a los procesos naturales de los ecosistemas. No importa que le hagan las personas a los ecosistemas, habrá fuerzas naturales y sociales que eviten que los ecosistemas se dañen tan severamente que se colapsen. Las personas que tienen esta visión de la naturaleza pueden creer que la oferta y demanda económicas protegen a los ecosistemas de la sobreexplotación (véase el Capítulo 8).

La naturaleza es caprichosa

Caprichosa significa 'impredecible'. Esta perspectiva enfatiza el elemento aleatorio en los ecosistemas. Muchas personas, como los campesinos y los pescadores, que dependen directamente de la naturaleza para vivir, la experimentan como extremadamente variable e impredecible. Durante algunos años el clima es propicio para las cosechas; pero en otros es duro y daña los cultivos. Los perjuicios ocasionados por insectos son severos en un año pero no lo son en otros. Durante algunos años hay una abundante disponibilidad de peces; pero en otros no. Quienes ven la naturaleza como caprichosa no comprenden por qué algunas veces es benigna y otras perversa. Debido a que los impactos de sus actividades pueden extenderse a través de largas e imperceptibles cadenas de efectos por el ecosistema, ven pocas relaciones entre lo que hacen y los resultados inevitables. Esta percepción de la naturaleza supone que no hay fuerzas naturales poderosas que mantengan los ecosistemas en un estado determinado. El estado del ecosistema (el círculo de la Figura 9.2) es simplemente empujado por el 'destino' de un lado a otro en la medida en que la naturaleza actúa al azar.

ACTITUDES DE LAS RELIGIONES ANTE LA NATURALEZA

La religión es una forma en que las sociedades utilizan el saber acumulado durante generaciones para organizar sus valores, percepciones y conductas. Puede jugar un papel central en la percepción de una sociedad de la relación que tienen los individuos entre sí y con la naturaleza. Las religiones aportan un sentido de reverencia y respeto por las cosas más grandes que nosotros. Las creencias religiosas son una fuente de significado; nos dicen qué es importante en nuestra vida. Las religiones ofrecen códigos morales – lineamientos acerca del bien y el mal y reglas de conducta – que resultan particularmente efectivos porque se encuentran reforzados por creencias emocionalmente atractivas, símbolos y rituales. La importancia de estos códigos morales para la interacción de los hombres con el medio ambiente radica en el balance que promuevan, no solamente entre los deseos de cada individuo y las necesidades de los demás, sino también entre los deseos a corto plazo y las consideraciones a largo plazo, como la preocupación por las generaciones futuras.

Religiones diferentes pueden tener percepciones significativamente distintas acerca de las relaciones de los seres humanos con la naturaleza y códigos morales significativamente diferentes para conducir la relación de los seres humanos con el medio ambiente. Las siguientes descripciones exploran las actitudes de importantes religiones ante la naturaleza, sin pretender una explicación completa de cada religión. Mientras que resulta difícil generalizar acerca de las religiones porque son complejas, diversas y altamente variables en el tiempo, las comparaciones pueden ilustrar como las personas y las culturas tienen distintas percepciones acerca del medio ambiente.

Religiones del espíritu (animismo)

Antes del desarrollo de la ciencia moderna, las personas explicaban la naturaleza a través de la presencia de espíritus. Los espíritus son seres invisibles que ejercen poder sobre el clima, las enfermedades y otros fenómenos naturales significativos para el ser humano. Los espíritus se diferencian de la ciencia moderna porque tienen personalidades parecidas a las de los hombres, mientras que las explicaciones científicas de los fenómenos naturales son objetivas y técnicas. No obstante, las explicaciones científicas son sorprendentemente

parecidas de muchas maneras a los espíritus. Mientras que la ciencia ha hecho que el funcionamiento de la naturaleza resulte más 'visible' (por ejemplo, las bacterias y virus causantes de enfermedades, y el papel del ADN en la genética y en la producción de proteínas en el organismo), muchos de los conceptos de la ciencia moderna son todavía tan invisibles como los espíritus. Los conceptos teóricos invisibles, como el campo de gravedad, el campo electromagnético y las partículas subatómicas, tienen asombrosos poderes de predicción; pero los científicos no saben lo que son realmente, o porqué funcionan cómo lo hacen.

Originalmente, los espíritus eran una parte importante de todas las religiones. La creencia en los espíritus continuó siendo común en todas las sociedades, sin importar su religión, hasta que fueron substituidos por la ciencia moderna. Las religiones de muchas sociedades tribales todavía se encuentran basadas en los espíritus, y las religiones espiritistas (como la Shinto, de Japón) todavía son importantes en algunas sociedades modernas.

Algunos espíritus son las almas de los ancestros muertos, que permanecen en los hogares de sus descendientes. Otros son dioses responsables de diversos elementos de la naturaleza. Los espíritus generalmente habitan los cuerpos de plantas, animales y estructuras geográficas conspicuas como grandes peñascos, colinas, montañas o lagos. Muchas religiones espiritistas cuentan con dos espíritus especialmente poderosos: el Creador del Universo (que también puede ser nombrado Gran Espíritu, Gran Misterio, o Dador de Vida) y el Espíritu que Controla la Tierra (también llamado Madre Tierra). Cualquier planta, animal o lugar habitado por un espíritu es sagrado y merecedor de gran reverencia y respeto. Frecuentemente se consideran sagrados lugares específicos porque fueron parte de la historia mitológica. Es común que quienes creen en espíritus tengan arboledas sagradas, tales como ecosistemas naturales de bosque que a nadie se permite perturbar. Las arboledas sagradas cumplen con el propósito práctico de mantener los ecosistemas naturales y la diversidad de especies en paisajes que, de otra manera, la gente ha modificado para formar ecosistemas agrícolas o urbanos.

Los espíritus son más que explicaciones primitivas de los fenómenos naturales. Funcionan como contactos para que las personas mantengan relaciones armoniosas con la naturaleza. Son como 'señores' invisibles que tienen el poder de ayudar a la gente; pero si se les disgusta, también pueden dañarla. Para quienes creen en espíritus es importante respetarlos y mantenerlos contentos. Quienes creen en espíritus se esfuerzan por llevar sus vidas cotidianas – las formas en que cazan y recolectan comida, trabajan sus tierras y mantienen sus hogares – de manera que satisfaga a los espíritus. Quienes creen en espíritus hacen frecuentes ofrendas rituales para satisfacerlos (frecuentemente en forma de una pequeña cantidad de comida preparada de una manera cuidadosamente prescrita). Muchos creyentes no piensan que esto sea una religión. Para ellos, se trata simplemente de su forma de vida.

Los detalles de las religiones espiritistas varían de una cultura a otra. Por ejemplo, los aborígenes australianos son cazadores y recolectores nómadas con territorios bien definidos y un fuerte arraigo emocional y espiritual a la tierra donde habitan. Su tierra tiene una historia, que comenzó durante el 'Tiempo del Sueño' hace muchos años, cuando sus ancestros espirituales le dieron la forma que tiene actualmente y crearon todos los seres vivos, incluyendo a los humanos. Los humanos tienen un fuerte parentesco con todos los demás seres vivos, porque ellos, las plantas y los animales provienen todos de los mismos ancestros. Los aborígenes creen que esta historia continúa hoy día, y que toda persona es parte de ella. Los ancestros continúan existiendo como espíritus en las colinas, peñas, plantas, animales y personas, y la fuerza y creatividad que estos espíritus brindan a la tierra son responsables de la permanencia de su fertilidad. Para los aborígenes es importante aprender la historia de su tierra – y las maneras en que ellos son parte de esa historia – para poder vivir sus vidas de acuerdo con ella. Los aborígenes creen tener la responsabilidad de contribuir a este proceso creativo practicando rituales y haciendo ofrendas para ayudar a mantener a los espíritus ancestrales en la tierra. Se ven a sí mismos como una parte íntegra de la tierra, mientras continúan recreándola en su vida diaria.

La religión tradicional de los indígenas de Norteamérica también incluye la creencia de que las formaciones de la tierra, las plantas y los animales tienen espíritus. Todos los

seres vivos son habitantes de la Tierra, iguales entre sí. El mundo entero y todo lo que se encuentra en él es sagrado, merecedor de profunda reverencia y respeto. Los animales tienen conciencia, sentimientos y personalidades como los seres humanos. Al llegar a la edad adulta, un indígena norteamericano elige un espíritu guardián asociado con un animal determinado. Este espíritu le sirve como un guía personal a lo largo de toda la vida. Lo más importante para los indígenas de Norteamérica es la armonía y el balance en su relación con la naturaleza. Los animales 'se ofrecen' a los cazadores solamente si estos les muestran el respeto apropiado. Cuando las personas toman algo de la naturaleza, deben devolverle también algo. Las plantas y animales continuarán proporcionando alimento, ropa y cobijo para el ser humano solamente si éste les agradece mediante el ritual apropiado. Las oraciones y los obsequios a los espíritus son una parte normal de la vida diaria. Cuando están recolectando plantas o cazando animales, los indígenas norteamericanos les agradecen por 'ofrecerse' y se disculpan por tomar sus vidas. Consideran importante mostrar respeto hacia la naturaleza evitando el desperdicio. Matan o cosechan solamente lo que se requiere, utilizan cada parte que ofrezca un uso posible de cada planta o animal, y disponen de las porciones no utilizadas de una manera ritualmente respetuosa. La carencia de respeto puede ocasionar desgracias. No sólo retendrán sus beneficios las plantas y los animales, sino que los espíritus de animales que se ofendan por el tratamiento carente de respeto pueden provocar enfermedades o accidentes a los seres humanos.

Los Ainu son cazadores-recolectores del norte de Japón. Mientras que consideran que los dioses y los seres humanos son diferentes en muchas cosas, los perciben similares en poderes y habilidades. Los dioses pueden proporcionar a los humanos lo que éstos desean, y viceversa. Los dioses viven en su propio mundo, pero visitan frecuentemente el mundo de los humanos en forma de animales. La razón de sus visitas es comerciar con los hombres. Cuando un hombre mata un animal, hay un dios en el cuerpo de este último. El dios otorga al hombre el cuerpo del animal, y vuelve a su propio mundo. A cambio del cuerpo del animal, los Ainu dan a los dioses vino y maderos bellamente labrados en ceremonias que pueden durar varios días.

Religiones orientales

Las principales religiones orientales, como el hinduismo, el budismo y el taoísmo, son similares a las religiones animistas porque los espíritus son parte de su cosmovisión. Las personas son parte de la naturaleza y no tienen un lugar privilegiado ante dios. Sin embargo, las principales religiones son diferentes de las animistas porque sus mitos y dogmas están preservados en forma escrita. Las religiones animistas son tradiciones orales cuyas costumbres e historias han pasado de una generación a otra de boca en boca.

El hinduismo es la religión de la India y de la Isla de Bali en Indonesia. El nombre que los hindúes dan a su religión es 'la eterna esencia de la vida'; no puede separarse de la vida cotidiana. Para los hindús, toda la vida sobre la tierra es divina porque es una manifestación de su dios, Vishnu. Vishnu forma parte de el todo. El universo es una persona consciente; todas las partes del universo (la Tierra, las plantas, los animales, los humanos) tienen conciencia; todo está interconectado. Todos los seres vivos tienen almas que son exactamente iguales a las de los hombres. Cuando los seres humanos mueren, sus almas pasan mediante la reencarnación a los cuerpos de plantas, animales, u otros seres humanos.

La 'ley moral de causa y efecto' del hinduismo, el karma, dice que todos los pensamientos, palabras y acciones de las personas afectan todo lo que existe en el mundo que les rodea y regresa a ejercer algún efecto sobre las personas. Lo que experimentamos en la actualidad es consecuencia de los pensamientos y acciones pasados; y las acciones y pensamientos presentes darán lugar a lo que experimentemos en el futuro. Los beneficios que las personas reciben del mundo son consecuencia de su conducta espiritual. La buena conducta espiritual consiste en no tomar más de lo que a uno corresponde y mostrar gratitud ofreciendo lo que se tiene. Los hindúes hacen ofrendas cotidianas a dios (tales como pequeñas cantidades de comida) para que la Tierra se vea satisfecha y continúe proporcionándoles lo que requieren.

La naturaleza es muy importante para la mitología hindú. Tienen muchas historias acerca de demonios (semidioses malignos) que dañaban la Tierra, por lo que Vishnu

tomaba la forma de algún animal con poderes sobrenaturales y acudía a la Tierra para salvarla. El más amado de los dioses hindúes es Krishna (otra forma de Vishnu), que vivía con sencillez, pastoreando vacas por el bosque. Los hindúes consideran que los árboles y los bosques son sagrados porque ofrecen una gran cantidad de cosas útiles para los dioses de su mitología (como sombra, frutos y un lugar apacible para meditar). Muchos animales son considerados como sagrados, particularmente las vacas, en virtud de su papel nutricio para el ser humano.

El budismo surgió a partir del hinduismo hace 2500 años. Muchas de las ideas budistas acerca de las relaciones entre el ser humano y la naturaleza son similares a las del hinduismo. Los seres humanos y la naturaleza son uno. Los pensamientos negativos conducen a acciones y consecuencias negativas. Aunque el budismo considera que el espíritu de Buda se encuentra en todas las cosas, no tiene un dios todopoderoso al que los budistas puedan recurrir para obtener favores, protección, o perdón. Las personas deben buscar en su interior las relaciones armoniosas con el resto del mundo. Los demonios no son enemigos externos, sino que son parte de nosotros mismos. Una idea filosófica central para el budismo es que la principal causa de la desgracia radica en desear cosas que no podemos obtener. Restringir el deseo es la clave de la felicidad. El uso de los recursos naturales debería estar limitado a la satisfacción de las necesidades básicas, como la alimentación, la vestimenta, el refugio y la medicina. Otra idea importante del budismo consiste en la reverencia, compasión y gentileza amorosa a todas las formas de vida. No se debiera matar animales, y las plantas sólo debieran cosecharse para enfrentar los requerimientos alimentarios esenciales.

Para las religiones chinas, el universo es armonioso y completo. No fue creado por un ser superior separado del universo mismo. El universo es como una gran criatura viviente. Todo contiene una energía vital, y todo cambia continuamente. Los contrarios (tales como el bien y el mal), que parecen estar en conflicto entre sí, son en realidad aspectos complementarios (yin-yang) de un universo diverso y siempre cambiante. Los espíritus son importantes para la religión china. Feng-shui es una religión animista del sur de China que proporciona a la gente lineamientos acerca de cómo utilizar la tierra. Las

actividades que dañan el paisaje están prohibidas porque lastiman u ofenden a los 'dragones' o a otros espíritus poderosos que viven en la tierra.

El taoísmo y el confucionismo son dos visiones diferentes de los mismos temas chinos. Tao ('el sendero') enfatiza que la naturaleza es misteriosa más allá de la comprensión. Lo mejor que puede hacer el ser humano es cambiarla lo menos posible, encajando en los ritmos y flujos naturales y utilizando la energía de la naturaleza en lugar de intentar dominarla o controlarla. El confucionismo enfatiza las relaciones sociales – la necesidad que tienen las personas de desarrollar y afinar sus responsabilidades mutuas. Para el confucionismo los seres humanos son hijos de la naturaleza; la actitud apropiada hacia ella es la piedad filial (respeto a los mayores). Dado que los seres humanos tienen una relación de 'hermano mayor' con las demás criaturas de la naturaleza, son responsables, como custodios de la naturaleza, de mantener su armonía. La cultura china ha sido una mezcla de taoísmo y confucionismo desde que estas religiones se originaron hace 2500 años. El taoísmo ha dominado durante algunos períodos de la historia de China, y el confucionismo en otros.

Religiones occidentales

La religión occidental comenzó en el Medio Oriente, con el judaísmo. En ese tiempo, la principal diferencia entre el judaísmo y las demás religiones era la creencia en un solo dios. Otras religiones tenían varios dioses – dioses que participaban en la creación del mundo y después seguían siendo responsables de varias partes de su funcionamiento. Para los judíos sólo había un dios, con quien tenían una fuerte conexión histórica porque él era el responsable de su existencia como pueblo. Los judíos creían que 'dios creó al hombre a su imagen y semejanza'. No se consideraban parte de la naturaleza, como los demás animales. Dios era obviamente distinto de los humanos en muchas cosas, pero éstos eran similares a dios (y superiores a los demás animales) dada su habilidad para razonar. El judaísmo creía que dios había creado un mundo maravilloso, ordenado y armonioso; pero rechazaba el culto a la naturaleza porque lo asociaba con la creencia en muchos dioses de otras religiones.

Aunque el dios judaico tenía un dominio total sobre la Tierra, el judaísmo creía que dios no estaba involucrado en los detalles cotidianos de lo que sucedía en el mundo. En cambio, dios eligió a los seres humanos como sus representantes para mantener su sabiduría (es decir, el orden natural) sobre la Tierra, mientras hacían uso de ella y la manejaban para satisfacer sus necesidades, y dios castigaba a quienes no le obedecían. Aunque los judíos consideraban que la naturaleza era sagrada porque era una creación de dios, su idea de manejar la Tierra para dios no consistía en dejarla en un estado completamente natural. La Revolución Agrícola dominó el cambio social en el Medio Oriente durante el origen del judaísmo. El riego y el cultivo de las primeras plantas domesticadas, como el trigo, la cebada, los guisantes (o chícharos) y las aceitunas, y el pastoreo de animales domésticos como las ovejas y las cabras, fueron fundamentales para las estrategias de supervivencia de las sociedades de Medio Oriente en un medio ambiente árido.

El *cristianismo* surgió del judaísmo y heredó sus actitudes hacia la naturaleza:

- Los seres humanos son superiores al resto de los animales.
- La naturaleza es sagrada porque dios la creó.
- Los seres humanos tienen la responsabilidad de conducirse como custodios de la Tierra para mantener el orden divino de la naturaleza.

La cristiandad primitiva también estaba influenciada por los antiguos griegos, que percibían la naturaleza como bella y armoniosa, operando en función de sus propias leyes, con su propia realidad y su propia capacidad de supervivencia. La percepción griega de la naturaleza era muy diferente de la del judaísmo, que la percibía como dependiente de dios.

Cristo valoraba una vida sencilla con un consumo material mínimo, un ideal que ha persistido hasta nuestros días en las tradiciones monásticas como las enseñanzas de los monjes benedictinos, que se empeñan en llevar una vida comunal sencilla ‘cerca de la Tierra’. Francisco de Asís, el más famoso de los santos cristianos que abrazaron la santidad de la naturaleza, veía toda la creación – los montes, el agua, las plantas, los animales y la Tierra misma – como amada por dios y amante de dios. Todas las criaturas vivientes eran sus hermanas espirituales y merecían la misma bondad amorosa que Cristo promovía para

la hermandad del Hombre. Sin embargo, la honda preocupación por la naturaleza expresada por San Francisco de Asís no era parte de las principales corrientes del cristianismo. El cristianismo siempre ha enfatizado la relación de los seres humanos entre sí y con dios – no la relación de los humanos o de dios con la naturaleza. Para el cristianismo, sólo los seres humanos tienen alma.

La antigua creencia cristiana de que la naturaleza es sagrada empezó a decaer hace unos 400 años. A medida que la ciencia moderna aportaba nuevas explicaciones acerca del funcionamiento de la naturaleza, la sociedad occidental empezó a verla como una máquina creada por dios, pero apartada de dios, para que el ser humano la manipulara y usara según sus deseos. La reforma protestante condujo a un distanciamiento aún mayor de las actitudes de los primeros cristianos hacia la naturaleza. El extremo se expresó en el calvinismo, que ejerció una importante influencia sobre la cultura europea y norteamericana durante los últimos 300 años, e incluyó la creencia de que las personas elegidas por dios para la salvación y la vida eterna eran recompensadas con riquezas materiales durante su vida en la Tierra. La riqueza adquirió un valor espiritual positivo, aún si era adquirida a través de la explotación destructiva de la naturaleza. Los europeos que colonizaron América y explotaron la tierra para obtener riquezas materiales podían racionalizar el despojo a los indígenas americanos de su tierra porque estos no estaban 'usando' la tierra para generar riquezas, de acuerdo con las intenciones de dios.

Con la aparición de la crisis ambiental en años recientes, muchos cristianos están regresando a los antiguos valores del cristianismo para orientar las relaciones que los seres humanos deberían tener con la naturaleza. Una vez más consideran que ésta es sagrada porque es la creación de dios y una manifestación de dios en la Tierra. Actualmente, muchos cristianos reconocen el parentesco espiritual de los humanos con el resto de los seres vivos. El Consejo Mundial de Iglesias promueve la preservación y restauración del medio ambiente natural, respaldando políticas que reconocen las responsabilidades humanas, no sólo hacia otros seres humanos, sino también hacia todas las criaturas y la totalidad de la creación.

Cuando fue fundado por el profeta Mahoma, hace unos 1300 años, Islam fue poderosamente influenciado por el judaísmo y el cristianismo. El Islam cree que un dios benevolente y compasivo creó un mundo ordenado. La naturaleza es sagrada porque fue creada por dios, y la voluntad de dios se encuentra presente en cada detalle. Lo mismo que en el judaísmo, dios otorgó a los seres humanos el privilegio de usar todas sus creaciones sobre la Tierra, y la responsabilidad de cuidar de ellas. El *Corán* contiene instrucciones detalladas de dios acerca de cómo los seres humanos deben hacer todo esto, instrucciones que después fueron elaboradas para construir la ley islámica, que se supone que todo musulmán debe seguir. El mensaje principal de la ley islámica acerca de las relaciones entre los seres humanos y el medio ambiente es que los hombres no deben usar más de lo que necesitan, y no deben desperdiciar lo que utilizan. La tierra para el pastoreo o para la recolección de leña debería estar sujeta a la propiedad en común, para el uso de todos los miembros de la comunidad, y el agua para riego debería ser compartida por todos. Se puede matar un animal silvestre solamente si se le requiere como alimento, o si amenaza las cosechas o el ganado, y cuando se cortan árboles, deberían ser repuestos plantando más árboles. Sin embargo, lo mismo que en el caso del cristianismo, la naturaleza nunca ha sido una preocupación central para el Islam, que considera que la vida después de la muerte y la relación de cada individuo con dios son más importantes que el mundo material y la vida pasajera de los seres humanos sobre la Tierra.

Actitudes contemporáneas hacia la naturaleza

Aunque muchas personas de naciones industrializadas en la actualidad no se consideran religiosas, en el sentido de participar de una religión organizada, todos, de hecho, tenemos creencias acerca de los mismos temas de los de que se ocupan las religiones organizadas, y todos participamos de ritos sociales para reafirmar esas creencias. La auto-actualización, el materialismo, y una cosmovisión coherente asociada con el capitalismo, la libre empresa, el crecimiento económico y la economía global se han convertido en componentes importantes de nuestra visión del mundo. Comprar se ha vuelto un ritual importante. Los grandes sacerdotes son los asesores económicos, los ejecutivos de las compañías multinacionales, y las celebridades de los espectáculos. Estos

acontecimientos en nuestra cosmovisión moderna tienen consecuencias de largo alcance para la interacción de los seres humanos con el medio ambiente. La demanda de bienes de consumo, y la demanda consecuente de servicios ambientales, son impulsadas por una necesidad de consumo socialmente definida, que se extiende mucho más allá de lo requerido para llevar una vida digna.

Por otra parte, un número creciente de personas siente una fuerte conexión espiritual con el mundo natural, independientemente de su participación en alguna religión organizada. Hay quienes han invertido su energía espiritual en movimientos políticos verdes. Algunos occidentales han sido atraídos hacia la exploración de las religiones orientales, la espiritualidad de los indígenas americanos, u otras religiones que ponen una atención conspicua en el respeto hacia la naturaleza. El movimiento 'New Age' también ha proporcionado una salida para quienes desean enfatizar su conexión espiritual con la naturaleza.

NOTAS PRECAUTORIAS ACERCA DE LA ROMANTIZACIÓN DE LA NATURALEZA Y LOS SISTEMAS SOCIALES TRADICIONALES

El sustento de los seres humanos depende totalmente de la naturaleza. Hay buenas razones para ser sensible ante el funcionamiento de la naturaleza y luchar por aquellas actividades humanas que resultan compatibles con la naturaleza. Es sensato trabajar con la naturaleza, y dejarla trabajar con nosotros, en lugar de luchar contra ella. Sin embargo, esto no significa que todo lo completamente natural sea bueno para los seres humanos. La naturaleza no está diseñada para proporcionar privilegios especiales para la especie humana. Para los seres humanos siempre ha sido útil modificar los ecosistemas de manera que funcionen para satisfacer las necesidades humanas.

De manera similar, debemos ser cuidadosos y evitar una visión romántica de la tradición. La interacción de las sociedades tradicionales con su medio ambiente frecuentemente resulta más sustentable que la interacción de la sociedad moderna porque muchos sistemas tradicionales han coevolucionado con sus ecosistemas durante siglos. Se

encuentran coadaptadas. La sociedad moderna puede beneficiarse de la sabiduría tradicional, pero debiéramos apreciar a las sociedades tradicionales por lo que realmente son, y no por lo que quisiéramos que fueran. No todas las sociedades tradicionales tienen relaciones saludables con el medio ambiente, ni las han tenido siempre en el pasado. Si las tienen, es por razones que van más allá de conceptos románticos tales como la armonía con la naturaleza. Se debe a razones prácticas relacionadas con la dependencia con sus sistemas ambientales de sustento – los paisajes y las comunidades biológicas que proporcionan los recursos materiales esenciales, tales como alimentos y refugio, además de recursos emocionales tales como la belleza.

Las prácticas tradicionales no siempre son mejores. Las instituciones sociales y la tecnología de las sociedades tradicionales son productos de las condiciones ambientales en que esas sociedades evolucionaron. Pueden ser apropiadas para las circunstancias modernas, o no. El reto de la sociedad moderna es percibir e interactuar con los ecosistemas de manera que no sólo satisfagan nuestras necesidades, sino que lo haga en forma sustentable. No hay recetas fáciles para el desarrollo sustentable en el mundo rápidamente cambiante de la actualidad.

PUNTOS DE REFLEXION

1. ¿Cuál era su percepción de la naturaleza antes de comenzar a leer este libro? Si ha cambiado, ¿por qué piensa que lo ha hecho? Recuerde que en este contexto la naturaleza tiene un amplio significado. Se refiere a la totalidad del mundo biofísico, incluyendo los ecosistemas naturales, agrícolas y urbanos. También tenga en mente que puede tener más de una percepción de la naturaleza. Podría ser una combinación de dos o tras visiones diferentes.
2. Los temas ambientales pueden resultar muy polémicos. No es extraño que personas diferentes tengan opiniones radicalmente distintas. Piense en algunos temas que hayan recibido una considerable atención pública. ¿En qué forma parece que la polémica proviene de percepciones distintas de la naturaleza?

3. Narre una ‘historia’ acerca de la relación de su nación con la naturaleza. Puede ser un relato histórico que explique cómo evolucionó desde el pasado la relación actual con la naturaleza, o la historia puede tomar alguna otra forma, como la de un cuento tradicional folclórico.
4. ¿Cuáles son actualmente los principales sistemas de creencias en su sociedad? Pueden incluir algunas de las principales religiones, pero también pueden incluir sistemas de creencias que no forman parte de las religiones establecidas. Sea específico acerca de lo que esas creencias tienen que decir en torno a las siguientes interrogantes:
    - ¿Quién soy?
    - ¿Cuál es el significado de mi vida?
    - ¿Cuál es mi relación con las demás personas, y con el resto del mundo?
    - ¿Qué respeto? ¿Qué es importante?
    - ¿Qué es bueno? ¿Qué es correcto?
    - ¿Qué debo hacer? ¿Cómo sé qué debo hacer?
    - ¿Qué tipo de relación deberían tener los seres humanos con la naturaleza?
    - ¿Cuáles son las creencias compartidas por los miembros de su sociedad? ¿Los diferentes miembros de su sociedad tienen creencias fundamentalmente distintas? ¿Las creencias que usted tiene varían con relación a las que prevalecen en su sociedad? Piense acerca del origen de las creencias de su sociedad. ¿Cómo es que las personas las adquieren? ¿Quiénes son los ‘sacerdotes’ que interpretan y diseminan las creencias?

CAPITULO 10
Interacciones no sustentables entre Humanos y Ecosistemas.

Las experiencias previas, así como actuales, de interrelaciones entre las personas y los ecosistemas pueden enseñarnos cómo evitar cometer errores. Los problemas ambientales no son del todo nuevos. Aunque la mayoría de las sociedades del pasado convivieron en armonía con el medio ambiente, ha habido ocasiones en que sociedades en particular presentaron interacciones **insostenibles** con el medio ambiente. Considerando las consecuencias, es natural preguntarnos: "¿Cómo pudieron nuestros antepasados cometer errores tan serios, y porque la sociedad moderna continúa repitiendo esos errores hoy en día?

En general, podemos considerar que la interrelación entre las personas y los ecosistemas es sustentable cuando el sistema social y el ecosistema se han coadaptado. De igual manera, la sustentabilidad de la interrelación es menor cuando la coadaptación es débil. Los cambios bruscos, tanto en el sistema social como en el ecosistema, pueden trastornar la coadaptación, desencadenando una serie de efectos que reducen la habilidad del ecosistema de proveer servicios esenciales. Este capítulo ilustrará cómo la coadaptación puede perderse debido a migraciones de poblaciones a sitios nuevos con ecosistemas distintos- ecosistemas con los que carecen experiencia previa. También mostrará cómo la coadaptación puede decaer tras cambios sociales bruscos, como los debidos a nuevas tecnologías.

Después este capíitulo abordará las fuerzas sociales que impiden la sustentabilidad en las interrelaciones entre los sistemas sociales modernos y los ecosistemas. Los problemas fundamentales en las interrelaciones entre humanos y ecosistemas es la expansión de la población humana y de su economía, cuyas demandas sobre los ecosistemas son excesivas. Este capítulo describirá cómo las instituciones económicas modernas motivan al individuo a hacer uso de los recursos de los ecosistemas de manera no sustentable. Examinará el papel de la urbanización, la cual erosiona la coadaptación entre los sistemas sociales y ecosistemas, al enajenarse la población urbana de su sistema de apoyo ambiental. El ascenso y caída de civilizaciones previas nos brinda lecciones sobre

la urbanización y el desarrollo económico que actualmente proceden a nivel global. Este capítulo demostrará cómo la agresiva explotación comercial de recursos naturales puede llevarnos a idealizar la intensidad de explotación que puede soportar un ecosistema. Terminará ofreciendo el principio precautorio como una manera prudente de garantizar el uso sustentable de los recursos naturales ante la incertidumbre sobre la merma de recursos que puede aguantar un ecosistema.

MIGRACIONES HUMANAS

Las interrelaciones insostenibles entre personas y ecosistemas frecuentemente se asocian con migraciones humanas. Cuando gente llega a un nuevo lugar donde el ecosistema es distinto, típicamente tienen un conocimiento muy limitado del nuevo ecosistema y por tanto carecen de las **instituciones sociales** y tecnologías necesarias para tener una interrelación sustentable. Aparentemente esto fue lo que sucedió cuando los primeros habitantes de las Américas arribaron desde Asia hace aproximadamente 13,000 años. Al llegar estas personas, Norte América tenía numerosas especies de grandes mamíferos similares a la impresionante fauna de la actual África Oriental. La mayoría de estos grandes mamíferos desaparecieron dentro de pocos siglos de haber llegado los humanos, posiblemente debido a la caza excesiva. No sabemos con seguridad si los Nativos Americanos fueron los responsables, pero es muy probable que lo sean. Muchas especies de grandes animales también desaparecieron de Europa y Australia poco después del arribo de los humanos a esos continentes.

Durante los siglos subsiguientes, los sistemas sociales de los indígenas Americanos coevolucionaron junto con sus ecosistemas hasta que los sistemas sociales y ecosistemas lograron coadaptarse. Mientras que las culturas de distintas tribus Americanas, así como los detalles de sus relaciones con el medio ambiente, eran diversas, tenían en común algunas instituciones sociales para garantizar la interrelación sustentable con el ecosistema. El territorio tribal era importante para definir la propiedad común de los recursos, tales como el venado y otros animales cazados sustentablemente por los nativos Americanos.

La coadaptación no implica que los indígenas Americanos dejaron su ambiente en un estado completamente natural. De hecho, modificaron sus ecosistemas de varias

maneras. Utilizaron el fuego para crear parcelas en las primeras etapas de la sucesión ambiental, como las praderas, en partes de Norteamérica que eran primordialmente bosque clímax. Con una diversa mezcla de distintas etapas de sucesión ecológica crearon un mosaico territorial más favorable a la caza y un mayor número de "servicios" ambientales que los obtenidos de un solo tipo de ecosistema.

La Gran Planicie de Norteamérica tenía tierras profundas y fértiles, con densos y altos pastos perennes que eran el sustento de las enormes manadas de bisonte. Estos pastos perennes eran una mezcla de especies nativas, un policultivo natural adaptado a las condiciones ventosas de la Gran Planicie. Al ser perennes, los pastos cubrían la tierra por completo durante todo el año, protegiéndolo de la erosión (Véase la Figura 10.1) Los nativos Americanos se adaptaron al ecosistema de la Gran Planicie al utilizar al bisonte como su recurso primordial (Véase la Figura 10.2ª). Dado que su religión enfatizaba un respeto por la naturaleza, la fauna silvestre solo podía ser cazada para alimentación o para cubrir alguna otra necesidad básica. Utilizaban casi la totalidad del cuerpo del animal para surtirse de alimento, ropa y materiales de construcción para su vivienda.

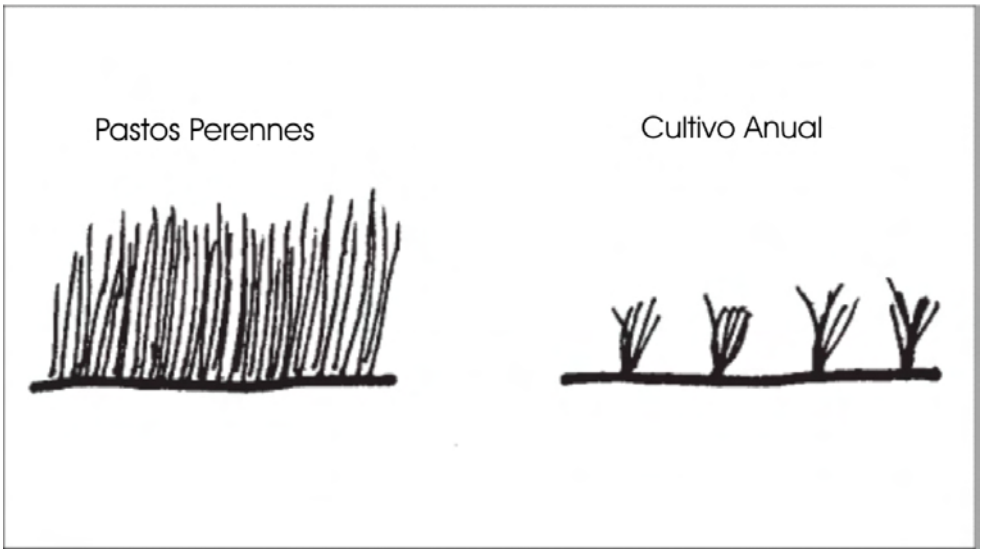


Figura 10.1 – Comparación del ecosistema de la Gran Planicie (pastos perenes) con cultivos anuales sembrados por los Europeos.

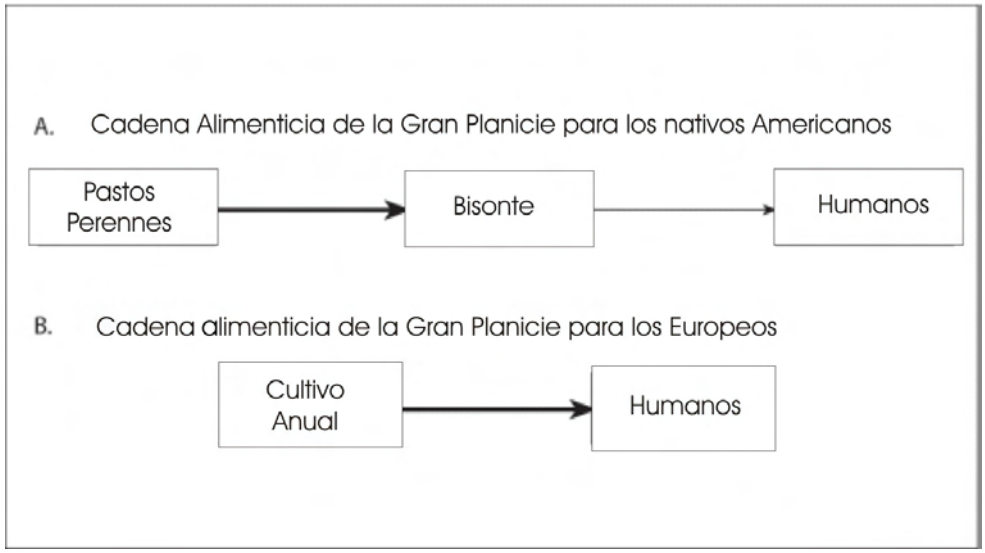


Figura 10.2 – Cadena alimenticia para la gente de la Gran Planicie antes y después de la invasión Europea de Norteamérica.

Cuando los europeos invadieron Norteamérica hace aproximadamente 300 años, explotaron los recursos de Norteamérica de manera insostenible por no tener los valores, conocimientos, tecnología y demás instituciones sociales indicados para una interrelación sustentable con el medio ambiente de Norte América. Percibieron como ilimitados los vastos recursos del continente, considerando la transformación de ecosistemas naturales en ecosistemas agrícolas y urbanos de diseño Europeo como progreso inequívoco. Consideraron el sistema social de los nativos Americanos como una etapa primitiva de la evolución social humana, inadecuada a los tiempos modernos. Muchos europeos creían que los nativos eran una raza inferior destinada a la extinción.

Cuando los inmigrantes Europeos llegaron a la Gran Planicie, vieron al bisonte como una fuente de dinero. Cazadores profesionales mataron a millones de bisontes, vendiendo sus pieles al mercado internacional. En tan sólo 20 años la población de 60 millones de bisontes fue reducida a la insignificancia. Los nativos Americanos de la Planicie sufrieron de hambruna y desesperación cuando el bisonte – su base alimenticia – fue destruido y su tierra fue ocupada y cultivada por numerosos europeos. Los indígenas respondieron con guerras, pero perdieron la guerra y la tierra, siendo reducidos a una existencia marginal.

Los agricultores Europeos que reemplazaron a los indígenas de la Gran Planicie sembraron **monocultivos** de trigo, maíz y otros **cultivos anuales** (Véase la Figura 10.2b). Estos cultivos formaron una cadena alimenticia más corta que la de los pastos y bisontes, por lo que los agricultores fueron capaces de capturar un mayor porcentaje de la producción biológica de la Gran Planicie en relación a la contraparte obtenida por el indígena del bisonte. Sin embargo, en contraste con la vegetación natural de la Gran Planicie, estos cultivos no estaban adaptados para proteger la tierra de la erosión eólica. Los cultivos anuales son plantas alimenticias que presentan una nueva generación cada año. No cubren la tierra por completo, como lo hacen los pastos perennes, y dado que los cultivos anuales solo cubren las parcelas durante parte del año, la tierra está desprotegida durante el resto del año (Véase la Figura 10.1). Este tipo de agricultura funcionaba bien en condiciones Europeas, donde la erosión del viento no es un problema tan serio, pero no podía proteger a la tierra de la erosión en las condiciones climáticas de la Gran Planicie. Consecuentemente desde que los europeos introdujeron la agricultura a la Gran Planicie, el viento se ha llevado a la mayoría de su mantillo. La tierra ha perdido su fertilidad y ahora solo es productiva con la aplicación de fertilizantes. La última entrada en la historia de la Gran Planicie nos llega de un pequeño número de científicos que laboran por desarrollar nuevos ecosistemas agrícolas basados en el **policultivo** de pastos perennes nativos que brinden granos en cantidades de utilidad comercial. Los ecosistemas agrícolas que imiten al ecosistema natural de la Gran Planicie deberían reducir la erosión al proteger mejor a la tierra.

Las migraciones siguen siendo de importancia mundial, ya que millones de personas salen de zonas sobrepobladas a zonas despobladas en busca de tierras. Los gobiernos frecuentemente promueven estas migraciones. Esta política es ecológicamente malsana cuando la migración es a zonas cuya capacidad de carga humana no puede ser ajustada rápidamente con tecnología moderna. Los inmigrantes frecuentemente dañan el medio ambiente, reduciendo su capacidad de carga no solo por sus números que los obligan a sobre-explotar los recursos locales, sino también debido a que su tradición cultural no les brinda una cosmovisión, valores, conocimientos, tecnologías e instituciones sociales necesarias para relacionarse con su nuevo medio ambiente.

En años recientes, millones de personas han migrado de las superpobladas tierras bajas de Asia hacia las regiones montañosas de menor población en países como Vietnam y las Filipinas. Previamente, relativamente pocas personas vivían en las montañas debido a que la capacidad de carga de las montañas es menor a la de los valles y planicies costeras con su tierra plana, profunda y fértil. Los montañeses cultivaron las empinadas tierras serranas durante siglos sin incurrir en daños ambientales porque sus métodos agrícolas estaban coadaptados al ecosistema montañés. La gente de las tierras bajas que llega a las montañas frecuentemente utiliza técnicas agrícolas que no son sustentables en las montañas porque su agricultura no están diseñada para proteger a las empinadas laderas de la erosión.

Algo similar ocurre con las migraciones humanas a las selvas tropicales. Millones de Brasileños han migrado al Amazonas, y millones de Indonesios se han mudado de la sobrepoblada isla de Java para cultivar otras islas, donde los exuberantes bosques han prosperado durante miles de años en algunas de las tierras más pobres del planeta. Los ecosistemas selváticos retienen la fertilidad de sus tierras con adaptaciones complejas que evitan la merma de los escasos nutrientes y minerales del ecosistema forestal. Hasta hace poco, los pobladores de los bosques lluviosos eran pocos y utilizaban el bosque de maneras que no interferían con la sustentabilidad del ecosistema, tales como la caza, recolección de frutos y la agricultura de tala y quema.

Actualmente un gran número de personas está talando los bosques lluviosos y reemplazando estos ecosistemas selváticos con granjas que son insostenibles en las tierras pobres de la selva. Sus ecosistemas agrícolas carecen de los complicados mecanismos que permiten a los ecosistemas selváticos y la agricultura tradicional retener la fertilidad de la tierra. Estos inadecuados ecosistemas agrícolas dejan de producir en pocos años. La parcela entonces puede usarse para ganadería, produciendo carne para exportación a países industrializados (el “efecto hamburguesa”). Eventualmente hasta los pastos dejan de crecer, o bien el forrajeo mismo induce una sucesión a pastos no aptos para el ganado, y la tierra es abandonada. Se trata de “desiertos tropicales” con tierras tan degradadas que tardan muchos años en volver a soportar la selva, o el uso humano. Los inmigrantes entonces vuelven a mudarse, buscando más bosque qué talar para cultivar tierras que aún

no han degradado. Con el tiempo, estos agricultores inmigrantes acabarán con la selva sin haber encontrado un lugar apropiado dónde establecerse.

La historia de las migraciones humanas nos demuestra que las interrelaciones entre las personas y los ecosistemas cambian a lo largo del tiempo. Los inmigrantes traen consigo un sistema social inadaptado al nuevo medio ambiente, pero con el tiempo tienen el potencial de reorganizar y ajustar sus sistemas sociales a estas nuevas condiciones. Los problemas de actividades insostenibles de inmigrantes se harán cada vez más frecuentes a la vez que más y más personas de países en desarrollo migran de zonas superpobladas a regiones de menor población, pero que también son las regiones menos indicadas para absorber una explosión demográfica. La lección más importante de estos ejemplos es que la gente puede aprender y adaptarse. Las políticas nacionales e internacionales para el desarrollo sustentable necesitan facilitar este proceso de aprendizaje por parte de los inmigrantes a manos de los lugareños que llevan generaciones viviendo en la misma región, para adaptarlos lo más pronto posible a su nuevo ambiente y minimizar el daño ambiental que puedan causar.

NUEVAS TECNOLOGIAS

Las personas comúnmente causan daños ambientales extensos al adoptar nuevas tecnologías. Desconocen las consecuencias ambientales de la nueva tecnología, y su sistema social carece de instituciones que faciliten el uso de la tecnología de manera ecológicamente sustentable. Por ejemplo, las sociedades que subsisten de la caza tradicional utilizan armas como lanzas, arco y flecha, o dardos venenosos, las cuales no son lo suficientemente efectivas para afectar las poblaciones de los animales de los cuales se alimentan. Por ello no había problema en cazar cuantos animales pudieran. Sin embargo, los mismos recursos pueden ser sobre explotados cuando se introduce una nueva tecnología, como las armas de fuego, y los cazadores continúan matando cuantos animales puedan. Los conocimientos del cazador pueden ser exhaustivos, pero su cultura no habrá desarrollado una ética de conservación si en tiempos pasados nunca hizo falta. Los pescadores en todo el mundo ahora usan redes de mono-filamentos de nylon, las cuales son mucho más eficaces que las redes tradicionales porque los peces no las pueden ver en el

agua. El resultado ha sido una severa sobrepesca y una decaída en las poblaciones de peces en muchas partes del mundo.

Los cambios de mercado pueden irrumpir el uso sustentable de los recursos naturales porque las nuevas oportunidades de mercado fomentan el uso de tecnologías productivas por parte de personas con poca experiencia en su uso. Por ejemplo, el crecimiento explosivo de las ciudades en los países en vías de desarrollo en años recientes ha facilitado la expansión del mercado para cultivos europeos, como son la col, fomentando la producción comercial a gran escala de estos cultivos en montañas donde previamente no eran cultivadas. Las laderas de cerros en los trópicos son muy susceptibles a la erosión. Si no son protegidas de la lluvia por plantas que cubren la tierra, las aguas pluviales pueden llevarse cientos de toneladas de tierra por hectárea cada año. Los ecosistemas agrícolas tradicionales han sido sustentables durante siglos porque utilizan cultivos que cubren la tierra y la protegen de la erosión. La mayoría de los cultivos europeos no cubren la tierra porque proceden de ecosistemas agrícolas europeos que evolucionaron bajo condiciones topográficas y climáticas muy distintas. Los cultivos europeos son sustentables en su lugar de origen, pero insostenibles en laderas tropicales donde las parcelas con estos cultivos pueden perder tanta tierra que la agricultura eventualmente se vuelve imposible.

CAPITAL PORTATIL EN UNA ECONOMIA DE MERCADO LIBRE

Las convenciones económicas comúnmente animan a la gente a utilizar recursos renovables de manera insostenible. Una manera común de utilizar bosques de manera sustentable es talar un pequeño porcentaje de los árboles cada año. Si se talan demasiados árboles, la población de árboles decaerá y eventualmente desaparecerá. El porcentaje de los árboles de un bosque que pueden ser talados de manera sustentable cada año depende de la tasa de crecimiento de los árboles. Si el árbol es de crecimiento rápido, el porcentaje a talarse será mayor. Una tasa de crecimiento típica para árboles de bosques templados es de 5 por ciento anual. Para usar estos bosques de manera sustentable es preciso no talar más del 5 por ciento de los árboles cada año.

Considere este caso hipotético. Tiene 10 hectáreas de bosque y dos opciones. Puede cortar el 5 por ciento de la madera de manera sustentable cada año. O puede cortar todos los

árboles lo más pronto posible, vender la madera e invertir el dinero en otra empresa. Si invierte su dinero en otra empresa, la ganancia será de 10 por ciento anual. Sin embargo, si corta todos los árboles, tardará 40 años en volver a haber árboles maduros que talar para obtener más madera. Cual opción le permite obtener más dinero a largo plazo:

- ¿Cosechar el bosque de manera sustentable?
- ¿Talar el bosque entero e invertir las ganancias en otra empresa?

La segunda opción brinda mayores ganancias a largo plazo. Este ejemplo demuestra el conflicto fundamental entre el afán de lucro y el uso sustentable de los recursos naturales. Nuestro sistema económico moderno influye dramáticamente sobre la manera en que utilizamos los recursos naturales renovables porque el capital es "portátil". El capital es portátil porque el dinero puede moverse fácilmente de una empresa a otra. Si las decisiones sobre el uso de los recursos naturales renovables se basan exclusivamente en las utilidades, aún utilidades a largo plazo, los recursos naturales renovables serán cosechados de manera sustentable únicamente si su tasa de crecimiento biológica es mayor a la tasa de crecimiento de inversiones alternativas. Dado que el crecimiento de la economía mundial hoy en día es mayor a la tasa de crecimiento de la mayoría de los recursos renovables, existen fuertes incentivos para utilizar los recursos de manera insostenible. Si aceptamos las reglas del juego en una economía de mercado libre, es lógico utilizar los recursos renovables de manera insostenible cada vez que la producción biológica no pueda competir con inversiones alternas.

LA TRAGEDIA DE LOS RECURSOS COMUNES

Los recursos comunes son aquellos compartidos por mucha gente. La atmósfera, océanos, ríos y lagos son bienes comunes que nos brindan recursos naturales y absorben la contaminación. Los bosques, tierras de forrajeo y aguas de irrigación también pueden considerarse recursos comunes. Muchos de estos recursos carecen de títulos de propiedad. Estos recursos comunes son de acceso abierto; pueden ser utilizados por cualquiera al grado que sea. Los recursos comunes de acceso abierto son vulnerables a la sobreexplotación, por no estar controlada la intensidad del uso que se les da.

A la sobreexplotación bajo estas condiciones se le conoce como la **Tragedia de los Recursos Comunes**. Lo ideal para el usuario individual no es lo ideal para todo el conjunto de usuarios. Por ejemplo, la atmósfera es un recurso contaminado por el escape de automóviles. La contaminación debida a un solo automóvil es negligente, pero la contaminación debida a todos los vehículos de una ciudad puede implicar importantes riesgos a la salud. El dióxido de carbono de las emisiones vehiculares contribuye al cambio climático que afecta tan drásticamente el ecosistema global.

La pesca excesiva demuestra cómo la Tragedia de los Recursos Comunes es consecuencia de las decisiones "racionales" por parte de usuarios individuales en su intento por maximizar su obtención del recurso. Lo mejor para la pesca sustentable es que todos los pescadores limiten el número de redes utilizadas a la cantidad óptima, como en la Figura 10.3 (punto A). Si se utilizan demasiadas redes la población de peces será reducida de tal manera que la captura de todos los pescadores será menor (punto B). La tragedia ocurre porque las redes de cada pescador individual son incapaces, por si solas, de afectar negativamente a la población de peces de manera notable. Cada pescador sabe que pescará más peces utilizando más redes, independientemente del número de redes utilizadas por los demás pescadores. Para un pescador individual, duplicar el número de redes implica duplicar los peces capturados (A2) porque las redes de un solo pescador no pueden capturar suficientes pescados como para afectar la población de peces. Sin embargo, si todos los pescadores utilizan más redes, acabarán captando pescados en cantidades que afectan negativamente la población de peces y la captura a largo plazo disminuirá (punto B). La Tragedia de los Recursos Comunes causa que los pescadores cada vez usen más y más redes hasta que la población de peces acaba por desaparecer, porque aún en condiciones de sobreexplotación, cada individuo pescará más al utilizar más redes que los demás. Un pescador que usa menos redes cuando todos los demás pescan en exceso, es castigado con una captura mucho menor (B1).

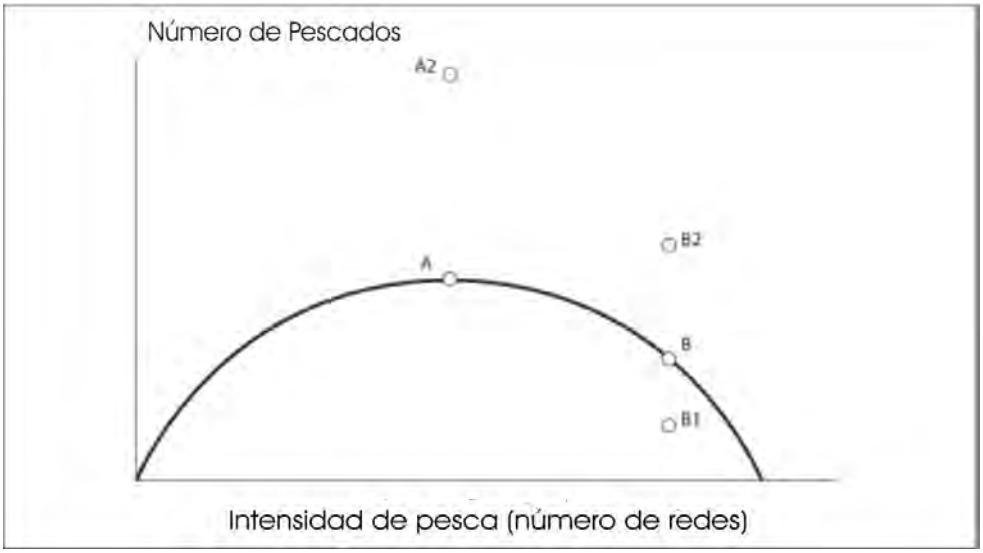


Figura 10.3 – La relación entre la captura de peces y la intensidad de pesca es un ejemplo de la Tragedia de los Recursos Comunes. **A** Todos los pescadores usan menos redes para obtener un rendimiento sustentable alto. **B** Todos los pescadores usan más redes. Todos pescan menos porque la pesca excesiva reduce la población de peces. **A2** Un pescador usa el doble de redes cuando los demás utilizan menos redes de manera sustentable. **B1** Un pescador usa menos redes cuando todos los demás pescan de más. **B2** Un pescador usa el doble de redes que los demás que también están pescando en exceso.

La Tragedia de los Recursos Comunes es lógica para los individuos, pero no para la sociedad. Evitar la Tragedia de los Recursos Comunes es casi imposible cuando existe acceso abierto a los recursos, pero puede ser evitado si el recurso es propiedad de algún individuo o comuna que regule quien lo explota y de qué manera. Esto se conoce como acceso cerrado. Los recursos de acceso cerrado también pueden ser sobreexplotados, pero esta sobreexplotación puede ser evitada si los propietarios tienen instituciones sociales, reglas de conducta comunitaria, que les den la autoridad para garantizar que todos utilicen el recurso de manera sustentable. El próximo capítulo definirá algunas instituciones sociales que pueden evitar la Tragedia de los Recursos Comunes.

GRANDES INSUMOS A ECOSISTEMAS AGRICOLAS Y URBANOS

La gente crea ecosistemas agrícolas y urbanos aportando materiales, energía e información para modificar la estructura de los ecosistemas para que estos funcionen de manera más acorde a las necesidades humanas. En el pasado, estos insumos de energía

provenían del trabajo del hombre y sus animales. Hoy en día, la mayor parte de esta energía proviene de combustibles fósiles.

Existe una relación importante entre los insumos al ecosistema y la sustentabilidad: los ecosistemas agrícolas y urbanos son menos sustentables a largo plazo si se requieren de grandes aportaciones antropogénicas para mantenerlo funcionando adecuadamente. Esto se debe a que es difícil garantizar estas grandes aportaciones de manera fiable a largo plazo.

La experiencia de las antiguas civilizaciones del Medio Oriente es un buen ejemplo. Las civilizaciones del Medio Oriente siempre han dependido de la irrigación para su agricultura debido a que el clima árido limita severamente la producción biológica natural. A lo largo de los ríos de Mesopotámia se desarrollaron ciudades como Babilonia porque las aguas de los ríos fueron utilizadas para crear ecosistemas agrícolas que mantenían a las ciudades. Las ciudades perduraron durante siglos, pero eventualmente colapsaron y fueron enterradas bajo las arenas del desierto al desplomarse su agricultura.

Los motivos del colapso agrícola en estas antiguas civilizaciones son variadas y complejas, pero tienen en común una incapacidad para darle mantenimiento a los canales de irrigación que transportaban el agua del río a los sembradíos. Las aguas de los ríos contienen sedimentos (tierra erosionada en suspensión) que se precipita en el fondo de los canales de irrigación. Si no se remueve este sedimento, continua acumulándose hasta llenar el canal, imposibilitando su uso para transportar agua. En tiempos antiguos, se requería de la labor de personas y animales para limpiar el sedimento de los canales. Actualmente en los países industrializados, este trabajo se hace con máquinas impulsadas con hidrocarburos.

Las civilizaciones del Medio Oriente utilizaron grandes cantidades de madera para la construcción de sus ciudades. La madera, como el agua, provenía de las montañas. Con el paso de los siglos la deforestación y el forrajeo por parte de cabras acabaron con la vegetación que evitaba la erosión de las montañas. Incrementó la sedimentación en los ríos, y correspondientemente en los canales de irrigación, requiriéndose cada vez más y más aportaciones de energía humana y animal para mantener limpios los canales. Antes de la deforestación, la naturaleza hacía la labor de mantener limpios los canales brindando

agua limpia, sin sedimento. Después de la deforestación, esta labor fue transferida a la gente. Eventualmente los niveles de sedimentación superaron la capacidad humana, particularmente cuando la mano de obra era exigida en otros sectores de estas complejas sociedades, por ejemplo, por emergencias como las guerras. Los canales se llenaron de tanto sedimento que fue imposible canalizar el agua de los ríos a los sembradíos, la agricultura se desplomó y lo mismo hizo la civilización. En estos casos los ecosistemas agrícolas fueron insostenibles porque los sistemas sociales fueron incapaces de mantener los insumos de energía necesaria para su mantenimiento.

LA URBANIZACION: EL ENAJENAMIENTO DE LA NATURALEZA

La necesidad innata de los humanos por aprender sobre la naturaleza es evidente al observar la curiosidad que tienen los niños por la naturaleza y la intensidad con que exploran su ambiente natural al jugar. La experiencia de la niñez genera lazos emocionales con la naturaleza, y un conocimiento íntimo y concreto de la naturaleza en la localidad donde el niño vive. Esta necesidad emotiva por la naturaleza ha sido llamada **biofilia**. El proceso de impresión ("imprinting") en la niñez, tan esencial para el desarrollo pleno de la biofilia, parece ser fundamental para la mente humana, pero solo puede darse si el niño tiene acceso a la naturaleza – una oportunidad negada a los niños que viven en ciudades sin ecosistemas naturales al alcance. La resulta puede ser una carencia de lazos sentimentales con la naturaleza, y de los conocimientos necesarios para una interrelación sustentable, por parte de los adultos. Puede ser que ninguna cantidad de tratados internacionales, reglamentos y planes gubernamentales, o incluso clases formales en escuelas, sean suficientes si en el fondo la gente carece del amor y respeto por la naturaleza que los motive a realizar sus actividades cotidianas en maneras que no destruyan su sistema ambiental de sustento.

Podemos apreciar el impacto potencial del contacto con la naturaleza durante la niñez imaginando una sociedad futurista en que los niños son separados de sus familias al nacer y criados en dormitorios. Aún si los niños son indoctrinados diariamente en la escuela sobre el amor y respeto a sus padres, la manera en que se relacionarán con sus padres como adultos será fundamentalmente diferente a como lo harían adultos que de

niños fueron cargados en los brazos maternos y disfrutaron de toda la riqueza del entorno familiar durante la niñez. Igualmente la inquietud por el medio ambiente que proviene exclusivamente de la escuela, carecerá la profundidad y solidez necesaria para que una sociedad sea ecológicamente sustentable.

EL AUGE Y DECADENCIA DE SOCIEDADES COMPLEJAS

La extensa diferenciación y especialización de los papeles sociales y la elaborada organización de las actividades humanas son características sobresalientes de la complejidad de los sistemas sociales urbanos. Puede apreciarse el rol de la complejidad social en el auge y caída de ciudades de civilizaciones antiguas, como las de Mesopotamia, Egipto y Grecia, así como en las civilizaciones indígenas de los Maya y Pueblo en el Hemisferio Occidental. Estas culturas experimentaron ciclos de auge y decaída que duraron siglos. Los imperios Europeos sufrieron un proceso similar de crecimiento y colapso durante los últimos 400 años.

El Crecimiento de las Sociedades Complejas

Previo a la Revolución Agrícola, los ecosistemas urbanos fueron simples aldeas. Eran pequeñas y en gran parte independientes unas de otras. Eran igualitarias, cada quien con un mismo estatus. Había división de labores según el género, pero el número de roles sociales era mínimo. Casi todos eran todólogos, haciendo todo lo necesario por subsistir. La mayoría de las familias producían sus propios alimentos, vestimenta y vivienda. Había un mínimo de especialización en que las sociedades más simples tenían, por ejemplo, 25 roles ocupacionales. Aunque fueron sofisticadas en otras formas, todos los sistemas sociales previos a la Revolución Agrícola fueron relativamente simples en cuanto a roles ocupacionales. En rincones aislados del mundo persisten aún de esta manera algunas sociedades pre-industriales.

La creación de ciudades como ecosistemas urbanos cada vez más grandes y complejos solo es posible cuando los ecosistemas agrícolas son lo suficientemente productivos como para generar un excedente de abasto superior a las necesidades de las familias que produce el alimento. El alimento adicional permite a los citadinos

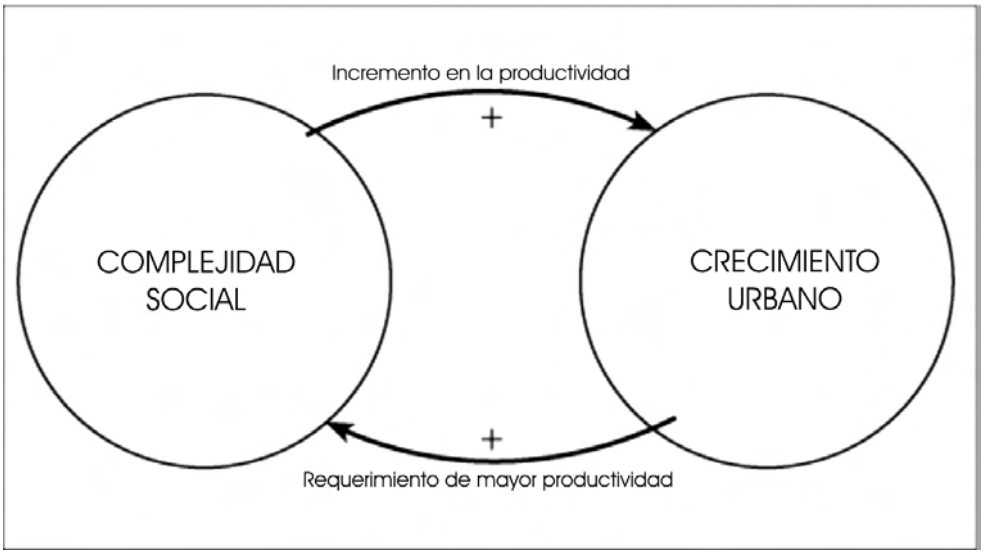
especializarse en una variedad de profesiones no-agrícolas. Ésta **división de labores** forma el núcleo de la complejidad social. Es típico en sociedades modernas tener más de 10,000 roles profesionales en una sola gran ciudad.

Muchas de estas profesiones laboran en apoyo a las actividades productivas de la sociedad, haciéndolas más efectivas. También surge la oportunidad para que florezcan artistas e innovadores. A la riqueza de la vida contribuyen todos, ceramistas y poetas, ingenieros y científicos, maestros y sacerdotes. Sin embargo, esta extensa división de labores requiere grandes inversiones de tiempo y energía en procesar y comunicar información, distribuir bienes y llevar la cuenta de la titularidad de posesiones y el intercambio de bienes y servicios. Esto es tan cierto hoy como lo fue para civilizaciones pasadas. Los registros de tiempos antiguos frecuentemente contienen voluminosos detalles de intercambios comerciales e inventarios de bienes.

La división del trabajo en sociedades complejas no solo es profesional. Existe una estratificación con respecto al poder y la riqueza, y una jerarquía de autoridades gubernamentales.

Las civilizaciones pasadas se asocian con ciudades, o conjuntos de ciudades, que crecieron en tamaño y complejidad durante siglos, extendiendo su influencia sobre un área cada vez mayor. Esta expansión no siempre fue pacífica y frecuentemente involucraba la explotación de la población conquistada y de sus recursos.

Una vez comenzado el ciclo, es normal que la complejidad continúe creciendo. Esto lleva a mayor crecimiento y expansión, lo cual requiere de mayor productividad, lograda con mayor complejidad (Véase la Figura 10.4). El crecimiento y la complejidad forman un **circuito de retroalimentación positiva** que incrementa a ambos de manera exponencial. Eventualmente una ciudad puede llegar a dominar un área tan extensa, a ser tan compleja y tener tantos controles sociales, que parecería que su poder y riqueza perdurarán por siempre. Esta es la etapa de *equilibrio* en el ciclo de sistemas complejos.



las ciudades.

La caída de las sociedades complejas

Eventualmente el sistema social de una compleja civilización se torna demasiado complicado para poder continuar funcionando de manera efectiva. Cuando el nivel de complejidad es mayor al ideal (Véase la Figura 10.5), la mayor complejidad puede resultar en menor productividad debido a que:

- Muchos de los beneficios de la complejidad social tienen **rendimientos decrecientes**. Una vez que las actividades humanas han llegado a cierto nivel tecnológico y organizativo, los avances en tecnología y organización dejan de dar mayores resultados (véase la curva de beneficios en la Figura 10.5).
- Mantener y organizar la complejidad social tiene costos significativos en términos de energía y el esfuerzo requeridos (véase la curva de costos en la Figura 10.5).
- Los costos continúan aumentando aún en la ausencia de mayores beneficios debidos a la mayor complejidad, por lo que la productividad (que equivale a los beneficios menos los costos) decrece (véase la curva de productividad en la Figura 10.5).

- La sociedad desarrolla valores culturales que fomentan la mayor complejidad. Esto puede llevar a una proliferación azarosa de complejidad careciente de estructura que aporte a la funcionalidad del sistema en conjunto.

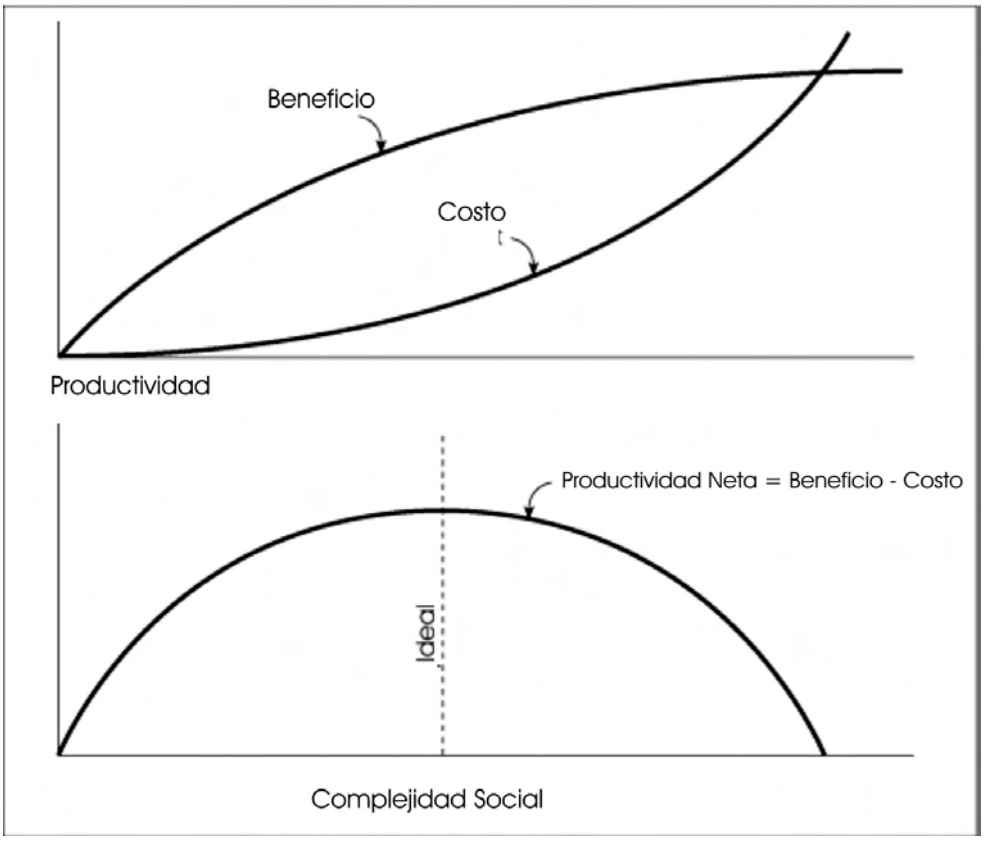


Figura 10.5 – Beneficios y costos de la complejidad social.

La resulta es una caída tanto en la productividad social como en el nivel de vida. Podrá parecer lógico que un sistema social demasiado complejo reduzca su complejidad a un nivel idóneo. Sin embargo, los sistemas sociales usualmente se vuelven aún más complejos porque culturalmente se ha desarrollado una creencia en que la complejidad es la mejor manera de resolver problemas.

Al tiempo que una sociedad excede su complejidad óptima, es común que comience a sufrir de serios daños ambientales y comienza la *disolución*. Los daños debidos a las

demandas excesivas sobre el ecosistema se han acumulado durante siglos y finalmente resultan en un colapso en la productividad agrícola y en la carestía de alimentos y otros recursos naturales renovables (véase la Figura 10.6). La sociedad ya no cuenta con el excedente alimenticio y de otros recursos necesarios para sostener a una gran población urbana y mantener sus reservas alimenticias. Al disminuir las reservas de alimentos y otros recursos, la sociedad pierde su habilidad para resistir una mayor caída (la **resiliencia** será tratada en el capitulo 11).

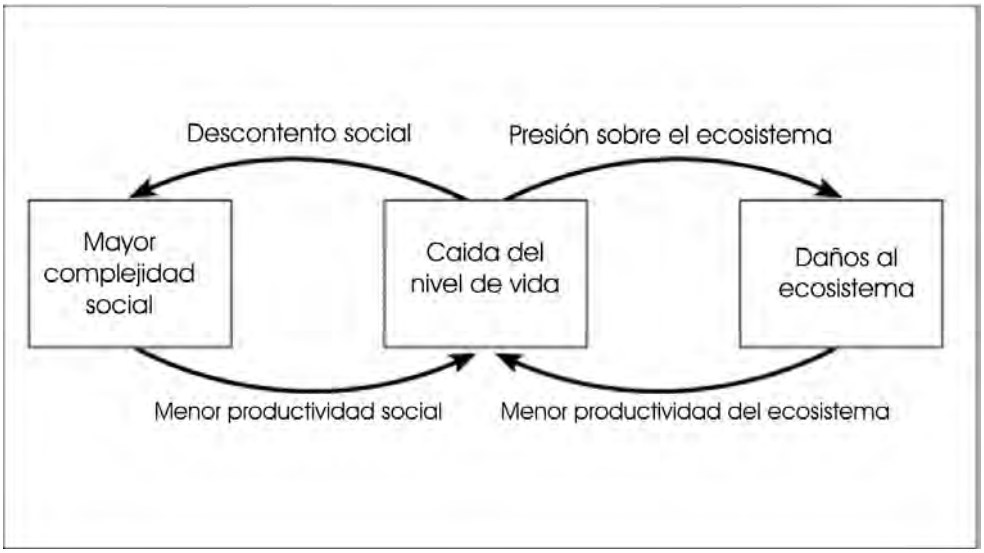


Figura 10.6 – Circuito de retroalimentación positiva en la fase de decadencia de las sociedades complejas.

Al caer el nivel de vida, surge el descontento dentro de las comunidades en la zona de influencia de la ciudad, y estas intentarán romper sus lazos con la ciudad (véase la Figura 10.6). En respuesta, las autoridades políticas podrán utilizar la fuerza militar para forzar el apoyo de las comunidades aledañas a la ciudad. Las autoridades también podrán canalizar más recursos a obras monumentales o ceremoniales que glorifiquen la imagen de esta civilización. Porque los gastos militares y las obras glorificadoras son costosos al mismo tiempo que no generan productividad, el nivel de vida continuará cayendo. Las exigencias sobre la población y el ecosistema para incrementar la producción en la zona de influencia son cada vez mayores. Los daños ambientales resultan en una menor productividad agrícola y el nivel de vida sigue menguando, y cada vez hay mayor descontento. Este ciclo de retroalimentación positiva puede eventualmente llevar a que la

ciudad sea abandonada. Los habitantes migran a lugares con mayores oportunidades (*reorganización*), y comienza a crecer una nueva ciudad en otra localidad.

El auge y decadencia de las sociedades complejas no es tan solo una historia de antiguas civilizaciones. Los ecosistemas urbanos experimentan ciclos complejos de auge y decadencia en escalas que abarcan desde barriadas y pequeñas ciudades, pasando por grandes ciudades y zonas metropolitanas y civilizaciones enteras. Un barrio crece al absorber gente y actividades comerciales que arriban de otros barrios. Algunas décadas después, el mismo barrio puede decaer al migrar su población y sus comercios a otros barrios. Lo mismo sucede con ciudades enteras a mayor escala temporal.

Dado que este ejemplo de crecimiento, colapso y reorganización urbana es tan viejo como la misma civilización humana, la historia moderna de la explosión demográfica y la economía global en expansión, no es cosa nueva- excepto por un muy importante detalle. Hasta hace poco, el crecimiento y colapso de los ecosistemas urbanos se daban a escala local o regional. Cuando decaían ciudades o civilizaciones, la gente se mudaba a nuevas zonas. Ahora, con un sistema de comunicaciones y transportes globales, y una economía global, los sistemas sociales se están convirtiendo en un solo sistema social global, y los ecosistemas de nuestro planeta están fuertemente entrelazados por actividades humanas. Por primera vez en la historia, el crecimiento tanto en la población como en su complejidad social, se está dando simultáneamente en casi todos los ecosistemas urbanos y sistemas sociales de todo el planeta. Mientras que el auge, caída y migración fueron eventos locales o regionales en el pasado, ahora existe una posibilidad de un colapso global, sin válvula de escape.

QUIMERAS Y EL PRINCIPIO PRECAUTORIO

Con el aumento en la concienciación ambiental de los años recientes, muchos gobiernos están tomando medidas para evitar la sobreexplotación y agotamiento de recursos naturales. Irónicamente, algunos recursos renovables se han desplomado desde que comenzaron los esfuerzos por protegerlos. En parte, esto ha sucedido debido a que la explosión demográfica y el crecimiento económico exigen cada vez más servicios ambientales por parte de los ecosistemas. Sin embargo, muchos de los esfuerzos por

proteger los recursos naturales han fracasado por una falta de realismo en cuanto a los límites de estos recursos. Esto es hacerse ilusiones.

La historia de las pesquerías marinas durante las últimas dos décadas demuestra los riesgos de armar quimeras. Hace 20 años, las naciones con litorales declararon su posesión del mar y sus recursos a una distancia de 200 millas náuticas de la costa. Estas regiones son conocidas como Zonas Económicas Exclusivas o Mar Patrimonial e incluyen pesquerías, petróleo y minerales. Los gobiernos formularon planes de manejo y reglamentos para controlar la cantidad y tipo de pesca permitida a sus propios pescadores y a los foráneos en estas zonas. Una práctica común era buscar el "mayor rendimiento sustentable" – la mayor captura posible a largo plazo. Los planes de manejo generalmente se desarrollaron con asesoría de la comunidad científica y representantes de la industria pesquera. En los años subsiguientes las pesquerías de numerosas especies comerciales colapsaron a pesar de las medidas establecidas para su protección. Muchos de los planes de manejo no fueron del todo exitosos. ¿Porqué sucedió esto?

En primer lugar porque los científicos tuvieron que trabajar con información imprecisa, y los planes de manejo comúnmente no contemplaron la posibilidad de que los cálculos en cuanto a la producción pesquera y la capacidad de resistencia de las poblaciones de peces, pudieran ser erróneos. En segundo lugar, los planes de manejo no contemplaron la manera en que las poblaciones de peces cambian de año en año debido a fluctuaciones naturales en las condiciones físicas y biológicas de los océanos (es decir, los cambios naturales en el estatus del ecosistema marino). Durante algunos años las condiciones físicas y el suministro de alimento en los mares es más favorable a nuevas generaciones de peces; durante otros años los peces juveniles pueden tener dificultades para sobrevivir. Por lo tanto, las poblaciones de peces soportan mayor pesca en unos años, mientras que las reservas pueden ser agotadas por el mismo nivel de pesca en otros años. En tercer lugar, los avances en la tecnología pesquera incrementan el número de peces capturados por los pescadores. Cuando esto sucede es indispensable volver a evaluar los reglamentos para garantizar que las capturas se mantengan dentro de los límites sustentables.

Los gobiernos aceptaron planes optimistas pero riesgosos porque la industria pesquera quería obtener la máxima captura posible. En su forma inicial, los planes de manejo frecuentemente permitieron a cada pescador capturar la misma cantidad de peces cada año, independientemente de que si era un año bueno o malo para los peces. Las poblaciones de peces colapsaron cuando los planes exageraron la captura sustentable, cuando la captura permitida era demasiado cercana al límite, o cuando se omitieron las revisiones a los planes bajo condiciones cambiantes. Las poblaciones de peces no pudieron aguantar la pesca a niveles cercanos al límite durante varios años sucesivos de reproducción anormalmente baja (véase la figura 10.7). El desplome más espectacular fue el de la población de bacalao del Atlántico Norte, la cual había sido el sustento de miles de pescadores durante varios siglos. Puede ser que los cambios no sean reversibles. Las poblaciones comercialmente viables podrían no regresar aunque se limite la pesca.

La lección de esta historia es que los servicios ambientales solo pueden ser utilizados de manera realmente sustentable cuando la intensidad del uso es significativamente menor al máximo aparente. Este es el **principio precautorio**. Forzar los límites de los ecosistemas es riesgoso por lo impreciso de los cálculos y por las oscilaciones en la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios ambientales. Si forzamos el ecosistema al borde de su estabilidad utilizando de manera intensa algún servicio ambiental, las fluctuaciones naturales del ecosistema pueden obligar al ecosistema a un nuevo equilibrio con menores servicios ambientales (véase la Figura 10.7).

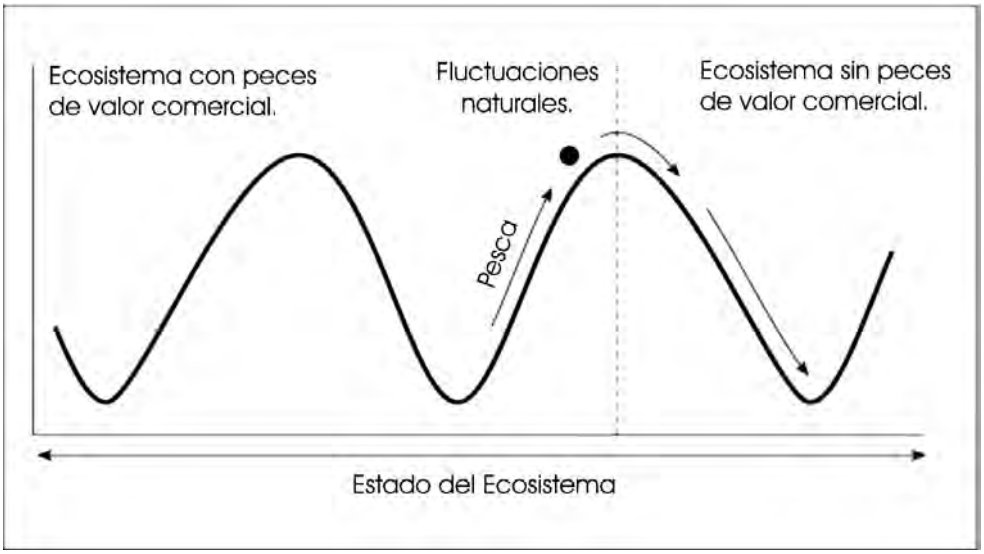


Figura 10.7 – El cambio de un estado estable a otro cuando se pesca demasiado cerca al límite de estabilidad en un ecosistema de pesquería con fluctuaciones naturales.

El principio precautorio se ha convertido en una importante herramienta para elaborar políticas ambientales. Es reflejo del sentido común. Dice un proverbio Zen japonés: "La cautela con que un ciego usa un tronco como puente es buen ejemplo de cómo vivir nuestras vidas" (Véase la Figura 10.8). El sondeo que hace el ciego es similar al proceso de evaluación en el desarrollo adaptativo descrito en el Capitulo 11. Mientras que el principio precautorio puede contribuir a la salud ambiental y sustentabilidad de una amplia gamma de interrelaciones entre personas y ecosistemas, su implementación no siempre es sencilla en un sistema social comprometido con la máxima explotación posible de todos los recursos y servicios ambientales. La sencilla sabiduría del principio precautorio es contraria al espíritu de la economía global, que recompensa la osadía empresarial y considera una virtud absoluta la confianza en el crecimiento económico.

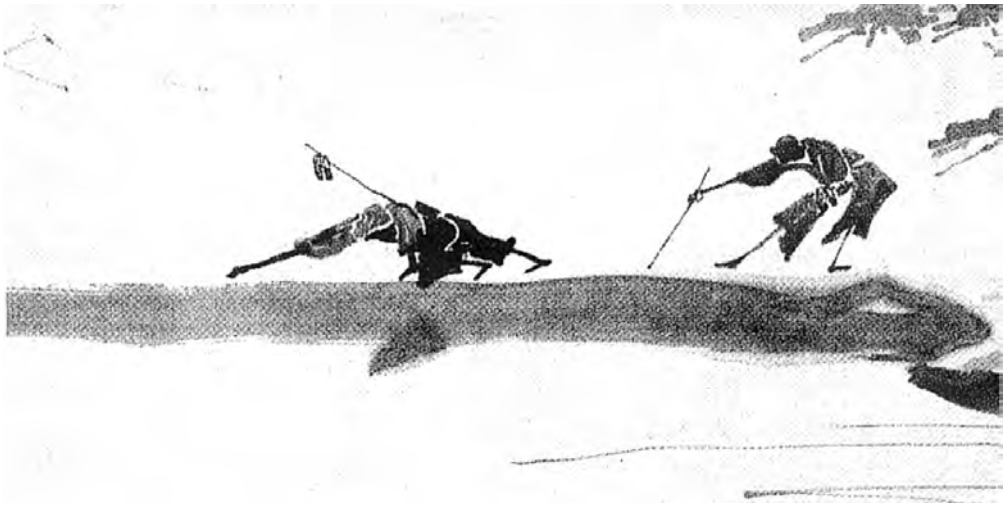


Figura 10.8 Cruzando un puente de tronco (siglo XVIII) de Hakuin

La implementación práctica del principio precautorio no puede separarse de los sacrificios a corto plazo requeridos por parte de otros intereses sociales a favor de la sustentabilidad ambiental. Un reciente episodio en la pesca comercial de Hawai demuestra cómo la gente puede tener opiniones radicalmente opuestas sobre dónde establecer los límites. Varias organizaciones ambientalistas han tomado acciones legales para obligar al gobierno de Estados Unidos a prohibir la pesca con palangre en áreas donde esta práctica mata a mamíferos, aves, tortugas y peces que no son la presa pretendida. Las consecuencias de estas acciones son varias. Al cerrar las pesquerías, habrá menos empleos para pescadores y menos peces para consumidores. Independientemente de que se clausuren o no estas pesquerías, el gobierno tendrá que incurrir en gastos legales y de investigación que podrían ser desviados de otros programas gubernamentales a beneficio de las mismas especies en cuestión (por ejemplo, la protección de playas de anidación de tortugas marinas). Para implementar medidas adecuadas a estas pesquerías, primero es indispensable responder a la pregunta "¿Cuánto daño causan los palangres a estas especies, y que tanto se logrará con su prohibición?". Sin embargo, la información científica es limitada y se presta a interpretaciones parciales por partes adversas. Algunos creen que los palangres matan a muy pocas tortugas y que se pueden proteger otras especies con modificaciones en los métodos de pesca. Prefieren hacer cambios en la técnica pesquera y

ver qué sucede antes de recurrir a medidas drásticas como clausurar toda una pesquería. Otros individuos, con menor tolerancia para daños, aunque sean potenciales, al ecosistema marino simplemente quieren ponerle fin a la pesca con palangres.

Este ejemplo tiene consecuencias de gran alcance. El actual sistema social moderno es vulnerable a las quimeras no solo sobre la magnitud de las exigencias que puede soportar un ecosistema, sino también en cuanto a la capacidad de la ciencia y la tecnología para manipular estos ecosistemas y satisfacer dichas exigencias. Carecemos del conocimiento científico suficiente sobre los ecosistemas para poder decir con precisión qué tanto podemos manipularlos sin arriesgar su colapso. Aún con más datos científicos y con computadoras poderosas para procesar la información, los ecosistemas son tan complejos que quizá jamás podamos predecir con precisión cuales serán los efectos de nuestras acciones.

La microgestión de los vastos ecosistemas de que depende nuestra supervivencia es imposible. No hay suficientes científicos - ni suficiente mano de obra, ni combustible fósil - para corregir todos los problemas causados por el mal manejo de ecosistemas, y después corregir todos los problemas causados por la intervención ambiental.

PUNTOS DE REFLEXION

1. Considera la historia sobre "capital portátil en una economía de mercado libre en las páginas -. La Alternativa #2 (cosecha sustentable) nos provee de abasto de madera a largo plazo. La Alternativa #2 (cortar y vender todos los árboles) no lo hace. ¿Entiende porque la Alternativa #2 nos brinda mayores utilidades a largo plazo? La Alternativa #2 explica porqué con capital portátil es razonable desde una perspectiva empresarial el uso insostenible de recursos biológicos con tasas de crecimiento lentas. Piense en ejemplos concretos que ilustren las interrelaciones insostenibles entre las personas y los ecosistemas debidas al capital portátil.
2. Piense en las fuentes de interrelaciones insostenibles entre las personas y los ecosistemas en el sistema social en que vive. Primero piense a nivel local, después al nacional e internacional. Piense en ejemplos concretos que demuestren como la

interrelación entre las personas y los ecosistemas puede ser menos sustentable debido a:

- Las migraciones humanas;
- La tecnología;
- La Tragedia de los Recursos Comunes;
- El sistema económico;
- La urbanización.

3. Enumere algunos beneficios específicos de la complejidad social a distintos niveles de su sistema social (comunidad, nación, sociedad global). ¿Cuáles son algunos de los costos de esta complejidad social en los distintos niveles de organización social? ¿Dónde cree que se ubica su sistema social sobre la curva de la Figura 10.5? ¿Su complejidad está cerca del ideal? ¿Es menor al ideal o mayor?
4. El contacto con la naturaleza durante la niñez parece ser fundamental para desarrollar el conocimiento y juicio necesarios para tener interrelaciones sustentables con el ecosistema como adultos. ¿Qué tipo de contacto tuvo con la naturaleza durante su niñez? Converse con personas de experiencias similares, así como con personas de experiencias distintas, para elucidar como las experiencias de la niñez influenciaron su actitud y sus acciones cómo adultos en relación a los ecosistemas.
5. Identifique maneras en que los ecosistemas agrícolas y urbanos de su región dependen de grandes aportaciones de energía u otros recursos de manera que los hacen vulnerables a la inflación o carencias en el abasto. ¿Qué puede hacerse para reducir esta vulnerabilidad?
6. ¿De qué manera sus dirigentes comunitarios locales y nacionales (en el sector público, privado, etc.) parecen hacerse ilusiones en cuanto a las exigencias que la comunidad o nación puede hacer sobre los ecosistemas? ¿Cómo compara sus actitudes y acciones con el Principio Precautorio? ¿Por qué los líderes piensan así? ¿La mayoría de los ciudadanos comparten las actitudes y acciones de sus dirigentes? Si existe una diversidad de posturas y acciones, ¿cuales son las justificaciones de cada una? ¿Existe algún caso en particular en que piensa que los demás deberían prestar más atención al Principio Precautorio?

CAPITULO 11
Interacciones Sustentables entre personas y ecosistemas

¿Cómo puede la sociedad moderna adoptar un curso de desarrollo sustentable? Lo primero y más importante es no dañar ecosistemas.

- No dañar ecosistemas al grado tal que pierdan su habilidad de proveernos de servicios esenciales.
- Vigilar cuidadosamente el medio ambiente al utilizar nuevas tecnologías para evitar efectos secundarios inesperados.
- No sobreexplotar pesquerías, bosques, cuencas hidrológicas, tierras agrícolas u otras partes de los ecosistemas que nos proveen de recursos renovables esenciales. Incrementar el uso de recursos naturales renovables de manera gradual, monitoreando cualquier daño al recurso.
- Desarrollar instituciones sociales que protejan los recursos de propiedad común de la Tragedia de los Recursos Comunes.
- Observar el principio precautorio al utilizar los recursos naturales, desechar residuos o interactuar con el ecosistema de cualquier manera.

En segundo lugar, debemos hacer las cosas a la manera de la naturaleza, permitiendo al grado que sea posible que sea ésta la que haga la mayor parte del trabajo.

- Tomar ventaja de la habilidad auto-organizadora de la naturaleza, reduciendo la necesidad de insumos humanos para organizar ecosistemas.
- Desarrollar tecnologías que requieran de pocos insumos basados en un diseño que aproveche la labor de la naturaleza.
- Aprovechar los circuitos de retroalimentación positiva y negativa, en vez de luchar contra ellos.
- Utilizar los ciclos naturales que utilizan los residuos de un componente del ecosistema como recurso para otro componente del ecosistema.
- Organizar los ecosistemas agrícolas y urbanos para que imiten estrategias naturales. Por ejemplo, los ecosistemas agrícolas pueden organizarse como policultivos que

parezcan ecosistemas naturales en la misma región climática. Pueden reciclarse los bienes de consumo en un "ciclo técnico" que separe los bienes de consumo de los ciclos biológicos del ecosistema.

¿Cómo puede lograrse el desarrollo sustentable en la práctica? Este capítulo comienza con un ejemplo importante- las instituciones sociales que previenen la Tragedia de los Recursos Comunes. Le sigue una evaluación de algunas cuestiones relativas a la coexistencia de ecosistemas urbanos y naturales. El capítulo concluye explorando dos aspectos esenciales e interrelacionados del desarrollo sustentable.

1. **Resiliencia** – la habilidad de sistemas sociales y de ecosistemas, para continuar funcionando a pesar de perturbaciones severas e inesperadas.
2. **Desarrollo Adaptativo** – la habilidad de los sistemas sociales de ajustarse a cambios.

La resiliencia y el desarrollo adaptativo son importantes porque el desarrollo ecológicamente sustentable no es simplemente cuestión de un armonioso balance con el medio ambiente. Evitar el daño a los ecosistemas es absolutamente fundamental para el desarrollo sustentable, pero no basta. La sociedad humana cambia constantemente, y lo mismo hace el medio ambiente. El desarrollo sustentable requiere de cierta capacidad para afrontar estos cambios. La resiliencia y el desarrollo adaptativo son la llave para lograr esta capacidad.

LAS INSTITUCIONES SOCIALES HUMANAS Y EL USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS DE PROPIEDAD COMUN.

¿Cómo puede evitarse la Tragedia de los Recursos Comunes? Cuando las instituciones sociales existentes fomentan la Tragedia de los Recursos Comunes haciendo que la sobreexplotación de la propiedad común sea una decisión razonable por parte de los individuos, hacen falta nuevas instituciones que hagan del uso sustentable la opción razonable. Los científicos han comparado cientos de sociedades alrededor del mundo para

descubrir cuales instituciones sociales están relacionadas con el uso sustentable de recursos como bosques, pesquerías, aguas de irrigación y zonas de pastoreo. Han descubierto que algunas sociedades son altamente eficaces en evitar la Tragedia de los Recursos Comunes. Los detalles varían en cada instancia, pero los casos exitosos tienen lo siguiente en común.

1. *Propiedad y límites claramente definidos*: La propiedad colectiva de un área claramente delineada permite el control necesario para evitar la sobreexplotación. Esto se conoce como acceso cerrado. La territorialidad es una institución social común utilizada para definir propiedades y sus límites. La expansión de la jurisdicción marina declarada sobre los recursos marinos a 200 millas náuticas de las costas de las naciones es un ejemplo moderno de acceso cerrado para recursos de propiedad común.
2. *Compromiso con el uso sustentable del recurso:* Los copropietarios del recurso común deberán realmente desear utilizarlo de manera sustentable. Para ello deben acordar:
    - Que el uso individual esté dañando el recurso;
    - Que el uso cooperativo del recurso disminuirá el riesgo de estos daños;
    - Que el futuro tiene importancia (es decir, que las oportunidades para sus hijos y nietos son igual de importantes que sus propias ganancias a corto plazo).

    Lo ideal es que los copropietarios tengan un pasado común, se tengan confianza, compartan expectaciones futuras, y valoren su reputación en la comunidad. La ausencia de conflictos entre copropietarios debidos a diferencias étnicas o estatus económico facilita el proceso.

3. *Un acuerdo sobre las reglas de utilización del recurso:* Todos deben tener suficiente familiaridad con el recurso como para comprender las consecuencias de su uso indebido. Un buen reglamento requiere de un conocimiento profundo no solo del recurso, sino también del comportamiento de sus usuarios. Un buen reglamento es sencillo, de manera que todos lo entiendan, y es justo. A nadie le gusta tener que sacrificarse por la avaricia de los demás. Las utilidades de un buen

reglamento son mayores al costo de cooperación; esto incluye los gastos generales de la organización necesarios para que funcione el conjunto. Un buen reglamento no hace perder el tiempo ni desperdicia recursos.

4. *Mecanismos internos adaptativos:* Tarde o temprano es necesario adaptar las reglas de uso del recurso común debido a cambios en el sistema social o en el ecosistema, cambios que frecuentemente originan "desde fuera". Los mecanismos para adaptar las reglas deben de ser sencillos y asequibles. Los cambios deben darse de manera gradual para evitar cometer grandes errores. Es importante observar cuidadosamente los cambios debidos al nuevo reglamento para que el grupo pueda decidir si deben hacerse aun más cambios. La evolución de las reglas por ensayo y error es un ejemplo de auto-organización del sistema social.
5. *Ejecución de las reglas:* La gente normalmente cumple con las reglas si piensan que todos los demás también lo hacen. La mejor manera de evitar que se rompa el reglamento es con vigilancia interna en que los usuarios se observan unos a otros, complementado con vigilancia externa, como son guardias. Cada quien debe saber que todos los demás se enterarán de cualquier infracción. Si es probable que se detecte la infracción, no hacen falta penas severas. La presión social y la vergüenza pueden tener suficiente fuerza disuasoria. Los castigos deberán ser mínimos para evitar perjudicar el espíritu cooperativo.
6. *Resolución de conflictos:* La gente puede tener percepciones distintas sobre cómo aplicar el reglamento en situaciones particulares. El proceso de resolución de conflictos debe ser sencillo, asequible y justo.
7. *Interferencia externa mínima:* La autonomía local - la capacidad de funcionar independientemente del control de otros - es importante porque la autoridad externa puede imponer decisiones inadecuadas a las condiciones de la localidad. Uno de los motivos más frecuentes para el uso insostenible de recursos comunes es la interferencia de autoridades gubernamentales o de fuerzas económicas foráneas. A los "foráneos" puede no interesarles la sustentabilidad local, y rara vez tienen el conocimiento suficiente de la situación local para comprender cuales reglas funcionarán en la localidad.

Un ejemplo del uso exitoso de recursos comunes: pesquerías costeras en Turquía.

La Tragedia de los Recursos Comunes es un problema frecuente cuando los pescadores no cooperan para prevenir la sobrepesca. Dado que muchas aldeas de pesca tradicional tienen jurisdicción territorial sobre las zonas de pesca aledañas a su aldea, tienen los derechos de propiedad tan esenciales para el uso sustentable del recurso. Una vez establecidos los derechos de propiedad, lo fundamental es establecer un buen reglamento que evite la sobrepesca. Los pescadores de la costa de Turquía nos brindan un ejemplo de reglas que funcionan por estar adaptadas a las condiciones locales. La pesquería Turca tiene dos características importantes:

1. Algunas regiones son mejores para la pesca que otras.
2. Algunas áreas son mejores para la pesca durante ciertas temporadas del año porque los peces migran a otras aguas a lo largo del año.

Los pescadores han desarrollado las siguientes reglas:

- Utilizan un mapa para dividir la región de pesca en un número de plazas igual al número de pescadores (Véase la Figura 11.1). Al principio de la temporada de pesca se asignan al azar los lotes en que cada pescador debe pescar el primer día de la temporada.
- El primer día, a cada pescador se le permite pescar únicamente en la plaza numerada designada. Al día siguiente solo puede pescar en la plaza numerada que sigue a la plaza que le fue asignada el primer día; y así sucesivamente cada día deberá moverse a la siguiente plaza numerada.

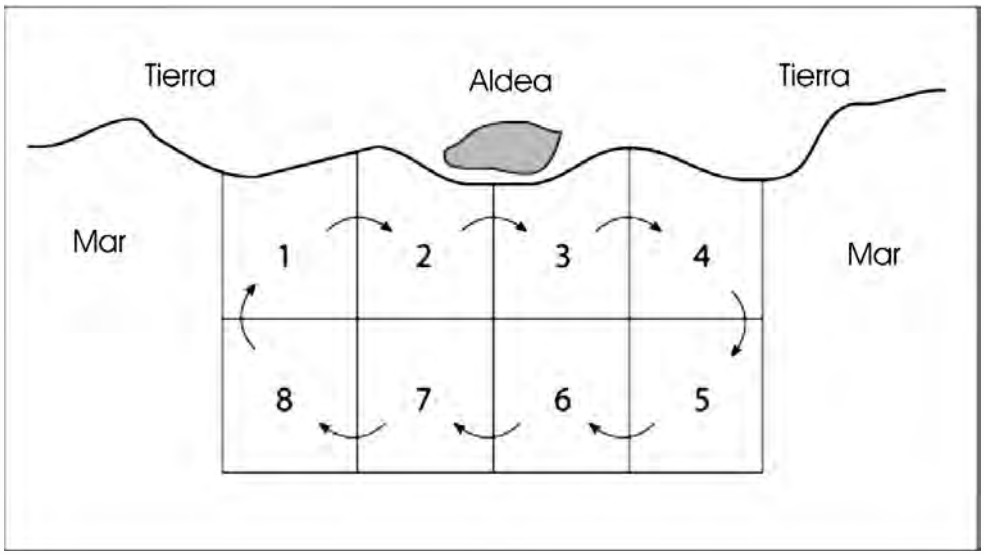


Figura 11.1 – Un sistema utilizado para evitar la Tragedia de los Recursos Comunes en una pesquería costera en Turquía.

Las reglas son sencillas y por lo tanto todos pueden entenderlas. También son justas a pesar de la complejidad de sitios buenos, sitios malos y migraciones de peces a lo largo del año. Cada pescador tiene la oportunidad de pescar en sitios buenos, y malos.

Las reglas también son de fácil vigilancia. Si son rotas, es por pescadores que pescan en sitios buenos en días que no les corresponde. Dado que los pescadores casi siempre acuden a los sitios buenos cuando se les permite hacerlo, es fácil detectar a alguien que rompe las reglas. Como consecuencia, los usuarios legítimos de los sitios buenos se aseguran de que otros pescadores no los invadan.

Un ejemplo exitoso del uso de recursos de propiedad común: el manejo forestal tradicional en Japón.

Durante más de 1,000 años, los bosques del Japón fueron la fuente principal de materiales esenciales tales como agua, madera para construcción, paja para techos, comida para animales domesticados, fertilizante orgánico (hojarasca en descomposición) para los sembradíos, y leña y carbón para la cocina y calefacción. Los japoneses utilizaron sus bosques de manera intensa, pero fueron capaces de evitar la Tragedia de los Recursos Comunes al administrar sus bosques como una propiedad común de acceso cerrado. El

bosque circundante a cada aldea pertenecía a dicha aldea. La aldea controlaba quien utilizaba el bosque y la manera en que se hacía. Aunque las tierras agrícolas, como los arrozales, eran propiedad privada, el bosque pertenecía a la comunidad entera. Todos estaban de acuerdo en que las tierras comunes del bosque debían ser administradas para servir las necesidades a largo plazo de toda la aldea.

Mientras que cada familia en la aldea tenía derecho a usar el bosque, se establecían reglamentos para el uso del bosque a través de un concejo comunitario en que estaban representadas las familias autorizadas para tomar decisiones ya sea por sus derechos de propiedad u obligaciones tributarias. Las reglas estaban diseñadas para:

- Limitar la cantidad de productos forestales que podía recolectar cada familia.
- Brindar acceso equitativo a cada familia, evitando la sobre explotación por parte de la aldea en conjunto.
- Requerir un mínimo de esfuerzo para su implementación y vigilancia.
- Ajustarse al papel que cada producto forestal tenía en la economía de la aldea.
- Encajar con las particularidades del medio ambiente local.

La familia era la unidad básica de acceso al bosque, y cada hogar era asignado fechas específicas durante las cuales podía extraer madera u otros materiales. Para la mayoría de los materiales, no existía un límite a la cantidad que podía ser removida durante el acceso permitido. En muchas aldeas, un número de hogares eran organizados en *kumis*. A cada *kumi* le era asignado una distinta sección del bosque para su uso. Para asegurar la equidad, las zonas asignadas eran rotadas anualmente para que cada *kumi* pudiera utilizar una parte distinta del bosque.

La manera en que funcionaban estas reglas puede ilustrarse con la típica tarea de remover forraje del bosque. Cada familia podía enviar a tan solo un adulto a cortar el pasto en su sección del bosque en el día indicado. Los miembros de un mismo *kumi* formaban una hilera para cortar el pasto en su sección del bosque, y solo podían comenzar después de sonadas las campanas del templo. Tras cortarlo, dejaban secar el pasto. Aproximadamente una semana después, dos personas por casa podían regresar al bosque a atar el pasto en

haces y ordenarlo en bultos de igual tamaño (uno por cada casa del *kumi*). Los bultos después eran distribuidos a los hogares miembros del *kumi* al azar.

Cada aldea desarrollaba su propia manera de imponer las reglas. Dado que solo era permitido remover materiales en fechas específicas, cualquier persona vista en el bosque durante otras fechas obviamente estaría rompiendo las reglas. La mayoría de las aldeas contrataban guardias (un empleo de prestigio para los jóvenes) que patrullaban el bosque a caballo en parejas. En algunas áreas el servicio de guardia era rotado entre todos los jóvenes de la aldea. En las aldeas que no utilizaban guardias, cualquier ciudadano podía reportar intrusos en el bosque.

Cada aldea tenía sus propios castigos por violar las reglas. Los guardias normalmente se encargaban de violaciones ocasionales de manera discreta y sencilla. Era aceptable que los guardias exigieran al infractor un pago pequeño ya sea en efectivo o en *sake*. Si la infracción era mas seria, los guardias confiscaban la cosecha ilícita, junto con el equipo y caballos utilizados por el infractor. Los infractores debían pagar una multa a la aldea para recuperar su equipo o caballos. El monto de la multa dependía de la gravedad de la infracción, la voluntad del infractor de hacer enmiendas, y el historial de infracciones del culpable.

En ocasiones las reglas eran violadas por necesidad extrema de materiales durante un período en que no se tenía acceso. Una estrategia efectiva para violar las reglas era enviar a la hija más bella al bosque, porque los guardias (siendo hombres) eran más indulgentes con las doncellas. El castigo era menos severo si había un buen motivo para romper las reglas. Por ejemplo, cuentan de un gran número de aldeanos que entraron antes de tiempo al bosque a cortar postes para sus hortalizas. De lo contrario habrían perdido la cosecha. Estos infractores fueron sancionados con ligereza porque el concejo comunitario reconoció que la fecha asignada para cortar postes era demasiado tardía. En este caso los infractores tan solo tuvieron que hacer un pequeño donativo a la escuela.

Las instituciones sociales para el manejo comunitario de los bosques en Japón fueron desarrolladas y refinadas a través de los siglos, culminando en el período Tokugawa (1600 – 1867). El manejo era exitoso porque era a nivel local. A pesar de que Japón tenía un

sistema social feudal y en muchas maneras autoritario, no se imponían desde fuera las reglas para el manejo de los bosques comunitarios. También es de importancia que el acceso al bosque era otorgado a familias, y no a individuos. La cantidad de madera, y de demás materiales, designada a cada familia no incrementaba con el crecimiento de la familia, y las familias numerosas no podían separarse en dos sin dispensa especial de la aldea. Por lo tanto había un incentivo fuerte para no tener demasiados hijos, y durante el periodo Tokugawa casi no aumentó la población.

El sistema tradicional de manejo forestal comenzó a decaer durante los años de la Restauración Meiji (1868), y deterioró significativamente con la reforma agraria y otros cambios sociales, políticos y económicos que siguieron a la Segunda Guerra Mundial. Los bosques siguen siendo importantes como fuente de agua para uso doméstico, agrícola e industrial, pero el papel de los bosques ha cambiando al convertirse Japón en una sociedad altamente urbana integrada con la economía global. La importancia de los bosques como fuente de materiales declinó mientras Japón cubrió las mismas necesidades importando combustibles fósiles para la cocina y calefacción, madera de otros países para la construcción y fertilizantes químicos para la agricultura.

Actualmente se talan grandes extensiones de bosque cada año para permitir la expansión urbana, mientras que los bosques que perduran han ganado importancia como áreas recreativas para la población urbana.

La escala del uso sustentable de recursos de propiedad común.

La mayor parte de los ejemplos de uso sustentable de recursos de propiedad común son de escala local. La escala local del uso del recurso tiene muchas ventajas, entre estas las siguientes.

- El recurso es más uniforme, y por lo tanto más fácil de comprender, a pequeña escala.
- Los lugareños conocen mejor el recurso, y por lo tanto comprenden mejor que reglas serán efectivas.
- Los lugareños se conocen lo suficiente para tenerse confianza.

- Los lugareños desean un uso sustentable porque les interesa el futuro de los recursos locales.

Una pregunta importante en las relaciones entre humanos y ecosistemas es si el uso sustentable de recursos de propiedad común es posible a gran escala. Hasta la fecha, la experiencia del uso a gran escala no es alentadora. La Tragedia de los Recursos Comunes es típica con recursos explotados por corporaciones multinacionales. Dado que el uso a gran escala es una realidad cotidiana en la actual economía global, el desarrollo de instituciones sociales internacionales viables para prevenir la Tragedia de los Recursos Comunes, es uno de los mayores retos de nuestro tiempo.

Existen diferencias legítimas entre los intereses locales, regionales, nacionales e internacionales al tomar decisiones sobre el uso de recursos naturales. La posesión de recursos, como bosques, por parte del gobierno ha sido asociada con el manejo sustentable en algunos lugares, pero con manejo no-sustentable en otros. La administración gubernamental tiene un historial de otorgar derechos de acceso a madera, forrajeo u otros recursos a individuos con influencia política a costos menores al del valor real del recurso - y frecuentemente sin atención a su uso sustentable. En el caso de que el uso del recurso a gran escala sea inevitable, debe organizarse de manera jerárquica para evitar que las fuerzas económicas nacionales o globales y autoridades gubernamentales excluyan la participación local.

LA COEXISTENCIA DE LOS ECOSISTEMAS URBANOS CON LA NATURALEZA

El capítulo 10 describió el conflicto entre la urbanización y la sustentabilidad de las interacciones entre humanos y ecosistemas. Las ciudades dependen de ecosistemas agrícolas para sus alimentos y demás productos. Dependen de ecosistemas naturales para abastecerse de agua, madera, oportunidades recreativas y otros recursos y servicios. Sin embargo, a pesar de esta dependencia, las ciudades tienden a desplazar o degradar los ecosistemas naturales y agrícolas, perjudicando los sistemas de apoyo ambiental sobre los cuales dependen. Las ciudades crecen sobre tierras agrícolas y áreas naturales; y aún donde no desplazan ecosistemas agrícolas o naturales, la demanda excesiva de productos puede

llevar a la sobreexplotación y degradación de esos ecosistemas. El crecimiento de las ciudades también afecta indirectamente a los ecosistemas naturales porque el desplazamiento de los ecosistemas agrícolas y la creciente demanda de productos agrícolas, puede resultar en la expansión de los ecosistemas agrícolas a distancia, desplazando a ecosistemas naturales lejanos. Los ecosistemas urbanos modernos pueden tener un fuerte impacto sobre ecosistemas naturales lejanos debido a que sus **zonas de abasto** se extienden a diversas partes del mundo.

¿Porque los sistemas sociales urbanos no muestran mas cautela para destruir o dañar los ecosistemas agrícolas y naturales de que dependen? Parte de la respuesta (tratada en el Capitulo 10) es la enajenación de la sociedad urbana con respecto a la naturaleza, particularmente si la gente no tiene contacto con los ecosistemas naturales y agrícolas durante su niñez. Las consecuencias para el diseño del paisaje urbano son extensas y profundas. Los paisajes urbanos que brinden a la niñez experiencias con la naturaleza pueden ser fundamentales para una sociedad ecológicamente sustentable. Hasta hace poco, casi todas las ciudades contenían un mosaico de ecosistemas urbanos, agrícolas y naturales que permitían el contacto directo con la naturaleza a poca distancia de la mayoría de los hogares. Lamentablemente, en la actualidad muchas de las grandes ciudades se han convertido en "junglas de concreto" en la que ya no existe esta oportunidad. El resultado podría ser un circuito de retroalimentación positiva entre una sociedad cada vez mas urbanizada y ciudades con menos oportunidades de convivir con la naturaleza durante la niñez, formando adultos que carecen de lazos emotivos con la naturaleza que a su vez limiten la destrucción del sistema de abasto ambiental de sus ciudades. Retener los ecosistemas naturales como parte íintegra de los paisajes urbanos – o buscar las maneras de restaurar áreas verdes donde se han perdido – debería ser tema prioritario para las comunidades urbanas.

¿Es factible que sobrevivan los ecosistemas naturales en contacto directo con ecosistemas urbanos modernos? Es posible cuando la gente de la región se interesa y compromete para evitar la contaminación, destrucción o disrupción severa de los ecosistemas naturales. La coexistencia de ciudades y chaparral en el sur de California es un ejemplo. Los ecosistemas de chaparral se caracterizan por la densidad de grandes arbustos

otra pequeña fauna, además de animales mayores como venado, puma, linces, coyotes y zorros. Las áreas residenciales de algunas ciudades en el sur de California tienen bordes retorcidos que colocan a muchas casas en proximidad inmediata con ecosistemas naturales de chaparral (véase la figura 11.2a). Estos bordes a veces son formados por las laderas que rodean a las ciudades. La densa vegetación del chaparral limita la actividad humana a los caminos y senderos, protegiendo al ecosistema natural de impactos antropogénicos excesivos, mientras brinda oportunidades para el ciclismo de montaña, senderismo y otras actividades de impacto relativamente discreto.

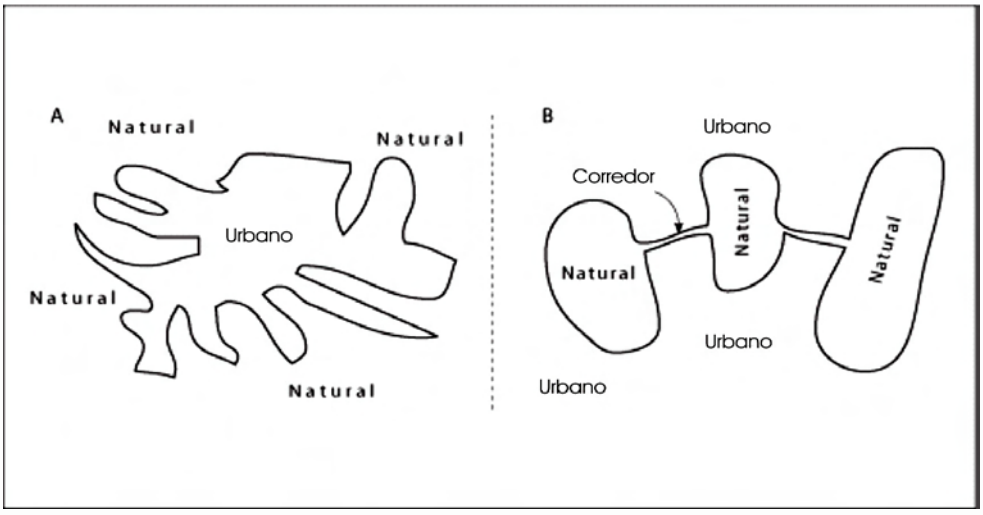


Figura 11.2 – Mosaicos de ecosistemas urbanos y naturales.

El tamaño del ecosistema natural es crítico para mantener su integridad en una zona urbana porque para ser completamente funcional, el ecosistema natural debe ser suficientemente extenso como para brindar hábitat a toda su comunidad biológica. Los grandes depredadores requieren de territorios de por lo menos varios kilómetros cuadrados donde alimentarse; no sobreviven si el ecosistema es demasiado pequeño. Una manera de garantizar que el ecosistema natural sea suficientemente amplio, es conectando parches del ecosistema natural a través de corredores biológicos (véase la figura 11.2b).

La Sierra de Santa Mónica

Aún si es posible que coexistan los ecosistemas urbanos y naturales, los naturales se perderán si se talan para la expansión urbana. La historia reciente de la sierra de Santa Mónica, un área natural de 900 metros cuadrados al borde poniente de Los Ángeles, demuestra cómo las instituciones sociales pueden controlar la expansión urbana sobre los ecosistemas naturales. Los montes de Santa Mónica tienen casas dispersas en un mosaico que contiene chaparral en las laderas, y bosques de robles y arroyos al fondo de los cañones. Para los 1950s, utilizando maquinaria originalmente diseñada durante la Segunda Guerra Mundial para construir pistas de aterrizaje en las montañosas islas del Pacífico, era viable económicamente y técnicamente nivelar los montes de granito para construir desarrollos residenciales. Las montañas cercanas a las ciudades frecuentemente son de propiedad pública protegida por ser la fuente del agua. Pero Los Ángeles importa su agua de ríos a cientos de millas de distancia. A mediados de la década de 1960, más del 98 por ciento de los terrenos en las montañas de Santa Mónica estaba en manos privadas, muchas de ellas con la intención de nivelar los montes para construir miles de viviendas. El crecimiento acelerado de Los Ángeles durante las décadas de 1950s y 1960s cubría las montañas con fraccionamientos residenciales a un ritmo que amenazaba con cubrir las montañas con casas dentro de unas cuantas décadas.

La expansión de vivienda de alta densidad a los montes de Santa Mónica fue controlada debido a iniciativas ciudadanas que incentivaron a los gobiernos local, estatal y nacional a tomar medidas decisivas para la protección del paisaje natural. A finales de la década de los 1960s, una coalición altamente organizada, pro-activa y persistente de ciudadanos contiguos a las montañas en el poniente de Los Ángeles, asociaciones de colonos de las mismas montañas, y organizaciones ambientalistas como el Sierra Club cabildearon al gobierno a todos los niveles buscando la protección de la sierra. El apoyo enérgico de simpatizantes dentro del Concejo de la Ciudad de Los Ángeles, de la Legislatura Estatal de California, y en el Congreso de los Estados Unidos, resultó en acciones concretas a los tres niveles de gobierno para finales de los 1970s. Mediante negociaciones y anexiones, el estado adquirió 45 kilómetros cuadrados de terrenos privados, sin desarrollar, adyacentes a las áreas donde los desarrollos residenciales al borde

de Los Ángeles se expandían rápidamente hacia las montañas. En 1974 este terreno recientemente adquirido se convirtió en el Parque Estatal Topanga, en el cual se prohibió por completo cualquier construcción residencial, comercial o de carreteras. En 1978 el Servicio de Parques Nacionales del gobierno de los Estados Unidos estableció el Área de Recreo Nacional Montes de Santa Mónica para promover la protección de la naturaleza en toda la región montañosa. En 1979 el estado de California presentó un Plan Integral para toda la sierra de Santa Mónica al gobierno de los Estados Unidos. La legislatura estatal creó la Comisión para la Conservación de la Sierra de Santa Mónica (Santa Monica Mountains Conservancy) para implementar dicho Plan Integral, y todas las ciudades y gobiernos municipales de la región, sin obligación legal, acordaron con él en principio.

Tanto a la Comisión para la Conservación de la Sierra de Santa Mónica como al Servicio de Parques Nacionales se les encomendó la adquisición de terrenos, la protección de la naturaleza en los terrenos adquiridos, el desarrollo y mantenimiento de infraestructura recreativa como son los senderos, y la representación del Plan Exhaustivo en audiencias de gobiernos locales que trataban el desarrollo de terrenos privados. Ambos niveles de gobierno han perseguido sus metas redundantes con algunas diferencias en fuerza institucional, prioridades y estilos administrativos – las redundancias y diferencias les permiten lograr en conjunto lo que ninguno hubiera logrado por sí solo. Cerca del 40 por ciento de la Sierra de Santa Mónica ahora pertenece al gobierno nacional o estatal, y otro 15 por ciento está etiquetado para adquisición futura. Sin embargo, el área total con vegetación natural sigue disminuyendo gradualmente al ser desarrollados los terrenos privados para vivienda u otros proyectos remunerativos, como son viñedos.

La participación activa para promover el uso compatible de la propiedad privada ha sido una prioridad para las dependencias estatales y nacionales porque el uso en tierras privadas puede tener efectos de largo alcance sobre la salud ecológica de terrenos cercanos bajo protección gubernamental. El proceso de influenciar sobre el uso de terrenos privados ha sido extremadamente complejo, con resultados a veces exitosos y en otras ocasiones decepcionantes. Aún si gran parte de los terrenos privados eventualmente son usados para desarrollos urbanos o agrícolas, el compromiso a largo plazo de los gobiernos estatal y federal, de residentes lugareños, de usuarios recreativos y de ecologistas por proteger estas

tierras, nos garantiza que el paisaje de la región retendrá una representación significativa de ecosistemas naturales para generaciones futuras.

RESILIENCIA Y DESARROLLO SUSTENTABLE.

Resiliencia es la capacidad del ecosistema o sistema social para continuar funcionando a pesar de severos disturbios ocasionales (véase la Figura 11.3) Para comprender el concepto, imagine una liga elástica y un lazo de hilo. Si la liga se estira al doble de su tamaño original, regresará a su forma inicial una vez que se deje de ejercer presión sobre ella. La liga es *resiliente* porque rápidamente regresa a su forma original tras ser alterada por fuerzas externas. El lazo de hilo es muy distinto a la liga, porque se rompe si se le fuerza demasiado, y por lo tanto no es *resiliente*. Un edificio es *resiliente* si está diseñado para resistir sismos severos. Los sistemas sociales y ecosistemas son *resilientes* si logran recuperarse de disturbios severos.

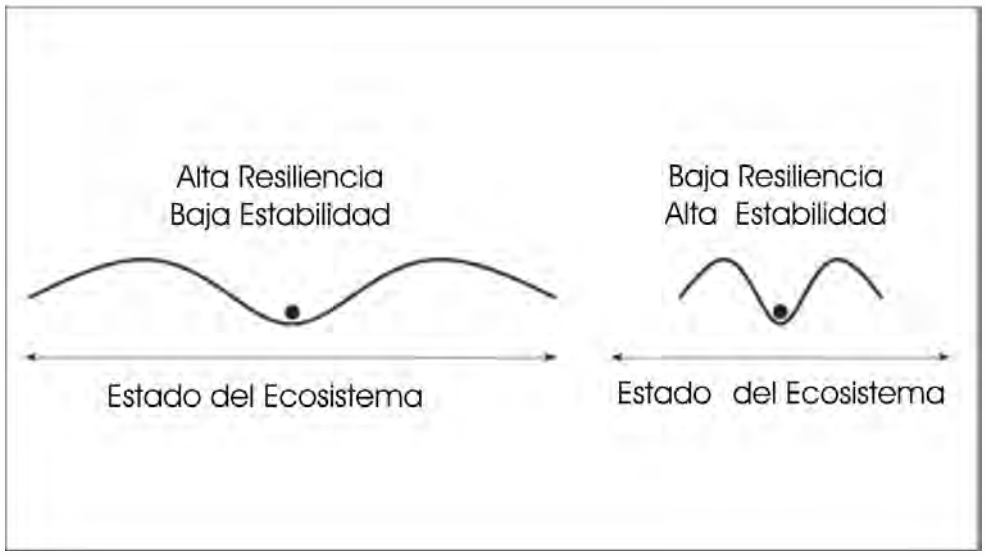


Figura 11.3 – Diagramas de dominios de estabilidad comparando alta y baja resiliencia.

Los ecosistemas resilientes son el fundamento de un sistema ambiental de abasto sustentable. Para que exista resiliencia es esencial poder anticipar cómo podrían fallar las cosas y hacer los preparativos para el peor de los casos. Hay muchas maneras de lograr la resiliencia:

- **Redundancia:** la duplicación y diversificación de funciones proporciona respaldos. Este principio es altamente visible en el diseño de las naves espaciales modernas, que tienen sistemas de respaldo extensos para poder reemplazar a cualquier parte averiada. La redundancia abunda en ecosistemas naturales. La presencia de diversas especies con nichos y papeles redundantes contribuye a la resiliencia de los ecosistemas.
- *Poca dependencia de insumos antropogénicos:* las interrelaciones sustentables entre la gente y los ecosistemas están relacionados con ecosistemas con pocos insumos antropogénicos. La naturaleza se encarga de casi todo. Los grandes insumos antropogénicos reducen la resiliencia porque tarde o temprano algo interferirá con la capacidad social de aportar dichos insumos. El colapso de las civilizaciones de Medio Oriente al taparse con sedimento los canales de irrigación es un ejemplo (véase el Capitulo 10).

La resiliencia es deseable, pero puede entrar en conflicto con otros objetivos sociales igual de benéficos. La eficiencia, por ejemplo, es fundamental para las empresas comerciales modernas ya que es necesario mantener bajos costos operativos para sobrevivir. La eficiencia económica y la resiliencia frecuentemente son incompatibles porque la redundancia que fortalece la resiliencia implica mayor costo y esfuerzo. La competencia del mercado global ejerce presión económica para reducir la resiliencia.

Incompatibilidad entre Estabilidad y Resiliencia

La **estabilidad** implica constancia – que las cosas permanezcan más o menos igual. La estabilidad es deseable si evita fluctuaciones indeseables. Por ejemplo, nuestros ingresos son estables si recibimos un sueldo cada mes. Son inestables si no recibimos ese pago de manera regular. La Figura 11.3 demuestra cómo la mayor estabilidad se relaciona con menor resiliencia. Los ecosistemas y sistemas sociales que rara vez sufren cambios fácilmente entran en otro dominio de estabilidad al aplicarse fuerzas externas que les obligan a incorporar cambios mayores a su capacidad para absorberlos.

La tecnología moderna y los grandes insumos de combustibles fósiles han brindado a la sociedad contemporánea la capacidad de crear un alto grado de estabilidad en la

mayoría de nuestras vidas, aislándonos de las fluctuaciones del medio ambiente. La calefacción y el aire acondicionado nos permiten vivir y trabajar a aproximadamente la misma temperatura ambiental todo el año. El sistema moderno de producción y distribución de alimentos abastece continuamente a los supermercados con una abundancia de alimentos. La debilidad del sistema consiste en su dependencia sobre grandes insumos energéticos para mantener la temperatura ideal o para producir y transportar alimentos. Estos grandes insumos aumentan la estabilidad, pero reducen la resiliencia.

Un conflicto común entre la estabilidad y la resiliencia es el de la pérdida de resiliencia cuando un sistema es tan estable que deja de ejercer su capacidad para resistir estrés. Podemos ilustrar esto con el desastre que siguió a una escasez de aceite combustible en el Noreste de los Estados Unidos hace algunos años. Los norteamericanos generalmente gozan de una abundancia de energía para calentar sus hogares. La mayoría no estaba preparada cuando hubo una crisis en el abasto del aceite durante un invierno particularmente severo. El resultado fue un asombroso número de muertes por hipotermia al faltar combustible para la calefacción. Los ancianos que rara vez salían de su casa durante el invierno carecían del vestuario indicado para las bajas temperaturas. Otros carecían del sistema de apoyo social necesario para sobreponerse a este tipo de emergencia.

Las planicies aluviales son otro ejemplo de la pérdida de resiliencia por falta de práctica. Un alto porcentaje de la población humana a nivel mundial vive en planicies aluviales porque la tierra fértil y agua abundante implican una alta capacidad para la producción de alimentos. El agua de los ríos se extiende sobre las planicies durante un breve periodo cada año, depositando una capa de lodo que mantiene la profundidad de la tierra y la fertilidad ideales para una agricultura altamente productiva. Sin embargo, las planicies aluviales tienen un inconveniente importante- las inundaciones también pueden dañar los cultivos, casas y demás propiedad. Casi siempre las inundaciones son ligeras y no causan daños, pero en ocasiones pueden ser severas.

Dado que han coevolucionado con el ecosistema, las sociedades de las planicies aluviales típicamente diseñan sus ecosistemas agrícolas y urbanos para minimizar el daño causado por inundaciones. Cultivan las regiones que no se inundan tanto. Si cultivan

arroz, utilizan una variedad especial de tallo largo que coloca a los granos sobre el nivel del agua para evitar que se dañe la cosecha. Construyen casas elevadas sobre pilotes, de manera que el agua fluya bajo ellas; almacenan sus alimentos en lugares seguros para evitar escasez en caso que la inundación dañe sus cultivos; y cuentan con instituciones sociales que ayudan a las victimas de inundaciones inusualmente severas. A pesar de estas adaptaciones, las inundaciones aún pueden causar daños, pero estos raramente son severos.

Es normal que la gente quiera evitar cualquier daño. En años recientes, la construcción de presas hidroeléctricas ha ayudado a prevenir inundaciones. Otras medidas, como los diques, evitan que las aguas de ríos se desborden y cubran la planicie aluvial. Estas medidas han reducido el daño de inundaciones a corto plazo, pero también han hecho que la relación entre los pobladores humanos y el ecosistema sea menos resiliente. Sin inundaciones, los ecosistemas de las planicies deterioran gradualmente debido a que se deja de depositar una capa de tierra nueva cada año y la tierra pierde fertilidad. Los agricultores compensan la reducción la fertilidad aplicando grandes cantidades de fertilizantes químicos, lo cual reduce aún más la resiliencia del ecosistema agrícola que ahora depende de estos insumos de fertilizantes. La producción agrícola decaería drásticamente si en un futuro subiera el precio de los fertilizantes, lo cual es muy posible dado que provienen de recursos no-renovables.

El control de las inundaciones puede reducir la resiliencia de la relación entre el sistema social y el ecosistema de otra manera – mediante la pérdida de las instituciones sociales y las tecnologías que protegen a la gente y a su propiedad de los daños causados por inundaciones. Una sociedad que controla las inundaciones "olvida" cómo diseñar sus ecosistemas agrícolas y urbanos para resistir inundaciones. Se cultiva en regiones fácilmente inundadas, las casas se construyen a nivel del piso, y gradualmente se pierden, por falta de uso, las demás instituciones sociales que reducen el impacto de las inundaciones severas. Sin embargo, tarde o temprano – quizá en 20 o 50 años – llega un temporal que causa que los ríos se desborden sobre los diques y presas. A pesar de las medidas de control, los daños son masivos porque ni el sistema social, ni los ecosistemas agrícolas y urbanos están ya estructurados para minimizar estos daños. La relación de la gente con su ecosistema de planicie aluvial ha perdido resiliencia – la capacidad de

enfrentar daños severos – porque la estabilidad que otorgan las medidas de control no permitió que el sistema social sintiera los efectos menores de las inundaciones anuales.

El conflicto entre la estabilidad y resiliencia es importante tanto para ecosistemas y sistemas sociales en otras formas. El ejemplo de prevención de incendios forestales del Capitulo 6 ilustra el conflicto entre estabilidad y resiliencia. Los administradores incrementaron la estabilidad apagando todos los incendios, pero redujeron la resiliencia porque la protección contra pequeños incendios incrementó la vulnerabilidad a los grandes incendios de destrucción masiva.

El uso de pesticidas químicos para controlar plagas agrícolas ha incrementado la estabilidad a costo de la resiliencia. Los agricultores tradicionales y orgánicos no utilizan pesticidas para controlar a los insectos que comen sus cultivos; en cambio dependen del control natural de depredadores que se alimentan de los insectos dañinos. El control natural es imperfecto, porque los depredadores no eliminan por completo a los insectos dañinos, sino que presa y depredador coexisten en el mismo ecosistema. En la agricultura tradicional u orgánica, normalmente el daño causado a la cosecha por insectos es de entre 15 y 20 por ciento, porque los depredadores evitan que la población de insectos nocivos aumente lo suficiente para causar daños severos. Sin embargo, ocasionalmente se sufren mayores daños.

El agricultor moderno busca menos daños debidos a insectos y mayor estabilidad, y para ello utiliza insecticidas químicos para matar a todos los insectos posibles. Lamentablemente los insecticidas matan tanto a insectos depredadores como insectos plaga, por lo que se pierde el control natural de plagas. Esto causa que el agricultor sea altamente dependiente de insecticidas. Sin control natural, las poblaciones de insectos dañinos pueden incrementar a niveles devastadores si se dejan de usar insecticidas. La situación empeora aún más cuando las plagas evolucionan resistencia fisiológica a los insecticidas. Los agricultores entonces son forzados a usar cantidades cada vez mayores de pesticidas en un circuito de retroalimentación positiva - *la trampa de los pesticidas*- entre más plagas y más insecticidas. Mientras que los insecticidas aumentan la estabilidad de la producción agrícola en la ausencia de resistencia a los pesticidas, la resiliencia es reducida porque el

daño sufrido al desarrollarse la resistencia en los ecosistemas agrícolas que carecen de control natural, puede ser devastador. Con algunos cultivos, como el algodón, la espiral que aumenta el uso de insecticidas puede crecer hasta que el costo de los insecticidas sea tan alto que la cosecha deja de ser rentable para el agricultor.

La medicina moderna tiene un problema similar con el uso de farmacéuticos para controlar enfermedades como el paludismo y la tuberculosis. Mientras que las drogas son de utilidad obvia, su uso a gran escala puede resultar en variedades de patógenos resistentes al medicamento de la misma manera que el uso de insecticidas resulta en resistencia por parte de los insectos. La estabilidad (bajos niveles de enfermedad) lograda por la medicina moderna va de la mano de una pérdida de resiliencia debido a la dependencia en los farmacéuticos. El riesgo de epidemias con variedades resistentes a drogas puede ser particularmente serio si:

- La población humana ha perdido su inmunidad a la enfermedad;
- Se han abandonado, por falta de necesidad, las instituciones sociales que evitaban la enfermedad de otras maneras.

El conflicto más serio entre la estabilidad y la resiliencia tiene que ver con la seguridad alimenticia. Aunque los países ricos tienen un abasto estable y abundante de alimentos, el almacenamiento de alimentos ha disminuido de manera drástica en la última década. El abasto abundante de las sociedades más acaudaladas crea una ilusión de seguridad poco realista. Al mismo tiempo la ciencia y el desarrollo económico aumentan la producción alimenticia, la degradación ambiental y el deterioro de reservas de agua dulce están reduciendo el potencial. Existe la posibilidad de crisis agrícolas repentinas e inesperadas debido al cambio climático. Naciones como el Japón, que importa el 60% de sus alimentos, son particularmente vulnerables.

La importancia de la estabilidad y resiliencia para el desarrollo sustentable puede expresarse en términos de ciclos de sistemas complejos. La armonía con la naturaleza al hacer las cosas “naturalmente”, evitando dañar los sistemas ambientales de la Tierra es fundamental para el desarrollo sustentable; pero el desarrollo sustentable no es tan solo un *equilibrio* estático con el medio ambiente. El desarrollo sustentable implica más que hacer

que el mundo funcione sin dificultades. Las fluctuaciones y desastres naturales son hechos inevitables de la vida. Por ello el diseño resiliente es parte esencial del desarrollo sustentable. La clave de la resiliencia es la capacidad de *reorganizarse* cuando las cosas fallan, de manera que la *disolución* sea lo más breve e inocua posible.

¿Qué hacer con el conflicto entre estabilidad y resiliencia cuando ambas son deseables? Lo mejor, es tener un balance. El sistema social debe estructurar su relación con el ecosistema de manera tal que ni la estabilidad, ni la resiliencia, sea enfatizada una a costas de la otra. Esto implica usar estrategias resilientes para lograr un nivel aceptable de estabilidad.

DESARROLLO ADAPTATIVO

El desarrollo adaptativo es la habilidad institucional de enfrentar cambios. Puede contribuir significativamente al desarrollo ecológicamente sustentable al cambiar partes del sistema social para que éste funcione en conjunto con el ecosistema de una manera más sana. El desarrollo adaptativo trata los temas de supervivencia y calidad de vida. El desarrollo adaptativo hace más resiliente la interrelación entre humanos y ecosistemas. Más que simplemente reaccionar a problemas, implica anticiparlos o detectarlos lo más temprano posible, tomando las medidas necesarias para hacerles frente antes que se agraven. El desarrollo adaptativo es un camino hacia el desarrollo sustentable que simultáneamente fortalece la capacidad de enfrentar problemas serios que inevitablemente surgirán si no se logra un desarrollo sustentable.

Los dos elementos básicos del desarrollo adaptativo son: 1) una evaluación regular de lo que sucede en el ecosistema; y 2) tomar medidas correctivas. La clave de la evaluación ecológica es la capacidad para percibir lo que realmente ocurre dentro del ecosistema. La clave de las medidas correctivas es una comunidad plenamente funcional. El desarrollo adaptativo requiere de organización, compromiso, esfuerzo y valor a todos los niveles de la sociedad para identificar los cambios necesarios e implementarlos. La sociedad evalúa sus valores, percepciones, instituciones sociales y tecnologías y las modifica según sea necesario.

¿Qué valores son importantes para el desarrollo ecológicamente adaptativo? Un ejemplo es la importancia que damos al consumo material en cuanto a nuestra calidad de vida. Todos necesitamos alimento, vestimenta y cobijo, ¿pero qué tanto más necesitamos? La escala de nuestro consumo material tiene un impacto crítico sobre el desarrollo sustentable debido a las exigencias del consumo sobre los ecosistemas. Cuando pensamos profundamente sobre lo más importante para nosotros, normalmente identificamos necesidades sociales y emotivas que tienen que ver con la familia, los amigos y la ausencia de estrés. La sociedad moderna ha amplificado el consumo material con una creencia en que un mayor número de posesiones nos ayudará a cubrir esas necesidades básicas, una creencia reforzada por publicidad que enfatiza cómo diversos productos contribuyen a nuestra plenitud sexual, amistades, recreo u otras necesidades emocionales. El resultado es un espiral de consumo ascendente que pretende satisfacer nuestras necesidades más básicas, pero que pocas veces lo consigue.

Los valores modernos en torno a las posesiones materiales están relacionados a nuestra percepción de que el crecimiento económico es fundamental para una buena vida. Líderes políticos nos dicen que el crecimiento económico es su máxima prioridad, mientras que los "expertos" en los medios de comunicación refuerzan constantemente la noción de que un alto nivel de consumo (confianza del consumidor) es esencial para el pleno empleo y una economía sana. La relación del crecimiento económico con el desarrollo sustentable es uno de los temas de mayor trascendencia en nuestros tiempos porque la continua expansión del consumo material es ecológicamente imposible. ¿Qué tipo de crecimiento económico es sustentable? ¿Cómo podemos mantener una economía saludable y satisfacer nuestras necesidades humanas sin exigir demasiado de los ecosistemas? El desarrollo adaptativo mantiene un diálogo público en temas claves como éstos y pide a los líderes políticos que rindan cuentas al respecto.

El desarrollo adaptativo para una sociedad sustentable implica velar por el prójimo – cuidar la comunidad, custodiar a generaciones futuras, y atender los habitantes no-humanos del planeta. Requiere verdadera democracia y justicia social ya que las decisiones y acciones que valoran el futuro requieren de plena participación comunitaria. Cuando un pequeño número de individuos ricos o políticamente influyentes controlan el uso de los

recursos naturales, frecuentemente lo hacen buscando el provecho propio a corto plazo. Las sociedades se ven limitadas en su capacidad de responder de manera adaptativa siempre que unos cuantos privilegiados tienen la autoridad para obstruir el cambio cuando dicho cambio amenaza sus privilegios.

Las comunidades locales fuertes y dinámicas son el núcleo del desarrollo adaptativo. La democracia tiene mayor participación, y funciona mejor, a nivel local. Toda interacción con el medio ambiente es, en última instancia, local. Considere la explotación de los bosques. Aunque la deforestación la mueven procesos sociales de gran escala como la expansión urbana y agrícola, los mercados internacionales de madera, y la organización del comercio por corporaciones multinacionales, los árboles son talados, ya sea con hachas o excavadoras, por individuos. Cuando los lugareños controlan sus propios recursos ningún árbol puede ser talado a menos que los habitantes locales lo permitan. Lo mismo sucede con ciudades que son transformadas en "junglas de concreto", Los ciudadanos pueden permanecer pasivos, consintiendo a que los inversionistas transformen el paisaje urbano siempre de manera más redituable. O bien pueden tomar el control de sus ciudades y permitir únicamente el desarrollo que cuadre con su visión de una ciudad más humana y llevadera – una visión que normalmente incluye paisajes diversos y amenos, con áreas naturales, parques y demás espacios para actividades comunitarias.

Las crisis concretas en temas de peso local pueden movilizar a comunidades a tomar acciones que eventualmente les permitan tomar el control y forjar su propio destino en un frente más amplio. Los detalles pueden variar, pero los siguientes puntos ilustran algunas acciones de largo alcance:

- *Revertir tendencias indeseables:* Las comunidades evalúan su actual condición social o ecológica, así como los cambios de décadas recientes. Fortalecen apoyos a ancianos, la seguridad, oportunidades de recreo constructivo para los niños, o lo que sea más importante en cada caso particular. Evalúan el balance de ecosistemas naturales, agrícolas y urbanos en su ciudad y en regiones colindantes. Si el mosaico paisajístico no está en equilibrio, toman iniciativas para corregir el rumbo.

- Anticipar desastres: las comunidades se preparan para terremotos, inundaciones, sequías, seguridad alimenticia o lo apropiado a su situación. Parte de la preparación es en cuanto a la respuesta de emergencia, pero también se toman medidas preventivas para minimizar la severidad del desastre, o incluso el riesgo mismo de que éste ocurra. Por ejemplo, los agricultores pueden desarrollar métodos de cultivo resistentes a la sequía en regiones donde las sequías puedan incrementar con el cambio climático. Las comunidades pueden reforzar su autosuficiencia alimenticia formando cooperativas que compren la producción agrícola local y creando mercados para los agricultores locales.

No es indispensable que la organización comunitaria tenga un enfoque ambientalista para que contribuya al desarrollo ecológicamente sustentable. La organización comunitaria para cualquier meta creará la capacidad para identificar y responder a inquietudes ambientales. El primer paso es formar una visión sobre el tipo de vida que la comunidad desea tener, ahora y a futuro – una visión que integre el ambiente social y ecológico. Este tipo de visión comunitaria es sensible al paisaje. Y es sensible a posibles dificultades futuras. ¿Existen problemas de seguridad alimenticia o en cuanto al abasto de agua? Esta visión da respuesta a temas de dependencia o autonomía con respecto al resto del mundo. ¿De qué manera más o menos autosuficiencia sería benéfica para la comunidad? ¿Qué necesidades especiales existen que únicamente la comunidad local puede satisfacer?

El actuar con una visión comunitaria requiere de experimentación. Son esenciales las capacidades de percibir claramente y de articular alternativas, así como la creatividad e imaginación para crear nuevas posibilidades. El desarrollo adaptativo significa experimentar con las posibilidades de manera que permita expandirlas si son útiles o descartarlas en caso contrario. En nuestra actualidad de comunicaciones globales, el desarrollo adaptativo significa crear redes de apoyo para compartir experiencias. Implica estimular y apoyar a comunidades vecinas, y lejanas, a que también se hagan más sustentables.

¿Cómo puede darse todo esto? Gran parte de la respuesta tiene que ver con la educación ambiental y comunitaria. La educación moderna nos obliga a dedicar miles de

horas a adquirir habilidades para nuestro éxito profesional, pero nuestras habilidades ecológicas y comunitarias son limitadas. La educación ambiental y comunitaria es aprender a forjar visiones comunitarias y a pensar claramente en políticas alternativas. Es la capacidad de pensar estratégicamente en ecosistemas locales respecto a su totalidad y sus partes – y las conexiones entre sistemas sociales y ecosistemas.

¿Es un sueño utópico el desarrollo comunitario? De hecho el desarrollo adaptativo no es cosa nueva. El desarrollo adaptativo consta en gran parte del sentido común que ha guiado a comunidades sustentables funcionales durante miles de años. El desarrollo adaptativo no solo es sobre el medio ambiente, sino que afecta a cada aspecto de la manera en que una sociedad es viable.

Por supuesto, la acción comunitaria cuesta tiempo, atención y esfuerzo en desarrollar relaciones interpersonales. Muchos piensan que les falta tiempo, o prefieren evitar el esfuerzo, pero una vez que disfruten las recompensas de lograr cosas útiles con sus vecinos, les valdrá la pena. Las hortalizas comunitarias son una manera de promover solidaridad comunitaria mientras se incorpora una perspectiva ecológica. La mayoría disfruta de la jardinería en convivencia con su familia y sus vecinos. Valoran la comida fresca que les da la hortaliza, y la jardinería les pone en contacto con el ecosistema de diversas maneras. Las hortalizas orgánicas tienen un potencial particular para fomentar una conciencia ecológica.

¿Realmente puede darse el desarrollo adaptativo para una sociedad ecológicamente sustentable? Hay razones para ser optimistas. Las corporaciones se están adaptando a la conciencia ecológica de sus clientes desarrollando productos ecológicamente amigables. El sector privado responde a problemáticas ambientales con nuevas tecnologías. Quizá aún más importante es el hecho de que un número cada vez mayor de corporaciones incluyen el desarrollo sustentable entre sus metas institucionales. Ya se han dado cuenta de que su éxito a futuro depende de la salud ambiental del planeta.

Un ejemplo de la capacidad de adaptación del sector privado en cuanto a tecnología es su cooperación con gobiernos para afrontar el problema de la degradación de la capa de ozono. La historia del ozono comenzó con el descubrimiento de que los clorofluorocarbonos (CFC) utilizados primordialmente para refrigeración, estaban

destruyendo la capa de ozono que protege al planeta de radiación ultravioleta. Dentro de pocos años se lograron acuerdos internacionales para sustituir a los CFC con químicos ambientalmente inocuos y la industria cumplió con la implementación de los acuerdos. Parece que están emergiendo historias similares en la industria energética en torno a las reservas limitadas de petróleo y gas natural del planeta. El uso de hidrógeno para almacenar y transportar energía se explora cada vez más, y las tecnologías alternativas como paneles solares y molinos eólicos experimentan un crecimiento acelerado. Todo esto es muy positivo, pero la capa de ozono no ha sanado, ni se ha resuelto la dependencia de hidrocarburos. Alarmantemente, algunas industrias continúan obstruyendo tecnologías y productos que compiten con sus mercados actuales.

Hay menos razones para ser optimistas en cuanto a adaptaciones que entran en conflicto con los fundamentos básicos de la sociedad moderna. El cambio climático es un ejemplo. Las reducciones en emisiones de gases invernadero, en particular de dióxido de carbono, atentan contra el núcleo de la dependencia de la sociedad moderna en cantidades masivas de energía de combustibles fósiles. En 1997 el Protocolo de Kyoto fijó una meta internacional para reducir las emisiones de carbono de las naciones industrializadas en un 5 por ciento dentro de los diez años subsiguientes. Algunas naciones promovieron esta meta con entusiasmo, otras la aceptaron con desgana. Países en desarrollo, entre ellos algunos en proceso de industrialización y responsables de emisiones masivas de dióxido de carbono, se rehusaron a comprometerse a cualquier restricción sobre sus emisiones. Aunque el Protocolo de Kyoto es significativo como el primer paso de cooperación internacional en respuesta al cambio climático, las acciones dictadas por el Protocolo de Kyoto son demasiado modestas como para tener importancia práctica. Estudios de simulaciones computacionales han indicado que aún si toda nación cumple rigurosamente con el Protocolo de Kyoto, los gases invernadero continuarán acumulándose en la atmósfera, y que el incremento en la temperatura promedio del planeta durante los próximos 50 años se verá reducido en menos de 0.1 grados centígrados, comparado con el incremento esperado en la ausencia de implementación del tratado – una diferencia insignificante. Los estudios computacionales indican que la plena implementación del Protocolo de Kyoto reduciría el número de personas en riesgo de inundaciones costeras debido a una subida del nivel del mar durante los próximos 50 años en tan solo una similar proporción insignificante. El

impacto sobre los cambios climáticos regionales sería prácticamente nulo. Lamentablemente ni las naciones industrializadas ni aquellas en vías de desarrollo están dispuestas a considerar seriamente mayores reducciones en las emisiones de dióxido de carbono, que son necesarias para tener un impacto verdadero sobre el cambio climático.

¿Qué pueden hacer los gobiernos a favor del desarrollo adaptativo? Obviamente deberían aceptar realidades tales como el cambio climático y hacer su mejor esfuerzo por resolver las problemáticas ambientales a nivel regional, nacional e internacional. De igual importancia es que los gobiernos eduquen a sus ciudadanos sobre temas ambientales y apoyen la capacidad de comunidades locales, mediante asistencia didáctica y material, para lograr el desarrollo adaptativo. Las comunidades locales deben exigir esta asistencia por parte de gobiernos. Los gobiernos pueden facilitar y apoyar a comunidades en la implementación de distritos ambientales, similares a los distritos escolares de muchos países.

Las organizaciones no-gubernamentales (ONG) han desarrollado un papel crucial en promover un diálogo mundial sobre temas ambientales. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 reunió a gobiernos, ONG, el sector privado y otros. Aunque el proceso no ha sido fácil, dichos foros refuerzan la interdependencia de temas globales y locales, y la necesidad de colaborar a todos los niveles.

Las ONG pueden catalizar el desarrollo adaptativo. Mientras que las ONG varían enormemente en su organización y misión, un breve ejemplo ilustrará su potencial. Las organizaciones conservacionistas se han dado cuenta de que sus esfuerzos por proteger ecosistemas naturales como reservas frecuentemente son socavados por actividades humanas en áreas circundantes – entre estas, actividades esenciales a la supervivencia de los habitantes. En respuesta adaptativa, algunas organizaciones conservacionistas están formando empresas para aprender y demostrar cómo realizar actividades económicas sin detrimento al ecosistema natural. Por ejemplo, han formado alianzas con compañías madereras para administrar bosques en maneras que no solo son sustentables para la producción maderera, sino que mantienen ecosistemas de bosque natural como parte ïntegra

del mosaico paisajístico. Han creado cooperativas con pescadores de arrecifes para garantizar un abasto sustentable de pescado y al mismo tiempo proteger la singular biodiversidad de los arrecifes. Otras han formado cooperativas con agricultores para lograr la compatibilidad entre la agricultura y los ecosistemas naturales de la misma cuenca. Donde la sedimentación por erosión amenaza a estuarios u otros ecosistemas las alianzas entre conservacionistas y agricultores brindan apoyo técnico y mercadeo para garantizar ingresos satisfactorios con métodos de cultivo que minimizan la erosión.

Ambiente social
Las características de ambientes sociales incluyen:

- Educación (por ejemplo, memorización o aprende a pensar);
- Ver televisión y jugar videojuegos o jugar al aire libre con amigos;
- Barrio seguro o temor al crimen
- Trabajar cerca de su casa versus tener que viajar largas distancias para trabajar.
- El acceso igualitario/desigual de mujeres a oportunidades profesionales.

Ambiente Urbano
Las características del ambiente urbano incluyen:

- Tráfico;
- Calidad de aire;
- Vivienda (por ejemplo, de alta densidad o baja densidad);
- Parques y áreas naturales en la ciudad;
- Lugares para actividades comunitarias.

Ambiente Rural
Las características de ambientes rurales incluyen:

- Oportunidades recreativas;
- Bosques como fuente de agua limpia, madera, biodiversidad, recreo, etc.
- Seguridad y abasto alimentario.

Ambiente Internacional
Las características de ambientes internacionales incluyen:

- Fuentes de alimentos y recursos naturales;
- Oportunidades de recreo y turismo;
- Impactos de la cultura popular global;
- Impactos de la economía global.

Recuadro 11.1 – Ejemplos de ambientes y sus características

¿Qué puede hacer el individuo? Pueden aportar una perspectiva de ecología humana y un compromiso con el desarrollo sustentable a su empleo, y pueden organizar los detalles de su vida cotidiana para estar en mayor armonía con el medio ambiente. De igual importancia es el trabajo que pueden hacer por la viabilidad de su propia comunidad – ayudar a formar una visión comunitaria; evaluar el estado ecológico de su región y los

cambios en el paisaje local; colaborar con los sistemas de apoyo comunitario; y en general, integrar a largo plazo la salud ambiental y resiliencia a su comunidad. Pueden enseñar lo que es el desarrollo sustentable a sus vecinos y despertar su deseo de participar en el proceso de fijar un rumbo ecológicamente sustentable a futuro. Ya lo dijo la eminente antropóloga Margaret Mead, "Nunca dude de que un pequeño grupo concienzudo de ciudadanos comprometidos puedan cambiar al mundo; de hecho, es lo único que lo cambia."

PUNTOS DE REFLEXIÓN

1. ¿De qué manera puede incorporar resiliencia en su vida personal? ¿Cómo lo hace la sociedad en que vive? ¿De qué manera es débil la resiliencia de su comunidad, país o el mundo? ¿Qué puede hacerse para mejorar la resiliencia en esas instancias?
2. Piense en ejemplos del conflicto entre estabilidad y resiliencia en su vida personal. Piense en ejemplos en la sociedad en que vive. ¿Están en balance la estabilidad y la resiliencia? ¿Qué puede hacerse para lograr un mejor balance?
3. Acordar sobre un reglamento para el uso de recursos comunes es fundamental para el uso sustentable del recurso. Piense en ejemplos concretos de instituciones sociales que evitan la Tragedia de los Recursos Comunes, utilizando información de periódicos, revistas o experiencia personal. Luego piense en las instituciones sociales de su sociedad para usar recursos como el petróleo, minerales, agua y la tierra. ¿Son efectivas para un uso sustentable? ¿Se le ocurren maneras de mejorarlas desde esta perspectiva?
4. ¿Para qué tipo de contingencias públicas está organizada su comunidad? ¿Algunas son ambientales? ¿Existen inquietudes ambientales para las que no hay respuesta comunitaria a pesar de que usted piense que debería haberla? ¿Cómo cree que podría educarse a su comunidad para que establezca prioridades indicadas en su interrelación con los ecosistemas?
5. ¿Qué papel desempeñan los gobiernos locales, estatales y nacionales en formar la interrelación entre humanos y ecosistemas en su país? ¿Qué papel desempeñan las corporaciones? ¿Qué pueden hacer los ciudadanos para que gobiernos y corporaciones sigan políticas más ecológicamente sustentables?

6. La planificación estratégica es una forma de comenzar actividades constructivas en apoyo al desarrollo ecológicamente sustentable de su comunidad. Platique con sus amigos para descubrir sus opiniones con respecto a los siguientes pasos de planificación estratégica:
    - Una visión ideal de su comunidad dentro de 20 años. ¿Qué tipo de vida quiere para sus hijos y nietos? ¿Qué tipo de medio ambiente quiere que tengan sus hijos y nietos para que tengan la oportunidad de vivir esa vida? La visión puede incluir lo que quieren resguardar, así como lo que hace falta mejorar. "Ambiente" puede tener un amplio significado, que incluye ambientes sociales y urbanos, así como ecosistemas naturales y agrícolas (Recuadro 11.1)
    - Obstáculos para realizar la visión. ¿Qué problemas ambientales podrían evitar el tipo de vida que definió en su visión? Puede incluir problemas actuales y que necesitan ser atendidos (por ejemplo, la calidad de aire en las ciudades), así como cosas que actualmente no son problema pero que podrían llegar a serlo a futuro si continúan ciertas tendencias. (Por ejemplo, la actual destrucción de bosques o tierras agrícolas debido a la expansión urbana aún no tiene consecuencias graves en algunos lugares, pero podría llegar a tenerlas). También puede pensar en temas que no son problema actual, pero que de manera repentina podrían serlo (por ejemplo, la seguridad alimenticia).
    - Acciones para vencer los obstáculos. Decida qué puede hacer su comunidad en respuesta a los problemas ambientales identificados previamente. ¿Qué puede hacer el individuo? ¿Cómo empezar? ¿Cuales son los obstáculos institucionales a las actividades exitosas? ¿Cómo pueden superarse las dificultades institucionales? ¿Puede hacerlo por su cuenta o necesita la cooperación de gobiernos locales o nacionales, del sector privado o de organizaciones no gubernamentales?

CAPITULO 12

Ejemplos de Desarrollo Ecológicamente Sustentable

Este capítulo presenta dos casos de estudio que ilustran muchos de los conceptos incluidos en este libro. El primero trata una eco-tecnología, y el segundo es sobre un programa ambiental regional. Participé personalmente en ambos.

En la actualidad hay tantas tendencias contemporáneas que parecen alejarse del desarrollo ecológicamente sustentable. ¿Cómo podemos facilitar el desarrollo sustentable frente a estas tendencias? Estos casos de estudio comienzan mostrando cómo los cambios en el sistema social humano modificaron la interrelación entre personas y ecosistemas de maneras que a su vez han alterado el ecosistema con consecuencias adversas para las personas. Cada caso después ilustra cómo la gente puede traducir sus ideas ambientalistas en acciones concretas para darle un rumbo más sano y sustentable a la interrelación entre personas y ecosistemas.

Estos ejemplos ilustran las recompensas de atender tanto a inquietudes ambientales como sociales de manera balanceada al hacer frente a problemáticas ambientales. No pueden esperarse respuestas eficaces y duraderas cuando las soluciones excluyen la realidad ecológica y se enfocan exclusivamente en consideraciones políticas y económicas, o cuando se enfocan exclusivamente en consideraciones ambientales e ignoran realidades sociales. Los casos de estudio demuestran cómo personas verdaderas son las responsables de desarrollar ideas innovadoras y del proceso para transformarlas en realidad. El desarrollo sustentable no es algo que los demás harán por nosotros. Es algo que todos debemos hacer en conjunto.

EL DENGUE HEMORRAGICO, LOS MOSQUITOS Y COPEPODOS: UN EJEMPLO DE ECO-TECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE.

El dengue hemorrágico es una enfermedad "emergente" que se conoce tan solo desde 1950. Este caso demuestra cómo la modernización puede resultar en problemas de salud pública y cómo la acción comunitaria de enfoque ecológico puede contribuir a soluciones sustentables.

La Enfermedad y el Mosquito

El dengue es causado por un flavivirus pariente del de la Fiebre Amarilla. Puede que haya originado en primates no-humanos, que siguen siendo su reservorio natural en África y Asia. Los primates no-humanos no muestran síntomas, pero los humanos pueden enfermar de gravedad. Las primeras infecciones de dengue en la niñez suelen ser leves y pasar desapercibidas, pero una primera infección en adultos puede ser severa. La mortandad es rara, pero las altas fiebres, escalofríos, dolor de cabeza, vómitos, dolor muscular, dolor de los huesos, y una debilidad extrema que puede durar más de un mes después de resuelta la fiebre hacen que muchos adultos consideren al dengue como la peor enfermedad que han sufrido.

El dengue hemorrágico es una variante más mortífera del dengue. No lo causa otra cepa del virus, sino que surge del hecho que existen cuatro cepas distintas. La infección con una cepa resulta en inmunidad de por vida a esa cepa, pero también crea anticuerpos que incrementan la susceptibilidad de infección por las tres variantes restantes. El dengue hemorrágico normalmente sucede cuando la infección con una cepa es seguida un año o más tarde por una segunda infección con otra cepa. Aproximadamente el 3 por ciento de las segundas infecciones causan dengue hemorrágico, y cerca del 40 por ciento de los casos hemorrágicos entran en un síndrome de choque que puede ser fatal. El síntoma más grave es el desangrado de los vasos capilares a los tejidos y cavidades corporales, a veces acompañado de severas hemorragias gastrointestinales. No existe medicamento para contrarrestar al virus, pero la deshidratación puede tratarse con electrolitos orales en casos leves, o intravenosos en casos severos. La mayoría de las víctimas del dengue hemorrágico tienen menos de 15 años. Sin tratamiento, cerca del 5 por ciento de los casos son fatales, pero con atención adecuada este porcentaje se reduce a menos de 1 por ciento.

El mosquito *Aedes aegypti* es el **vector** principal tanto del dengue como de la fiebre amarilla. Originalmente fue un mosquito africano que se reproducía en cavidades de troncos, pero hace mucho que se adaptó a la vida urbana. Los *Aedes aegypti* ahora se reproducen en contenedores como tanques, pozos, alcantarillas obstruidas, y en objetos que acumulan agua de lluvia, como llantas y frascos. La hembra coloca sus huevos a un costado del contenedor, a pocos milímetros sobre la superficie del agua. Los huevos pueden permanecer así secos durante meses, pero las larvas eclosionan a escasos minutos de que los huevos queden sumergidos en agua. Generalmente esto únicamente sucede al agregársele agua al contenedor, lo cual aumenta la posibilidad de que el contenedor tenga suficiente agua como para que la larva complete su ciclo de desarrollo antes de que se seque el contenedor.

Mientras que el macho se alimenta exclusivamente de fluidos vegetales, las hembras obtienen los nutrientes necesarios para desarrollar sus huevos de la sangre de animales. Cuando la hembra bebe sangre de una persona infectada con dengue, el virus se multiplica en su cuerpo, y entre 7 y 15 días más tarde (dependiendo de la temperatura ambiente) carga suficiente virus para infectar a otras personas. La transmisión del virus se da a tasas más altas en climas tropicales, donde la acelerada reproducción viral a altas temperaturas hace más probable que un mosquito infectado sobreviva lo suficiente para propagar la infección.

Historia del Dengue

A partir del siglo XVI con la expansión del colonialismo y comercio Europeo, el mosquito *Aedes aegypti* se propagó alrededor del mundo, viajando en los contenedores de agua de embarcaciones. Tanto el virus como el mosquito existieron en Asia sin graves consecuencias debido a que la distribución de *Aedes aegypti* era limitada por *Aedes albopictus*, un mosquito asiático que a pesar de ser fisiológicamente capaz de transmitir el dengue, en la práctica no ha sido un factor significativo de transmisión en brotes del virus. Los árboles y arbustos abundaban en los pueblos y ciudades de Asia, y *Aedes albopictus* competía exitosamente con A*edes aegypti* mientras había vegetación.

La situación en las Américas fue muy distinta. A falta de competencia de parte de cualquier mosquito como *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti* prosperó en las ciudades y poblados. Sabemos que *Aedes aegypti* era común en las Américas debido a las numerosas epidemias de fiebre amarilla que se dieron después de la introducción del virus con el tráfico de esclavos africanos en el siglo XVI. El historial para el dengue no es tan claro porque sus síntomas no lo diferencian de otras enfermedades, pero es probable que el dengue haya sido común en gran parte de las Américas durante siglos. Hubo una epidemia de dengue en Filadelfia en 1780. Y el dengue fue común hasta la década de 1930 en pueblos y ciudades de las costas Atlántica y del Golfo de Estados Unidos.

El dengue probablemente se propagó de la mano con *Aedes aegypti*, pero sin llamar mucha atención, aún con altas tasas de infección, porque la mayoría de los infectados eran niños cuyos síntomas eras ligeros. Las devastadoras epidemias de fiebre amarilla eran otra cosa. El *Aedes aegypti* llamó la atención mundial cuando Walter Reed comprobó en 1900 que este mosquito era el responsable de transmitir la fiebre amarilla. Se iniciaron campañas en las Américas para eliminar los focos de reproducción del mosquito alrededor de viviendas. Durante los 1930s la Fundación Rockefeller movilizó un ejército virtual de inspectores gubernamentales en Brasil para identificar y eliminar sitios donde pudiese reproducirse el mosquito. Los inspectores tenían la autoridad legal para entrar a establecimientos, destruir contenedores, aplicar aceite o larvicidas e imponer multas. Fue posible consolidar la erradicación del Aedes aegypti barrio por barrio, sin re-invasiones, porque el mosquito normalmente viaja menos de 100 metros en toda su vida. La campaña fue tan efectiva que para principios de los 1940s, se había erradicado al *Aedes aegypti* de gran parte del Brasil.

Aunque hubo brotes de algo parecido al dengue hemorrágico en Queensland, Australia en 1897 y de nuevo en Grecia en 1928, no se reconoció la enfermedad de dengue hemorrágico hasta 1956 porque era tan inusual que existiera más de una cepa en la misma región. Todo cambió con la Segunda Guerra Mundial, cuando gran número de personas, junto con las cuatro cepas del dengue, estuvieron rotando en el trópico Asiático. Hubo numerosas epidemias de dengue durante la guerra al introducirse el virus a regiones donde

la población carecía de inmunidad. Aparecieron casos con los síntomas del dengue hemorrágico en Tailandia en 1950. La primera epidemia reconocida de dengue hemorrágico se dio en las Filipinas en 1956, seguida de epidemias en Tailandia y otras regiones del Sureste Asiático. El crecimiento urbano desmedido en los países en vías de desarrollo durante las siguientes décadas expandió dramáticamente el hábitat reproductivo de *Aedes aegypti*. El paisaje urbano brindaba una abundancia de tanques y contenedores que recogían agua pluvial en barrios sin los servicios básicos de agua potable, alcantarillado y recolección de basura. La eliminación de vegetación en las ciudades Asiáticas eliminó la competencia de mosquitos como el *Aedes albopictus*, facilitando la expansión del *Aedes aegypti*.

La aparición del DDT en 1943 probablemente demoró la aparición del dengue hemorrágico. El DDT era un milagro. Era inocuo para los vertebrados a concentraciones usadas para matar insectos, y seguía siendo efectivo a meses de su aplicación. En 1955 la Organización Mundial de la Salud comenzó una campaña global para rociar con DDT cada casa en regiones de transmisión del paludismo. Para mediados de los 1960s el paludismo casi había desaparecido de muchas regiones, y al mismo tiempo el *Aedes aegypti* había desaparecido de gran parte de América Latina y da algunas regiones de Asia, como Taiwán.

El fracaso de la estrategia DDT

El increíble éxito del DDT duró poco tiempo ya que los mosquitos desarrollaron resistencia que rápidamente se extendió por el mundo. Los gobiernos de países en vías de desarrollo no pudieron continuar fumigando cuando las alternativas al DDT, como el malathion, costaban hasta diez veces más. A finales de los 1960s el paludismo regresó con fuerza, y para mediados de los 1970s el *Aedes aegypti* había regresado a la mayoría de las regiones de las cuales había sido erradicado. El dengue no regresó a los Estados Unidos porque las mallas mosquiteras y los sistemas de aire acondicionado facilitaron una vida tras paredes que redujo el contacto entre las personas y los mosquitos. Sin embargo, las cuatro cepas y el dengue hemorrágico se expandieron rápidamente en el trópico asiático, estableciéndose en ciclos recurrentes de brotes de dengue al circular las cuatro variantes.

El dengue hemorrágico incursionó en las Américas en 1981 con una epidemia en Cuba que hospitalizó a 116,000 personas en tres meses. El dengue rápidamente se extendió por gran parte de Latinoamérica, a veces causando epidemias de cientos de miles de personas, pero el dengue hemorrágico era esporádico ya que generalmente circulaba una sola variante regional. Aunque el dengue era común en gran parte del África al sur del Sahara, no fue un gran problema ya que los Africanos en general son resistentes a infecciones severas de dengue.

Las condiciones sociales y políticas para enfrentar al *Aedes aegypti* han cambiado enormemente desde las campañas contra la fiebre amarilla de principios del siglo pasado. Algunos países ricos han continuado fumigando casas con insecticidas nuevos, otros como Cuba y Singapur han implementado inspecciones domiciliarias y multas para eliminar sitios donde el mosquito se pueda reproducir. Sin embargo, la mayoría de los países carecen de la voluntad política y de los recursos financieros y organizativos necesarios para implementar este tipo de programas. Los **larvicidas** químicos que matan las larvas del mosquito, y después un larvicida biológico (B*acillus thuringiensis*), pudieron usarse para tratar depósitos de agua. Sin embargo, la gente normalmente se muestra indispuesta a aplicar pesticidas al agua. Y aun cuando estén dispuestas, estos deben aplicarse semanalmente para ser efectivos. El costo de adquirir larvicidas y administrar su aplicación a tan gran escala resultó ser superior a la capacidad de cada gobierno que lo intentó. Algunos gobiernos intentaron organizar comités de participación voluntaria para eliminar el hábitat reproductivo del *Aedes aegypti* – capacitando a amas de casa, por ejemplo, para que limpiaran sus contenedores de agua semanalmente para interrumpir el desarrollo de larvas – pero sin mucho éxito.

No hay vacuna ni medicamento contra el dengue. La única manera de prevenir el mal es eliminando a los mosquitos. Actualmente la batalla contra el mosquito es principalmente a nivel familiar, comprando insecticidas y repelentes para evitar que los mosquitos les molesten por la noche. El efecto sobre *Aedes aegypti* es limitado, ya que este mosquito es diurno y pasa la mayoría del tiempo descansando en lugares como armarios, fuera del alcance de la fumigación casual. Desde hace años que se intenta desarrollar una

vacuna, pero el progreso ha sido muy lento; y una vacuna podría ser riesgosa al aumentar la susceptibilidad al dengue hemorrágico igual que la infección natural. Es típico que los gobiernos hagan poco con respecto al *Aedes aegypti* hasta que surge una epidemia de dengue o dengue hemorrágico. Entonces aparecen los camiones fumigadores que rocían las calles con malathion, con poco impacto dado que la epidemia ya está bastante avanzada y las hembras de *Aedes aegypti* se encuentran dentro de las casas, fuera del alcance del pesticida. Aún si la fumigación logra reducir la población de mosquitos, debe repetirse frecuentemente para mantener el impacto. La población de *Aedes aegypti* puede recuperarse fácilmente en pocos días.

No ha habido una reducción notable en dengue o dengue hemorrágico durante los últimos 20 años. Mundialmente, entre 50 y 100 millones son infectados con dengue cada año. Anualmente hay varios millones de casos severos de dengue, y aproximadamente 500,000 de dengue hemorrágico. La mortalidad sigue siendo alta en algunos países, mientras que otros la han reducido drásticamente con cuidados médicos intensivos. Cada año varios cientos de miles son hospitalizados debido al dengue en Vietnam y Tailandia, pero la mortandad es menos del 0.3 por ciento. Sin embargo, los costos económicos son altos. Cada paciente requiere de entre una y tres semanas de hospitalización, y los padres faltan al trabajo mientras cuidan de sus hijos. El cambio climático podría extender el rango geográfico del dengue, al facilitarse la transmisión con mayores temperaturas, y consecuentemente menores tiempos de incubación.

Copépodos al rescate

Aunque el **control biológico** del *Aedes aegypti* con depredadores de larvas nos ofrece la posibilidad de funcionamiento continuo sin la necesidad de aplicaciones frecuentes como requieren los pesticidas, no se le consideró seriamente al colapsar la estrategia del DDT. Previo a la era del DDT el uso de peces que se alimentaban de larvas de mosquitos era herramienta común en la lucha contra el paludismo. Pero el uso de peces contra el *Aedes aegypti* fue limitado por el alto costo de los mismos y porque no sobrevivían mucho tiempo en la mayoría de los contenedores de agua. Además, mucha

gente simplemente no quería peces en sus cisternas, particularmente si el agua era para beber. Es sabido que muchos animales acuáticos como las planarias, ninfas de libélulas y otros bichos acuáticos se alimentan de larvas de mosquitos, pero ninguno resultaba lo suficientemente efectivo y práctico como para darle uso operativo. Los profesionales en las áreas de control de mosquitos y salud pública, que toda su vida dependieron fuertemente de pesticidas químicos, consideraron el control biológico como una fantasía utópica. Las escasas oportunidades remunerativas desalentaban la inversión e investigación por parte del sector privado.

Esta era la situación hace aproximadamente 20 años, cuando de manera independiente científicos de Tahití, Colombia y Hawai descubrieron la supervivencia nula del larvas de *Aedes aegypti* en contenedores donde estaba presente el copépodo *Mesocyclops aspercornis*. Los copépodos son pequeños crustáceos ecológicamente distintos de los demás invertebrados que se alimentan de larvas de mosquitos. Si las larvas son numerosas, los copépodos comen solo una pequeña parte de cada larva, lo cual le permite a cada copépodo matar entre 30 y 40 larvas cada día, un número muy superior al que realmente comen. De mayor importancia son sus altos números. Los copépodos se alimentan de pequeños animales hasta dos veces más grandes, pero también comen fitoplancton, protozoarios y rotíferos –una dieta que brinda suficiente alimento para convertir a los copépodos en los depredadores más abundantes de la mayoría de los hábitat acuáticos. La capacidad total de una población de copépodos para matar larvas de mosquitos, es enorme. La mayoría de los copépodos son demasiado pequeños (entre 0.3 – 1.2 milímetros de longitud) para cazar hasta la más pequeña de las larvas de mosquitos. Pero el *Mesocyclops aspericornis* y otras especies mayores (1.2 y más milímetros) atacan y consumen larvas recién nacidas sin titubear. Aproximadamente un 10 por ciento de las aguas donde se pueden reproducir los mosquitos tienen poblaciones naturales de *Mesocyclops* u otros copépodos mayores, los cuales drásticamente reducen la supervivencia de las larvas de mosquitos.

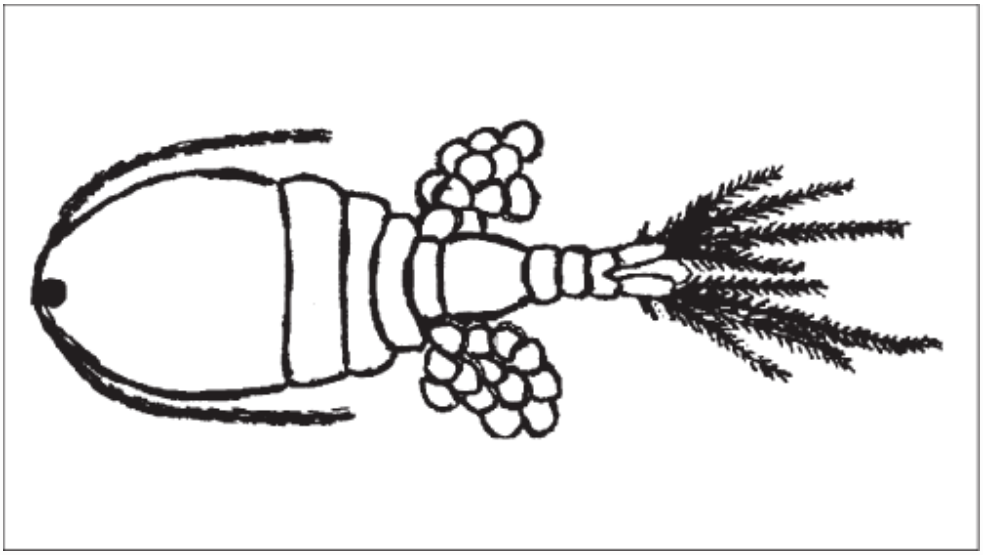


Figura 12.1 - *Mesocyclops* (longitud real aproximada de 1.5 milímetros). Nota: Los Copépodos no tienen ojos; un disco visual en el centro de la frente detecta luz pero no forma una imagen. Los copépodos se mueven "remando" rápidamente sus antenuelas (las estructuras largas que nacen al frente y se extienden a los lados). Las antenuelas contienen órganos sensoriales mecánicos que detectan las vibraciones en el agua, permitiendo al copépodo detectar la presencia de animales pequeños como las larvas de mosquito y capturarlos como alimento. Las hembras llevan huevos a los costados durante tres días hasta que eclosionan los copépodos juveniles.

Lo mismo que sucede en la naturaleza puede lograrse introduciendo a especies indicadas de copépodos a sitios que los carecen. Este principio se aplica no solo a contenedores donde se reproduce el *Aedes aegypti*, sino también a hábitat acuáticos donde se reproduce el mosquito *Anófeles* que transmite el paludismo. Las larvas de mosquitos con paludismo son escasas en hábitat que contienen poblaciones naturales de especies mayores de *Mesocyclops*. Los *Anófeles* desaparecieron al introducirse *Mesocyclops* a arrozales y pantanos de Louisiana, en EUA. Lamentablemente el potencial de *Mesocyclops* para controlar el paludismo no se ha desarrollado porque las agencias encargadas de controlar el paludismo han abandonado sus esfuerzos por controlar los mosquitos. Actualmente el control del paludismo se basa casi exclusivamente en farmacéuticos cuya efectividad a largo plazo es dudable debido a la abundante resistencia entre los parásitos que causan la enfermedad.

El desarrollo del control de dengue con copépodos ha sido mucho más exitoso porque son eficaces y fáciles de usar en los contenedores donde se reproduce *Aedes aegypti*. Es inusual que los copépodos invadan contenedores antropogénicos por su propia cuenta; pero prosperan al ser introducidos, independientemente del abasto de larvas de mosquito. Las poblaciones de copépodos pueden variar entre cientos en una llanta y miles en una cisterna. Las especies mayores normalmente matan a mas del 99 por ciento de las larvas de *Aedes aegypti*, y sobreviven en el contenedor mientras éste contenga agua. Aún sin agua pueden sobrevivir mientras el ambiente permanezca húmedo.

El ciclo de vida sencillo de los copépodos y su capacidad para prosperar en una dieta de protozoarios permite que su producción masiva sea fácil y económica. El sistema de producción utiliza bacterias sobre trigo en descomposición como alimento para un pequeño protozoario (*Chilomonas*) que a su vez sirve de alimento para copépodos juveniles y otro protozoario mayor (*Paramecium caudatum*) que a su vez es alimento para los copépodos adultos. El sistema es sencillo, barato, altamente resiliente y funciona en contenedores abiertos de cualquier tamaño y forma. Cien hembras adultas producen aproximadamente otras 25,000 hembras adultas en un mes. Las hembras son inseminadas durante su adolescencia y no requieren de más contacto con los machos para seguir produciendo entre 50 y 100 huevos por semana durante el resto de su vida, que dura varios meses.

Una vez que se conoció la efectividad de los copépodos, se iniciaron investigaciones en Australia, el sudeste Asiático y las Américas para identificar las mejores especies de copépodo y cómo utilizarlas para el control de larvas de mosquito. Siempre hubo especies disponibles localmente porque existen naturalmente especies suficientemente grandes para comer larvas de mosquito en todas las regiones donde el *Aedes aegypti* es un problema. *Mesocyclops aspericornis* es la especie más eficaz en Polinesia, Australia y partes de Asia. *Mesocyclops longisetus*, la especie de *Mesocyclops* más grande del mundo, resultó ser la más efectiva en las Américas.

Para que un copépodo controle efectivamente al *Aedes aegypti* debe hacer mas que matar larvas de mosquitos. Debe sobrevivir fácilmente en contenedores. *Mesocyclops aspericornis* y *Mesocyclops longisetus* sobreviven en contenedores expuestos al sol tropical porque toleran temperaturas acuáticas de hasta 43 grados centígrados. Además, por su tendencia a aferrarse al fondo y paredes del contenedor, sobreviven en contenedores de los que la gente saca agua frecuentemente. Los copépodos que nadan libremente en el agua rápidamente desaparecen del contenedor. *Mesocyclops aspericornis* y *Mesocyclops longisetus* son eficaces en pozos, cisternas, tanques de cemento, barriles, jarrones, floreros y hasta bromelias siempre y cuando tengan agua continuamente. La gente no se opone a la presencia de copépodos en su agua porque estos pequeños animales son poco visibles. Además, no es inusual que otra microfauna viva en el agua.

Los copépodos no sobreviven en pequeños contenedores o llantas que se secan con frecuencia, aunque sobreviven en llantas que continuamente se llenan de agua durante la temporada de lluvias. No sobreviven en pequeños tanques de cemento donde el agua es reemplazada rápidamente, particularmente si el agua se drena, y mueren cuando se limpia el tanque con cloro o le escurre cloro al limpiar ropa junto al tanque. Una dificultad importante es la pérdida de copépodos al limpiarse el contenedor. Esto puede evitarse guardando una pequeña cantidad de agua del contenedor previo a la limpieza y regresándola al contenedor terminada la limpieza. En proyectos piloto a pequeña escala en Honduras y Brasil, las amas de casa rápidamente aprendieron a evaluar sus contenedores, manteniendo orgullosamente a los *Mesocyclops* en su hogar. La clave del éxito fue la atención personal de los organizadores comunitarios. Lamentablemente las burocracias de salud pública de Latinoamérica parecen carecer la capacidad organizadora para expandir el uso de *Mesocyclops* a mayor escala.

Éxito en Vietnam

El dengue hemorrágico es un problema serio en Vietnam, ya que ha hospitalizado a casi dos millones de vietnamitas y matado a más de 13,000 niños desde su aparición hace 40 años. La primera demostración de la efectividad de *Mesocyclops* a escala comunitaria

comenzó en 1993, cuando científicos del Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología de Vietnam introdujeron especies locales de *Mesocyclops* a todos los contenedores de almacenaje de agua en Phanboi, una aldea de 400 casas en el norte de Vietnam. Al igual que el resto del Vietnam rural, las dos fuentes de *Aedes aegypti* en Phanboi eran cisternas de cemento (con capacidad de varios miles de litros), que casi cada casa tiene para almacenar agua pluvial, y jarrones de barro (con capacidad de entre 20 y 200 litros) utilizados para almacenar agua para uso inmediato. Los *Mesocyclops* prosperaron en las grandes cisternas de cemento, que rara vez se limpian. También sobrevivieron en los grandes jarrones, pero no en los pequeños porque estos eran vaciados frecuentemente. La introducción de *Mesocyclops* a los pozos creó un reservorio que continuamente repoblaba los jarrones.

La población de *Aedes aegypti* en Phanboi disminuyó en aproximadamente un 95 por ciento en el año después de la introducción de *Mesocyclops*. Sin embargo, *Aedes aegypti* seguía reproduciéndose en pequeños contenedores como latas y botellas que recolectaban agua pluvial, pero que no podían ser tratados con *Mesocyclops*. Se motivó a los aldeanos a participar más activamente, y la motivación fue alta por la historia reciente de brotes de dengue hemorrágico. El sistema político socialista fue la base de una veloz movilización comunitaria que fue exhaustiva y continua. La agrupación de mujeres educó a los aldeanos en el uso de *Mesocyclops* y los organizó para poblar contenedores tomando una pequeña cantidad de agua de contenedores con *Mesocyclops* y transfiriéndola a contenedores que aún no lo tenían. El programa existente de reciclaje fue reorganizado para garantizar que latas y botellas no colectaran agua mientras se esperaba su recolección. Dentro de pocos meses desapareció el Aedes aegypti y en los siete años subsiguientes no se ha vuelto a detectar ni el mosquito ni sus larvas. La desaparición de *Aedes aegypti* fue significativa porque fue la primera vez en mas de 20 años que se documentara la erradicación, aún a nivel local, de cualquier tipo de mosquito en cualquier parte del mundo, y se logró sin pesticidas.

Se introdujo *Mesocyclops* a otras aldeas del norte de Vietnam, y de nuevo desaparecieron los *Aedes aegypti*. Vale la pena notar que *Aedes aegypti* desapareció aún

sin tener *Mesocyclops* en todos y cada uno de los contenedores. El éxito probablemente se debió al "efecto trampa de huevos". Las hembras ponedoras no discriminan entre contenedores con y sin *Mesocyclops*, y desperdician sus huevos en contenedores con *Mesocyclops* en vez de colocarlos en contenedores con mayores posibilidades de supervivencia para sus larvas. Simulaciones computarizadas indican un colapso en la población del mosquito si un 90 por ciento de los contenedores tienen *Mesocyclops*. En contraste, eliminando el 90 por ciento de los contenedores solo reduce la población de mosquitos en el modelo computarizado en un 90 por ciento.

El éxito demostrado en Phanboi fue fundamental para movilizar el apoyo por parte del gobierno y de fuentes de asistencia financiera internacional para distribuir *Mesocyclops* a más comunidades en Vietnam. La publicidad televisiva y programas didácticos escolares han familiarizado a la sociedad Vietnamita con *Mesocyclops*. Una línea telefónica de asistencia gubernamental conecta a comunidades interesadas con trabajadores de sanidad quienes les proveen de *Mesocyclops* y explican su uso. Un sencillo sistema de producción masiva en el Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología de Vietnam utiliza barriles de plástico de 150 litros para producir varios cientos de miles de *Mesocyclops* por mes, a un costo muy bajo.

El programa sigue el modelo de Phanboi. El personal central capacita al personal de sanidad local, que a su vez utilizan documentales en videocasete para introducir a *Mesocyclops* a la comunidad. El personal de sanidad capacita a maestros para que organicen a estudiantes para la recolección regular de contenedores chatarra. De las agrupaciones de mujeres, los trabajadores de salud reclutan a colaboradoras voluntarias de confiabilidad demostrada previamente en campañas domiciliarias de planificación familiar e inmunización. Cada colaboradora es responsable de entre 50 y 100 casas, y comienza introduciendo aproximadamente 50 *Mesocyclops* a la cisterna de una de las casas. En cuanto la población de copépodos crece lo suficiente, la colaboradora toma una cubeta de agua del tanque con *Mesocyclops* a las demás casas, vertiendo un vaso por cisterna. Las colaboradoras explican el uso de *Mesocyclops* a cada familia y regresan por lo menos una vez al mes a inspeccionar los contenedores. El programa ha capacitado a 900 trabajadoras

de sanidad y el *Mesocyclops* ha sido distribuido a más de 30,000 hogares en el norte y centro de Vietnam.

En la gran mayoría de las comunidades del programa, se ha repetido la experiencia de Phanboi. *Aedes aegypti* desaparece por completo aproximadamente un año después de la introducción del *Mesocyclops*. Las pocas excepciones han sido comunidades urbanas, donde la población de *Aedes aegypti* ha decaído, pero no desaparecido; la razón es la cobertura incompleta de casas por parte de las colaboradoras. En áreas urbanas que carecen de otros programas de salud domiciliarios, a veces es necesario reclutar colaboradoras cuya confiabilidad no ha sido demostrada. Mientras que la mayoría de las colaboradoras nuevas hacen buena labor, hay algunas que no lo hacen, y sus esfuerzos se ven complicados por la menor cohesión social en las ciudades. Con 12 millones de casas en zonas de dengue, el número potencial a atender es enorme. El cuello de botella en la distribución nacional de *Mesocyclops* es la capacitación de empleados de sanidad y colaboradoras locales. Algunas provincias están estableciendo sus propios centros de capacitación y de producción de *Mesocyclops*. El programa tendrá mayores retos al extenderse al sur de Vietnam, donde el clima tropical es ideal para *Aedes aegypti* y el dengue es transmitido todo el año.

La transportación de gran cantidad de *Mesocyclops* de los centros de producción a las aldeas puede verse complicada debido a que los copépodos en pequeños contenedores de alta densidad pronto acaban con cualquier alimento. Entonces comienzan a comerse unos a otros. Una solución sencilla surge del hecho que los *Mesocyclops* pueden sobrevivir durante meses suspendidos en gomaespuma húmeda, donde no pueden moverse para cazarse unos a otros. Cubos de este material son empacados en pequeños contenedores plásticos y se envían por correo a las oficinas de salud pública en todo el país. El cubo de hule espuma con 50 copépodos se coloca en la cisterna para introducirlos al contenedor.

En 1998 Vietnam reportó 234,000 casos de dengue hemorrágico, y esta enfermedad fue responsable de mas muertes que cualquier otra infección. En 1999 el gobierno inició un programa prioritario para combatir el dengue a nivel nacional, con *Mesocyclops* en un papel central, no solo en la prevención sino también para combatir los brotes de dengue en zonas

donde no se ha implementado aún el *Mesocyclops*. El gobierno ofrece a los empleados de sanidad locales paquetes para el análisis veloz de casos donde se sospeche dengue para que una respuesta de emergencia sea implementada inmediatamente cuando se confirme un caso de dengue. Al incrementar el abasto de *Mesocyclops*, este será distribuido de manera rutinaria a casas en zonas donde se den brotes de dengue.

Potencial de *Mesocyclops* en otros países.

¿Pueden otros países replicar el éxito de Vietnam con *Mesocyclops*? El mayor potencial es en el Sudeste Asiático, donde el dengue hemorrágico es un problema grave, la inquietud pública es alta, y la mayoría de los hábitat reproductivos de *Aedes aegypti* son similares a los contenedores de agua que han resultado ideales para *Mesocyclops* en Vietnam. La preocupación pública no es tan alta fuera del Sudeste Asiático, y algunos de los sitios de reproducción no son tan ideales para *Mesocyclops*. Mientras que el control del dengue en otras regiones requerirá algo más que *Mesocyclops* y el reciclaje de pequeños contenedores, *Mesocyclops* es capaz de eliminar al *Aedes aegypti* de por lo menos algunos tipos de contendores en cualquier lugar donde el dengue es problemático.

La logística de producción y distribución no son obstáculo para extender el uso de *Mesocyclops* a otros países. La producción es barata y su transporte sencillo. Mientras que la producción y distribución en Vietnam está a cargo de dependencias de gobierno nacionales, provinciales y locales, en otros países podría darse una combinación de gobiernos, organizaciones no-gubernamentales y el sector privado, de acuerdo a condiciones locales. La llave del éxito es la organización comunitaria. Es bastante sencillo poblar y repoblar contenedores con copépodos, pero es fundamental garantizar que todos lo hagan. El éxito puede darse barrio por barrio. Cien casas trabajando juntas pueden librarse de *Aedes aegypti* aún si las casas alrededor se abstienen de hacer algo al respecto.

La estrategia de mayor potencial es la distribución de *Mesocyclops* donde existan redes locales que brinden mayor posibilidad de éxito. Vietnam tiene la ventaja de que la mayoría de su dengue ocurre en comunidades rurales con organización comunitaria fuerte y

donde ya existen programas domiciliarios de sanidad que funcionan bien. Afortunadamente existen miles de comunidades en todo el mundo que comparten este tipo de redes organizativas para diversos programas de salud, planificación familiar, tratamiento paramédico de paludismo, programas agrícolas, caridades religiosas, y apoyo a pequeños empresarios. Estas mismas redes pueden ser vehículos para la distribución de *Mesocyclops* y garantizar su uso apropiado a nivel comunitario. Hasta las redes de mercado del sector privado, que tan efectivamente distribuyen insecticidas y repelentes pudieran desarrollar un papel si se incentiva el uso comunitario. Con cada éxito, el efecto demostrativo fomentará que cada vez más comunidades se organicen para el uso exitoso del *Mesocyclops*.

Conclusiones

¿Qué nos dice este caso de estudio del dengue hemorrágico? En primer lugar demuestra cómo las actividades humanas crean condiciones ambientales que determinan si una enfermedad abundará o desaparecerá. El transporte internacional creó el dengue hemorrágico al mover las cuatro cepas de dengue por todo el mundo. El dengue desaparece cuando la gente elimina las oportunidades para que *Aedes aegypti* se reproduzca en contenedores de agua alrededor de sus casas.

En segundo plano, demuestra cómo la erradicación local de mosquitos es posible con un manejo ecológico. Una estrategia ecológica de control de enfermedades que integra una variedad de métodos es más efectiva que una estrategia basada exclusivamente en pesticidas. Podemos esperar que los métodos ecológicos sean sustentables. Es poco probable que las larvas desarrollen una resistencia a *Mesocyclops*.

En tercer lugar, ilustra el nivel de esfuerzo necesario para el éxito. Actualmente los esfuerzos prevalecientes en todo el mundo no cumplen con este estándar. Ni cumplen con el estándar de la campaña contra la fiebre amarilla que erradicó al *Aedes aegypti* de gran parte de Brasil hace 60 años, una campaña que debió su éxito a su organización y administración intensa y meticulosa.

Finalmente, y de mayor importancia, hace énfasis en el papel central de la comunidad local. El dengue hemorrágico será eliminado únicamente a través de esfuerzos locales intensos y bien organizados. La falta de progreso en general contra el dengue durante los últimos 30 años no es singular. Al cambiar nuestras prioridades personales y públicas, los sistemas de apoyo social en comunidades locales han sido debilitados. Y correspondientemente han decaído numerosas dimensiones del bienestar humano que dependen de comunidades fuertes. Mientras que es responsabilidad de los lugareños mantener una comunidad fuerte y efectiva, el apoyo y asistencia de gobiernos nacionales puede ser decisivo. El desarrollo ecológicamente sustentable, que incluye el control sustentable de enfermedades transmitidas por mosquitos, únicamente será realidad cuando y donde las comunidades sean verdaderamente funcionales.

Bibliografía

- Brown, M, Kay, B and Hendrix, J (1991) 'Evaluation of Australian Mesocyclops (Copepoda: Cyclopoida) for mosquito control', Journal of Medical Entomology, vol 28, pp618 - 623
- Christophers, S (1960) Aedes Aegypti (L.). The Yellow Fever Mosquito: Its Life History, Bionomics and Structure, Cambridge University Press, Cambridge
- Focks, D, Haile, D, Daniels, E and Mount, G (1993) 'Dynamic life table model for Aedes aegypti (Diptera: Culicideae): analysis of the literature and model development', Journal of Medical Entomology, vol 30, pp1003 - 1017
- Halstead, S (1997) 'Epidemiology of dengue and dengue hemorrhagic fever' in Gubler, D and Kuno, G (eds) Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever, CAB International, New York
- Halstead, S (1998) 'Dengue and dengue hemorrhagic fever' in Feigin, R and Cherry, J (eds) Textbook of Pediatric Infectious Diseases, W B Sanders, Philadelphia
- Halstead, S and Gomez-Dantes, H (eds) (1992) Dengue - a worldwide problem, a common strategy, Proceedings of an International Conference on Dengue and

Aedes aegypti Community-based Control, Mexican Ministry of Health and Rockefeller Foundation, Mexico

- Marten, G (1984) 'Impact of the copepod Mesocyclops leuckarti pilosa and the green alga Kirchneriella irregularis upon larval Aedes albopictus (Diptera: Culicidae)', Bulletin of the Society for Vector Ecology, vol 9, pp1 - 5
- Marten, G, Astaeza, R, Suárez, M, Monje, C and Reid, J (1989) 'Natural control of larval Anopheles albimanus (Diptera: Culicidae) by the predator Mesocyclops (Copepoda: Cyclopoida)', Journal of Medical Entomology, vol 26, pp624 - 627
- Marten, G (1990) 'Evaluation of cyclopoid copepods for Aedes albopictus control in tires', Journal of American Mosquito Control Association, vol 6, pp681 - 688
- Marten, G (1990) 'Elimination of Aedes albopictus from tire piles by introducing Macrocyclops albidus (Copepoda, Cyclopoida)', Journal of American Mosquito Control Association, vol 6, pp689 - 693
- Marten, G, Bordes, E and Nguyen, M (1994) 'Use of cyclopoid copepods for mosquito control', Hydrobiologia, vol 292/293, pp491 - 496
- Marten, G, Borjas, G, Cush, M, Fernández, E, and Reid, J (1994) 'Control of larval Ae. aegypti (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers', Journal of Medical Entomology, vol 31, pp36 - 44
- Marten, G, Thompson, G, Nguyen, M and Bordes, E (1997) Copepod Production and Application for Mosquito Control, New Orleans Mosquito Control Board, New Orleans, Louisiana
- Riviere, F and Thirel, R (1981) 'La predation du copepods Mesocyclops leuckarti pilosa sur les larves de Aedes (Stegomyia) aegypti et Ae. (St.) polynesiensis essais preliminaires d'utilization comme de lutte biologique', Entomophaga, vol 26, pp427 - 439
- Nam, V, Yen, N, Kay, B, Marten, G and Reid, J (1998) 'Eradication of Aedes aegypti from a village in Vietnam, using copepods and community participation', American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, vol 59, pp657 - 660
- Soper, F, Wilson, D, Lima, S and Antunes W (1943) The Organization of Permanent Nation-wide anti-Aedes aegypti Measures in Brazil, The Rockefeller Foundation, New York

- Suarez, M, Ayala, D, Nelson, M and Reid, J (1984) 'Hallazgo de Mesocyclops aspericornis (Daday) (Copepoda: Cyclopoida) depredador de larvas de Aedes aegypti en Anapoima-Colombia', Biomedica, vol 4, pp74 - 76

EL PROGRAMA DEL ESTERO BARATARIA-TERREBONNE: UN EJEMPLO DE GESTION AMBIENTAL REGIONAL.

Los **estuarios o esteros** son ecosistemas donde los ríos se extienden sobre una gran área al llegar al mar. Mucha del agua en los estuarios es una combinación de aguas dulces y saladas, mezcladas por las mareas. Los estuarios son excepcionales por su diversidad biológica, su productividad biológica y el valor económico de sus recursos biológicos. Los estuarios también se encuentran entre los ecosistemas más amenazados a nivel mundial. Su riqueza de recursos naturales fomenta su uso intensivo, sobreexplotación y conversión de ecosistemas naturales a ecosistemas agrícolas. Muchos ecosistemas de manglar costero en el Sudeste Asiático han sido convertidos a estanques de acuacultura para satisfacer la demanda mundial de camarón, langostino y pescado. Muchas de las ciudades más grandes del mundo se encuentran en zonas costeras donde las planicies aluviales de esteros adyacentes son utilizadas para producir alimentos para la ciudad. No es inusual que las ciudades en crecimiento se extiendan sobre los esteros cercanos.

El estero Barataria-Terrebonne es el más grande de los Estados Unidos. El sistema estuario cubre un área de 16,835 kilómetros cuadrados, donde el río Misisipi vacía al Golfo de México (Figura 12.2). Es hábitat de aproximadamente 735 especies de mariscos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Aproximadamente 630,000 personas viven en la región, y su riqueza de recursos naturales es sustento para mucha mas gente que vive fuera del área. El estero Barataria-Terrebonne nos brinda un ejemplo de la problemática ecológica que surge con la explotación intensiva de recursos y cuando los ecosistemas naturales son modificados de manera deliberada o transformados en otro tipo de ecosistema por los humanos. El estero Barataria-Terrebonne es un caso de estudio particularmente instructivo porque los lugareños diseñaron cuidadosamente un programa de acción para movilizar a su comunidad en respuesta a estos problemas. Es una historia exitosa que

ilustra el desarrollo adaptativo descrito en el capitulo 11, que demuestra lo que se requiere para hacer realidad el desarrollo adaptativo y lo que se puede lograr con el desarrollo adaptativo.

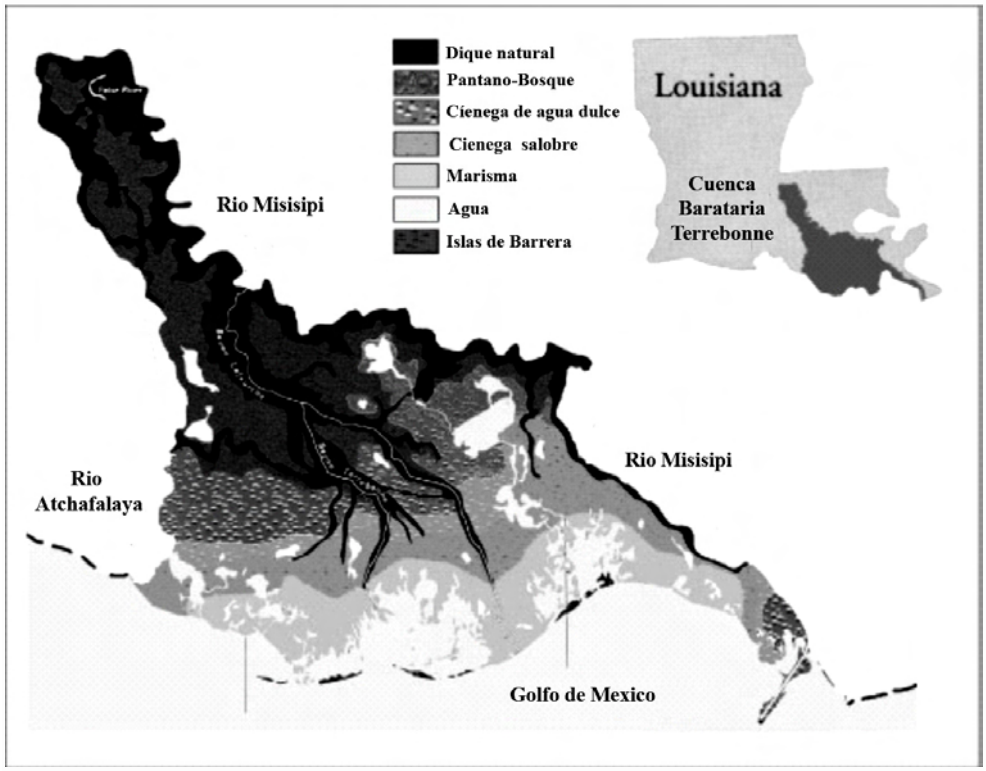


Figura 12.2 – Estero Barataria-Terrebonne. Fuente: BTNEP (1995) Saving Our Good Earth: A Call to Action. Barataria- Terrebonne estuarine system characterization report, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana

Descripción e Historia del Estero

Al igual que otros esteros, el Barataria-Terrebone es un mosaico de paisajes evolucionados en respuesta a la humedad, salinidad y otras gradientes físicas que se extienden de tierra firma, a **humedales**, a mar abierto; y de agua dulce, a **salobre** a salada. El estero consiste de tres tipos generales de ecosistemas a lo largo de la gradiente de la elevación de la tierra de alta a baja: **pantano** o **ciénega**; marisma; y aguas abiertas (Figura 12.3). (Nota del traductor: Tras consultar diversas fuentes, parece que existe cierto grado de confusión con respecto al uso de los términos “pantano”, “ciénega” y “marisma”. Para

simplificar la lectura, se ofrece una breve explicación de cómo son utilizadas en esta traducción. "Pantano" se utiliza para designar un humedal dominado por árboles- equivalente de *swamp* en inglés. "Ciénega" se refiere a un humedal dominado por pastos- equivalente de *marsh* en inglés. Mientras que "marisma" se utiliza para nombrar a ciénegas de agua salada- *saltwater marsh*.) A mayor altura la tierra está suficientemente seca para soportar casas y granjas junto con los bosques deciduos característicos de la región. Gran parte de la tierra es inundada periódicamente, de manera que la tierra permanece húmeda o incluso sumergida bajo varios centímetros de agua la mayor parte del año. El ecosistema natural en estas condiciones es el pantano, un bosque húmedo dominado por cipreses que pueden crecer a gran tamaño durante miles de años. Los pantanos y bosques deciduos ocupan el 19 por ciento del sistema del estero. A menor elevación, con más agua, prevalecen los ecosistemas de ciénega, ocupando un 22 por ciento del sistema del estero. Donde el agua es salada o salobre, las ciénegas y marismas se caracterizan por una densa cubierta de pastos de 0.5 – 1 metro de altura. La fauna mayor de los pantanos y ciénegas incluye osos, venados y lagartos (que pueden llegar a medir más de 4 metros en longitud). El agua que cubre la tierra de menor elevación es demasiado profunda para permitir el crecimiento de árboles o pastos de marisma. Las aguas abiertas ocupan el 37 por ciento del sistema estuario y contiene otros ecosistemas acuáticos.

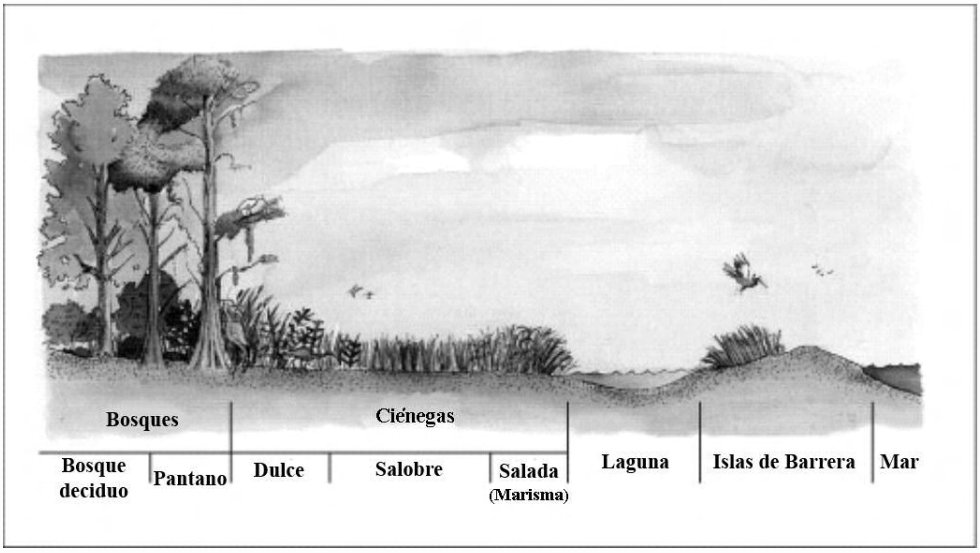


Figura 12.3 – Perfil paisajístico que muestra los tres tipos generales de ecosistemas naturales del estero: pantano, marisma y aguas abiertas. Fuente: Landscape profile showing the three major types of natural

ecosystems in the estuary: swamp, marsh and open water Source: BTNEP (1995) Saving Our Good Earth: A Call to Action. Barataria-Terrebonne estuarine system characterization report, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana

El estero incluye una impresionante gama de recursos naturales que incluye madera, vida silvestre y mariscos. Además es criadero de numerosas especies de peces de importancia comercial en el Golfo de México. La integridad de los ecosistemas naturales del estero se mantiene gracias a un balance dinámico entre la sedimentación y el hundimiento de la tierra. Es natural que el suelo de los humedales se hunda unos cuantos centímetros por año. Debido al alto contenido de materia orgánica en la tierra, parte de esta materia es degradada mientras que otra parte es comprimida por el peso que lleva encima. La sedimentación depositada sobre la superficie durante inundaciones compensa el hundimiento. Siempre que se de suficiente sedimentación el paisaje topográfico y el balance hidrológico del estero permanecen mas o menos igual año con año.

Al igual que en el resto de Norteamérica, los indígenas habitaron el estero Barataria-Terrebonne durante miles de años. Su población era pequeña y sus exigencias sobre los recursos naturales del estero, modestas. El aprovechamiento intensivo comenzó hace aproximadamente 200 años con la llegada de los pobladores Europeos que talaron los bosques de cipreses, utilizando las tierras de mayor elevación para la agricultura y vivienda. Desde entonces, distintos recursos naturales han sido sujetos a diversas presiones en diferentes épocas, respondiendo a los cambios del mercado y a la sobreexplotación y desaparición de recursos que han forzado a los pobladores de cada región a abandonar cierto recurso para enfocarse en otro. A principios, el musgo que colgaba de los cipreses se cosechaba como relleno de colchones. La tierra fue drenada para cultivos de importancia comercial, como el algodón. La prodigiosa abundancia de peces, camarones, almejas y langostinos fue fuente de empleos para pescadores inmigrantes de numerosos países. Se mataron lagartos, ratas almizcleras, nutrias y visón por sus valiosas pieles. La nutria coypu se introdujo desde Sudamérica a principios del siglo XX como un nuevo recurso para la industria de las pieles. Con el movimiento anti-pieles, el mercado para los productos de nutria ha decaído y las poblaciones de nutrias han explotado y forrajeado excesivamente la vegetación de las ciénegas.

La explotación de los recursos naturales del estero cambiaron el paisaje, pero los mayores cambios se debieron a desarrollos que ganaron ímpetu en el siglo XX. El más conspicuo es la red de canales construida para facilitar la navegación. La intensa explotación petrolera a comienzos de los 1930s incrementó el número de canales, contaminando y dañando a los ecosistemas naturales. La construcción de diques y otras obras públicas para controlar las inundaciones alteraron por completo los patrones de circulación de agua, inundaciones y sedimentación que mantenían en balance a los ecosistemas del estero. Estos cambios detonaron efectos en cadena que resonaron por todo el estero. Para los 1980s los ecosistemas naturales del estero estaban en un proceso de deterioro alarmante. Los recursos naturales de que dependían tantos habitantes del estero se encontraban gravemente amenazados. Algunas familias estaban perdiendo las tierras sobre las cuales habían construido sus casas.

Problemas Ecológicos

Cambio en el flujo natural del agua. Los canales para la navegación, y para la exploración y extracción de hidrocarburos, permiten que las mareas de agua salada penetren tierra adentro. Esta **intrusión de agua salina** aumenta la salinidad en algunas partes del estero, alterando la comunidad biológica a favor de flora y fauna que toleran la alta salinidad, y que anteriormente se daban únicamente cerca del mar. Esta mayor salinidad puede matar a gran número de cipreses, particularmente cuando el agua salada es traída por las marejadas poderosas de tormentas y huracanes. Los canales también aumentan la erosión debida al oleaje, resultando en una mayor pérdida de suelos dentro del estero. Los materiales dragados de canales son amontonados en las orillas, obstruyendo el flujo natural, causando estancamientos de agua en algunos sitios, secando otros y evitando la sedimentación en otros más. Los diques evitan que las aguas y sedimentación de ríos lleguen a los humedales aledaños. La mayoría del sedimento del río Misisipi (200 millones de toneladas métricas por año) es canalizado a lo largo del estero y depositado en el Golfo de México.

Disminución en sedimentación. El río Misisipi actualmente lleva 80 por ciento menos sedimento que hace un siglo. Las medidas de conservación de tierras a lo largo de la

cuenca del Misisipi han reducido la cantidad de sedimento que cursa por el río, y diversas estructuras (presas y esclusas) reducen el flujo de manera que el sedimento es depositado antes de llegar al estero. Aún así, el Misisipi contiene suficiente sedimento como para formar tierras nuevas que no están aisladas del río por diques. Mientras que las inundaciones del pasado depositaban el sedimento a lo largo de todo el estero, actualmente existen muchas partes del estero que no reciben sedimentación del Misisipi porque los diques no lo permiten.

Pérdida de tierras y cambios de hábitat. Cuando el hundimiento natural de los humedales no es compensado con sedimentación, resulta en el **hundimiento de tierras**. Aumenta la profundidad del agua, alterando a la comunidad biológica. Los pantanos se convierten en ciénegas, y las ciénegas en agua abierta (véase las Figuras 12.4 y 12.5). Esta pérdida de tierras es agravada por la erosión debida al oleaje y por actividades humanas como la draga y construcción de canales, y por el aumento en el nivel del mar debido al cambio climático. Gran parte de los suelos perdidos han sido de las regiones de marisma salada (Figura 12.2), la más cercana al mar. La pérdida es más severa donde las nutrias han arrasado con los pastos que amarran la tierra. Durante la década de los 1980s, se perdían 54 kilómetros cuadrados (el 0.8 por ciento del total del área total de humedales en el estero) cada año. Durante los 1990s la taza de erosión disminuyó, en parte porque la tierra fácilmente erosionable ya había desaparecido.

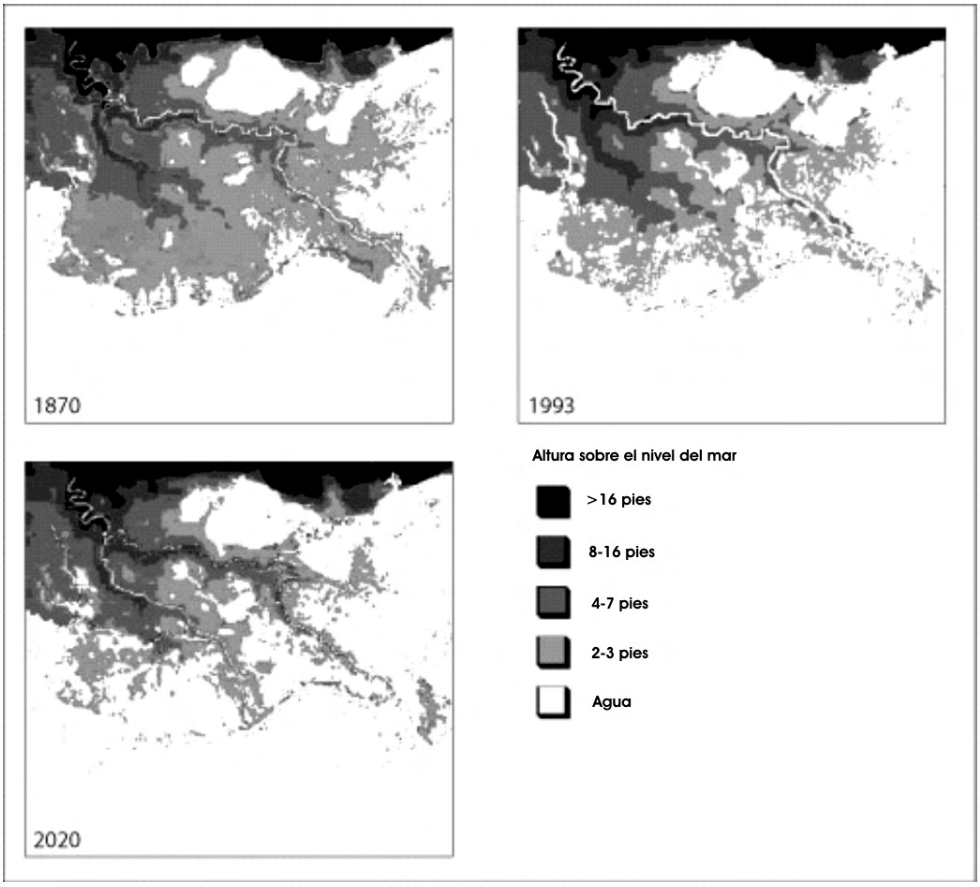


Figura 12.4 – Cambio en la topografía del estero Barataria-Terrebonne durante los últimos 130 años, y proyección de los próximos 20 años de un modelo computacional. Fuente: datos de Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana.

Figura 12.5 – Una sección de 110 kilómetros cuadrados del estero que ha sufrido una transformación drástica de marisma a mar durante los últimos 50 años (Leeville, Louisiana). Nota: "Agua" en el mapa incluye canales y mar. La marisma "Clase 1" tiene la menor cantidad de agua, y la "Clase IV" la mayor cantidad de agua. Fuente: BTNEP (1995) Saving Our Good Earth: A Call to Action. Barataria-Terrebonne estuarine system characterization report, Barataria- Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana.

Eutrofización. Las aguas residuales y agrícolas contienen nutrientes para la flora, tales como el nitrógeno, fósforo y silicio, que fomentan el crecimiento de algas y otras plantas que consumen grandes cantidades de oxígeno durante la noche y que eventualmente remueven cantidades mayores de oxígeno del agua al morir y descomponerse. Los efectos de las bajas concentraciones de oxígeno en el agua son particularmente obvias cuando resultan en la muerte masiva de peces.

Patógenos. Las aguas residuales contaminan el estero con virus y bacterias que se concentran en mariscos, creando un riesgo a la salud pública y reduciendo los ingresos por estos recursos.

Tóxicos. Aunque el río Misisipi llega al estero tras haber recibido desechos industriales y domésticos a lo largo de mas de mil millas, la contaminación se ha reducido notablemente en décadas recientes Mientras que el rió contiene cantidades inaceptables de nitrógeno y atrazina (un herbicida utilizado en los maizales), el río Misisipi en sí no es fuente significativa de contaminantes para el estero. Virtualmente toda la contaminación del estero se debe a sustancias vertidas en el estero mismo. Estos incluyen: herbicidas para controlar el crecimiento del jacinto de agua y otras plagas que obstruyen la navegación en los canales; emisiones de las industrias químicas y petroleras en secciones aledañas del río Misisipi; contaminación de embarcaciones, derrames de petróleo, y otros contaminantes asociados con la producción de hidrocarburos; el aflujo de aguas agrícolas o urbanas que contienen pesticidas, químicos para jardines y hortalizas, y aceites automotores; la filtración de desechos tóxicos, como metales pesados y una variedad de sustancias cancerígenas. Muchas de estas sustancias se acumulan en la cadena alimenticia y son una amenaza a la salud humana.

Cambios en recursos vivientes. Al disminuir el área de los humedales, el número de plantas y animales dentro de estos ecosistemas cae de manera correspondiente. La sobreexplotación y contaminación también pueden tener impactos adversos sobre la flora y fauna. Durante los 1960s casi desaparecieron del estero las águilas blancas y pelícanos pardos debido al uso agrícola del DDT. El uso del DDT se descontinuó a principios de los 1970s, por lo que las poblaciones de ambas aves se han recuperado en años recientes. Las especies exóticas introducidas compiten con las especies nativas. Las nutrias consumen casi toda la vegetación de un área de 4 kilómetros cuadrados de ciénega cada año. En el 2000, la muerte repentina del pasto Spartina por causas aún desconocidas convirtió cerca de 80 kilómetros cuadrados de ciénega en planicie lodosa y afectó a menor escala otros 900 kilómetros cuadrados de marisma. Desconocemos los efectos que puedan tener los cambios ecológicos dentro del estero en las pesquerías, pero algunos científicos opinan que el deterioro continuo del estero podría resultar en una severa degradación de las pesquerías. A pesar de estos problemas, ninguna especie de flora o fauna parece estar en peligro eminente de desaparecer del estero.

La solución: un programa ambiental regional.

En 1990, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos decidió desarrollar planes de gestión ambiental para todos los grandes esteros de EUA. Un equipo núcleo de 7 personas de tiempo completo, asistidos por numerosos voluntarios de medio tiempo, fue responsable de desarrollar el plan de gestión para el estuario Barataria-Terrebonne. La siguiente misión fijó su marco referente:
El Programa Nacional para el Estero Barataria-Terrebonne (BTNEP por sus siglas en Inglés) laborará por desarrollar una coalición de intereses gubernamentales, privados y comerciales para identificar problemas, evaluar tendencias, diseñar medidas de control de contaminación y estrategias de gestión de recursos, recomendar actividades correctivas, y buscar compromisos para su implementación. Esta coalición brindará el liderazgo necesario, facilitará las aportaciones efectivas de los interesados, y guiará el desarrollo de procedimientos coordinados de gestión. El BTNEP brindará un foro para la discusión

abierta y la cooperación entre todos los interesados, que incluya la transigencia a favor de la protección de los recursos naturales.

El plan de manejo se desarrolló a través de una serie de talleres de planeación estratégica en que se utilizó una "tecnología de participación" desarrollada por el Instituto para Asuntos Culturales. El proceso de planificación fue diseñado en torno a la siguiente serie de talleres a lo largo de casi dos años:

- Visión para el futuro.
- Obstáculos a la realización de la visión.
- Acciones para cumplir la visión.
- Alianzas para implementar las acciones.

La siguiente descripción de lo ocurrido durante cada una de estas etapas demuestra cómo el diseño de un programa ambiental regional puede surgir a partir de metas amplias, como las de la misión anteriormente mencionada, como un juego específico de acciones para cumplir esas metas.

El proceso de planificación estuvo abierto a cualquiera que deseara participar, incluidos representantes de los gobiernos locales, estatales y nacionales, corporaciones, organizaciones comerciales y ciudadanos interesados. Un grupo de aproximadamente 250 participantes estuvo continuamente involucrado durante los tres años que tomó formular y pulir el plan.

El proceso de planificación comenzó con un taller para identificar la visión para el futuro del estuario. La pregunta clave del taller fue "¿Cómo queremos que sea el estero Barataria-Terrebonne dentro de 25 años?". La lluvia de ideas estuvo diseñada para incorporar las opiniones diversas y frecuentemente opuestas de todos los participantes mientras se definían temas amplios en los que todos podían acordar. Los participantes presentaron sus ideas por escrito, con unas cuantas palabras clave, en papeles que se pegaban a la pared, a la vista de todos. Se permitió a los participantes solicitar aclaraciones

sobre el sentido de ideas particulares, pero no hubo discusión sobre los méritos de las ideas. Cada idea en la pared fue incluida en el registro final del taller.

Se propusieron cientos de ideas. Tras pegar todas en la pared y asegurarse de que todos las comprendieran, los participantes se dedicaron a clasificar las ideas en grupos que tuvieran algo en común. Todos los participantes decidieron en conjunto los temas y títulos para cada grupo de ideas. Estos títulos, y cada idea relacionada con cada tema, fueron ingresados a un procesador de palabras e impresos como un registro del taller. Los resultados del taller fueron sintetizados en una visión (véase el recuadro 12.2) que enumera los temas identificados en el taller.

Nosotros los ciudadanos de Louisiana y de las cuencas del estero Barataria-Terrebone creemos que el ecosistema de Barataria-Terrebone es un tesoro nacional que representa un patrimonio multi-cultural único. Además, reconocemos que su administración continua es fundamental para su preservación, restauración y mejora. Esta gestión solo puede mantenerse con el apoyo activo de aquellos que viven en las cuencas, y aquellos que utilizan sus abundantes recursos de manera local, estatal o nacional. En reconocimiento de la importancia del estero para nuestro bienestar ambiental, cultural y económico, los individuos residentes y trabajadores en estas cuencas creemos que debemos tener un ecosistema equilibrado que incluya:

- Educación pública y participación ciudadana informada.
- Apoyo y reconocimiento local, estatal y nacional.
- La continuidad del patrimonio multi-cultural.
- Humedales sanos que mantengan la viabilidad de los recursos pesqueros y de vida silvestre.
- Contaminación reducida para proteger la salud de flora, fauna y personas.
- Actividad económica ambientalmente responsable.
- Infraestructura compatible con el medio ambiente (caminos, puentes, diques, vias ferroviarias, etc).
- Planificación íntegra y exhaustiva pare el uso de la cuenca entre todos los usuarios.
- La utilización armoniosa de los recursos por parte de los diversos intereses y resolución de conflictos entre usuarios.

Nos comprometemos a trabajar juntos para desarrollar un plan para reestablecer el balance químico, físico y biológico en el estero Barataria-Terrebonne para que tanto las comunidades de flora y fauna como la salud y bienestar humano sean mejoradas y sustentables para las generaciones presentes y futuras.

Recuadro 12.1 – Primer taller de planificación del estero Barataria-Terrebonne: visión.

El segundo taller trató los obstáculos, y los retos de superar estos obstáculos. Siguió el mismo procedimiento del primer taller. Los participantes enumeraron de manera individual todas sus ideas en tarjetas que se colocaron en la pared. Después todos cooperaron en agrupar las ideas y nombrar los temas de cada grupo. Los siguientes temas de obstáculos y retos se presentan en el recuadro 12.2.

Tema del Obstáculo	**Retos**
Metas conflictivas	Encontrar puntos de acuerdo entre administradores y usuarios.
Actitudes provinciales	Crear un camino hacia el orgullo y administración regional del estuario a largo plazo.
Imagen distorsionada	Desarrollar paquetes promocionales que enfaticen la singularidad del estuario y ofrezca información minuciosa y fidedigna.
Público mal informado	Diseñar e implantar un programa exhaustivo para involucrar y educar a todos los usuarios.
Recursos naturales limitados	Identificar los límites de los recursos y buscar un uso equilibrado.
Ajuste a los procesos naturales	Buscar la compatibilidad con los cambios naturales y utilizar la infraestructura existente para mejorar el ecosistema y minimizar el impacto de los desastres naturales.
Ineficacia del gobierno	Involucrar a todas las jurisdicciones políticas, a todos los niveles, en la planificación e implementación de largo alcance.
Desconfianza y resistencia a la reglamentación ambiental	Desarrollar reglamentos sencillos, justos, prácticos y ejecutables con sanciones estrictas.
Falta de datos y sus interpretaciones	Organizar e interpretar los datos de manera accesible tanto al público en general como a los tomadores de decisiones.

Recuadro 12.2 – Segundo taller de planificación pare el estero Barataria-Terrebonne: obstáculos y retos.

Los retos identificados en el segundo taller sirvieron como puntos de referencia para el siguiente taller, en el que se buscaron acciones para enfrentar los retos. Se sugirieron más

de 400 acciones, y una relación de todas las sugerencias fue circulada entre participantes del taller y otros interesados. La síntesis de resultados se presenta en el Recuadro 12.3.

Factor Natural Aquellos sistemas relacionados a la física, química, biología y el movimiento de agua o tierra dentro del ecosistema del estero. Trata los problemas técnicos y científicos y están estrechamente vinculados entre sí.	**Factor Humano** Los sistemas socioeconómicos que en actualidad tienen mayor impacto sobre el estero. Involucra la participación pública bien informada y los patrones y actitudes culturales relacionados al desarrollo económico y la valuación de los recursos naturales.	**Factor Gestión** Los sistemas de toma de decisiones y administración que implican la integración exhaustiva y holística de consideraciones ambientales en la planificación, coordinación y regulación de los recursos humanos y naturales.	**Factor Vínculos** Aquellos sistemas que sirven como criterio para lograr la sustentabilidad ecológica. Representa cómo los sistemas naturales, humanos y administrativos están entrelazados de manera dinámica y fueron considerados por los interesados cómo "el cuerpo y alma o conciencia" del ecosistema.
Suelos Preservar y restaurar los humedales e Islas de Barrera desarrollando programas fuertes y efectivos.	**Desarrollo Económico** Promover las actividades económicas que son ecológicamente responsables y aquellos empleos que mantienen los recursos del estero.	**Bases de datos exhaustivas** Crear una base de datos accesible, exhaustiva con información interpretada para el público.	**Uso equilibrado** Definir indicadores de la salud humana y del ecosistema y medidas para el uso equilibrado de los recursos naturales.
Comunidades biológicas diversas Apoyar de manera realista las comunidades biológicas diversas y comunes.	**Apoyo y reconocimiento nacional** Lograr el reconocimiento nacional a través de un cabildeo para atraer fondos federales y fortalecer las políticas federales en apoyo al estero.	**Reglamentación efectiva** Crear reglas sencillas, justas, prácticas y ejecutables con participación balanceada y coordinación entre dependencias, incrementando la cantidad y calidad de la participación ciudadana.	**Soluciones de acuerdo común** Encontrar soluciones de acuerdo común entre administradores y usuarios para garantizar su implementación y lograr la protección voluntaria de los recursos.
Calidad de Agua Definir y cumplir con normas de calidad de agua que protejan los recursos del estero y la salud humana.	**Educación y participación** Implementar programas didácticos y de concienciación que aumenten la participación pública y preserven el patrimonio cultural.	**Planificación Integral de la Cuenca** Desarrollar y mantener una planificación de cuenca a varios niveles y a largo plazo, estableciendo una tradición de participación transparente e inclusiva en todos los trabajos de planificación.	**Compatibilidad con la naturaleza** Ser compatible con los cambios naturales, físicos y biológicos, utilizando la infraestructura presente y futura, fomentando actividades socioeconómicas armónicas, y minimizando el impacto de los desastres naturales.

Recuadro 12.3 – Tercer taller de planificación del estero Barataria-Terrebonne: retos y acciones.

Tras un período de cuatro meses para permitir a todos contemplar las acciones sugeridas, hubo un taller para identificar acciones catalíticas – es decir, acciones que no solo tendrían consecuencias benéficas directas, sino que también generaran otras acciones deseables. La identificación de acciones catalíticas y la clasificación de estas acciones en cuatro programas siguieron el mismo procedimiento de los talleres previos. Los cuatro programas definidos fueron:

1. Planificación e implementación coordinada.
2. Gestión ambiental.
3. Reconocimiento y participación ciudadana continuos.
4. Crecimiento económico.

Los actos catalíticos fueron la base de 51 planes de acción incluidos en el Plan de Gestión Ambiental final. Los participantes que quisieron participar en la implementación de un programa en particular se alistaron como miembros de la alianza comprometida a su implementación. Durante el año siguiente cada alianza trabajó los detalles de su programa. Los detalles los programó únicamente la alianza comprometida a implementar ese programa en particular. En ningún momento se permitió que alguien planificara trabajo a realizarse por otros. Los detalles de los programas luego fueron combinados en el plan de manejo ambiental (véase el Recuadro 12.4), el cual fue publicado en 1996 en cuatro tomos como el *Plan Integral de Conservación y Gestión*.

METAS DE BTNEP

- Forjar soluciones de acuerdo común a los problemas del estero.
- Dar continuidad a la planificación integral de la cuenca a varios niveles y a largo plazo.
- Crear reglas sencillas, justas, prácticas y ejecutables.
- Preservar y restaurar humedales e islas de barrera.
- Definir y cumplir con normas de calidad de agua que protejan la salud humana y la de los recursos del estero.
- Apoyar de manera realista diversas comunidades biológicas naturales.

- Crear una base de datos e interpretaciones, exhaustiva y accesible para el público.
- Formular indicadores de la salud del estero y su utilización equilibrada.
- Implementar programas didácticos que aumenten la participación ciudadana y preserven el patrimonio cultural.
- Fomentar el reconocimiento y apoyo nacional hacia el estero Barataria-Terrebonne.
- Ser compatible con los procesos naturales.
- Promover actividades económicas ambientalmente responsables que conserven los recursos del estero.

PLANES DE ACCIÓN

Programa 1: Planificación e implementación coordinada

Estructura de implementación del programa

- Dar continuidad a la conferencia de gestión.
- Establecer contactos a lo largo del estado para la implementación del Plan Integral de Conservación y Manejo.
- Mantener al personal crítico y la oficina del programa.

Planificación coordinada

- Utilizar procesos participativos en la toma de decisiones en las reuniones de la Conferencia de Gestión; resolución de conflictos.
- Establecer dos Centros de Información de Licencias de los Humedales en el estero.
- Brindar apoyo educativo y de planificación a autoridades y planificadores locales para garantizar el desarrollo económico sustentable dentro del estero.
- Desarrollar e implementar una serie de procedimientos recomendados para que las agencias involucren al público en el desarrollo de reglamentos, normas y lineamientos estatales.
- Establecer un proceso de evaluación periódica con respecto a la implementación de los reglamentos y procesos de licencias en los humedales.

Programa 2: Gestión ambiental

Gestión de hábitat

- Restaurar la hidrología natural de áreas que reciben flujos de agua dulce.
- Desviar agua dulce y sedimentación para disminuir salinidades y mantener o crear ciénegas.
- Evaluar la efectividad de reactivar Bayou Lafourche como canal distribuidor del río Misisipi.
- Utilizar material dragado para crear, mantener y restaurar ciénegas.
- Preservar y restaurar las islas de barrera del estero.
- Estabilizar la costa e inducir la sedimentación para crear, mantener y restaurar ciénegas.
- Evaluar el manejo de las ciénegas y de las estructuras de control hídrico para estabilizar los niveles de agua y la salinidad para facilitar el crecimiento de ciénegas.

Calidad de agua

- Calcular cuantitativamente las fuentes y niveles de nutrientes, bacterias y contaminantes tóxicos dentro del estero.
- Reducir el número, volumen e impacto de derrames de hidrocarburos en el estero.
- Reducir las descargas de aguas residuales al estero por parte de plantas de tratamientos, casas rurales, comunidades sin alcantarillas, embarcaciones comerciales y residenciales y campamentos litorales.
- Emplear los Planes de Gestión Agrícola existentes para reducir los niveles de nutrientes y contaminantes tóxicos.
- Reducir los niveles de contaminantes asociados con las prácticas actuales de descargas de aguas torrenciales; mejorar los humedales con aguas torrenciales.
- Crear con fines de gestión una base de datos fundamentada en un sistema de información geográfica con respecto a la contaminación de sedimentos para fines de gestión.
- Definir los riesgos a la salud humana y la industria pesquera asociados con fitoplancton tóxico y nocivo.

Recursos vivientes

- Fomentar la gestión de tierras particulares como hábitat para aves residentes y migratorias.
- Reducir el impacto adverso de plantas exóticas a través de reglamentación, educación, gestión y control.
- Iniciar un programa de vigilancia del mejillón cebra en el estero y desarrollar y difundir nueva información sobre técnicas de control.

Datos accesibles y compatibles.

- Crear un sistema de administración de datos accesible y centralizado.

Programa 3: Conciencia y participación ciudadana contínua.

Participación ciudadana

- Desarrollar una red de líderes comunitarios y de equipos en apoyo a la implementación de los planes de acción del Plan de Conservación y Gestión Exhaustiva.
- Celebrar reuniones de manera regular que involucren al público en las decisiones en torno al estero.
- Ofrecer oportunidades de participación ciudadana para la protección y gestión del estero.
- Desarrollar programas de vigilancia que generen datos sobre la calidad de agua y recursos vivientes.
- Conducir y apoyar actividades que enfaticen el patrimonio cultural del estero para desarrollar una conciencia de gestión ambiental.
- Asistir y facilitar que las comunidades establezcan áreas verdes urbanas.
- Etiquetar alcantarillas con prohibiciones para verter materiales tóxicos.

Información pública y educación.

- Generar apoyo legislativo en cuestiones del estero.

- Utilizar los medios para difundir información.
- Organizar un grupo de oradores voluntarios y presentaciones en temas del estero.
- Ofrecer materiales didácticos sobre cuestiones del estero para diversos públicos.
- Desarrollar una campaña enfocada de distribución de información sobre el estero y su Plan Exhaustivo de Conservación y Gestión.
- Crear y promover el uso de un número de teléfono sin costo a la oficina del programa.

Curriculum

- Desarrollar y difundir materiales curriculares en apoyo a la educación en torno al estero (desde kínder a universidad).
- Ofrecer programas de educación ambiental para adultos.
- Concienciar en cuanto a la necesidad de financiar la educación ambiental; identificar estrategias y fuentes de financiamiento.
- Establecer una red de recursos educativos del estero.

Programa 4: Crecimiento económico

Desarrollo económico

- Identificar fuentes de financiamiento para nuevas empresas ambientalmente sustentables.
- Promover el turismo y recreo de naturaleza.
- Desarrollar un mercado comercial para la nutria para reducir su impacto sobre los humedales.

Transferencia de tecnología

- Celebrar una exposición anual para demostrar tecnologías ecológicamente sustentables.
- Desarrollar mercados nuevos y expandir los existentes, fomentar y promover la capacitación en la exportación de recursos, productos y tecnologías ecológicamente sustentables,
- Desarrollar, identificar y promover tecnologías y prácticas ecológicas.

Estímulos a la cooperación

- Identificar, promover y ofrecer estímulos financieros o fiscales para el desarrollo económico ecológicamente sustentable.
- Desarrollar e implementar un programa de educación para explicar al sector privado el motivo de las licencias de humedales.

Recuadro 12.4 –Plan de gestión ambiental del Programa del Estero Barataria-Terrebonne.

La implementación del plan comenzó en 1996. Un equipo de participantes voluntarios gestiona cada plan de acción. Cada equipo está abierto a cualquiera que desee participar. Algunos de los equipos más populares constan de más de cien individuos. Cada

plan de acción es de carácter estratégico. El equipo toma decisiones sobre actividades mientras avanza la labor.

A la fecha los logros más importantes del BTNEP han sido:

- Enfocar la atención pública sobre el estero visto como un sistema ecológico.
- Generar mayor participación ciudadana.
- Establecer credibilidad y confianza en el programa.

Es esencial para la aceptación comunitaria mantener una imagen de neutralidad entre la compleja competencia de intereses públicos y privados. El BTNEP no favorece a grupo particular alguno. Tan solo le preocupa la salud ambiental del estero. Se requiere de un alto nivel de integridad profesional para lograr la aceptación. Los individuos que viven y trabajan en el estero pueden confiar en que las evaluaciones y los datos del BTNEP están completos y son fidedignos dentro de las limitaciones de la información disponible. El BTNEP tiene un Sistema de Administración de Datos que extrae información de toda fuente posible, y un Programa de Índices de Sustentabilidad que desarrolla indicadores para evaluar y comunicar tendencias en la salud ambiental del estero.

Muchos de los programas de acción tienen que ver con prevenir la pérdida de tierras de alguna u otra manera. El enfoque práctico de las acciones hasta la fecha ha sido la protección de tierras vulnerables a la erosión. Esto incluye la siembra extensa de moreras, encinos y otros árboles para retener la tierra. Además, se han construido cercas de broza con miles de árboles de navidad para proteger la costa de la erosión. El sedimento dragado se ha usado para la reconstrucción de ciénegas a pequeña escala. Los socios del programa también han planificado y realizado trabajos preliminares en proyectos para desviar los ríos a zonas del estero donde se necesita el sedimento para crecer la tierra o compensar el hundimiento o la erosión. El primer desvío a gran escala comenzará en el 2001. Los resultados serán evaluados cuidadosamente para guiar los ajustes continuos a los detalles del desvío. Las evaluaciones además brindarán información sobre el diseño de otros proyectos de desvío de aguas fluviales – algunas utilizando flujos naturales y otros con tuberías - que están pendientes en otras partes del estero.

Muchos de los programas de acción también trabajan el tema de calidad de agua. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales para casas y campamentos pesqueros a lo largo del estero, han sido prioritarios. Además, algunos poblados han mejorado su infraestructura para tratamiento de aguas residuales. Estudiantes de bachillerato ayudan a evaluar los niveles de bacterias coliformes (indicadores de contaminación fecal humana) en el agua. Un programa didáctico sobre controles alternativos de plagas dirigido a agricultores les ha permitido reducir el uso de pesticidas. La industria petrolera ha actualizado su equipo para minimizar derrames de plataformas y tuberías.

Un intenso programa educativo para todas las edades ha sido fundamental. Se han preparado materiales didácticos para escuelas y realizado talleres de capacitación para los maestros. Participantes en los programas gubernamentales de servicio comunitario Americorps y Delta Service Corps ofrecen presentaciones sobre cuestiones del estero en escuelas. El número telefónico sin costo facilita respuestas a interrogantes públicas. Cerca de 500,000 materiales didácticos han sido desarrollados y distribuidos al público; entre estos videos, publicaciones, CDs y mapas como los incluidos en este capítulo. Los videos tratan la historia del estero, su problemática ambiental y lo que pueden hacer los ciudadanos para mejorar su salud ambiental. El Acuario de las Américas en la vecina ciudad de Nueva Orleans tiene exhibiciones sobre el estero y recientemente se inauguró un Museo de la Vida Silvestre de Barataria-Terrebonne dentro de la región del estero. Oradores voluntarios tratan los temas del estero ante agrupaciones civiles, y se llevan a cabo talleres educativos para el público en general. Se difunde información continuamente a los medios, y los legisladores estatales reciben copias de artículos noticiosos sobre las actividades en el estero.

Uno de los mayores éxitos del programa ha sido el alto nivel de participación pública. Empresarios contribuyen a la restauración de ciénegas. Estudiantes de bachillerato y demás voluntarios plantan árboles, alzan cercas de broza con árboles navideños y construyen parques comunitarios. Actividades comunitarias como festejos de las migraciones de aves y festivales ecológicos divierten y educan. Se realizan reuniones públicas para tratar temas como las muertes masivas de peces debido a la eutrofización, y los proyectos mayores,

como el desvió de aguas fluviales, son tratados en foros públicos antes de ser implementados.

Conclusiones

¿Qué podemos aprender del caso del BTNEP? Algunos problemas ambientales son particulares a los esteros, pero otros son relevantes en otros contextos. Muchos elementos de la visión definida en el primer taller, como el combate a la contaminación, el uso sustentable de recursos y planificación exhaustiva son anhelos similares a los que podríamos esperar de personas en cualquier parte del mundo. Muchos de los obstáculos identificados en el segundo taller, tales como las metas conflictivas de distintos actores en la región, falta de información, límites ambientales e ineficacia gubernamental son compartidos universalmente, mismo que los retos identificados.

Una importante lección de este ejemplo es que, para tener éxito, los programas ambientales regionales necesitan de personal núcleo de tiempo completo, pero que estos pueden desarrollarse e implementarse con recursos modestos. Durante la fase de planificación, el personal de BNTEP consistió de siete personas; actualmente hay solo cinco empleados. Su función es organizar, interpretar y comunicar la información, y facilitar las acciones. Los recursos humanos y los fondos para todas las actividades de los planes de acción provienen primordialmente de dependencias gubernamentales cuyos recursos humanos y presupuestos son cientos de veces mayores a los de la oficina del BTNEP. El voluntariado ha sido esencial. Sin embargo, es deseable un mayor número de personal. La pequeñez del personal del BTNEP comparado con la enorme escala del estero, su complejidad ecológica y social, y el gran número de planes de acción que coordina este personal es una limitante severa del programa.

La apertura y carácter inclusivo han sido clave para el éxito del BTNEP. Este enfoque puede ser indeseable para políticos y administradores que buscan retener todo el control posible, pero esta apertura y carácter inclusivo hacen más efectivo y duradero al BTNEP al disponer de la sabiduría de toda la comunidad y generar un sentido de propiedad

comunitaria sobre el programa que a su vez corresponde en un compromiso con su éxito. Otro ingrediente que va de la mano con la apertura y carácter inclusivo, son los altos estándares técnicos para ensamblar y comunicar la información ecológica. Las decisiones sabias, y el apoyo público para su implementación, dependen de una comunidad con una imagen realista de lo que sucede y de lo que se puede esperar de las acciones propuestas.
La facilitación por parte de interesados foráneos también fue crítica. El programa se desarrolló en respuesta a una convocatoria del gobierno federal de los Estados Unidos, el cual brindó los fondos para la planificación e implementación. La auténtica participación ciudadana, tan esencial al éxito del diseño y la implementación, fue facilitada por una organización no-gubernamental especializada en organización comunitaria y planificación estratégica. Es raro que se desarrollen programas ambientales regionales de manera espontánea, sin asistencia foránea.

El excepcional valor ecológico y económico del estero Barataria-Terrebonne, así como la magnitud y severidad de las consecuencias de su problemática ambiental y el alto índice de pérdida de tierras sin duda son responsables de que un programa ambiental de tal calibre fuera desarrollado para esta ubicación. Sin embargo, se necesitan programas ambientales regionales de calidad similar alrededor del planeta. Del mismo modo que se requiere un consejo escolar o agencia reguladora para garantizar los estándares educativos para los niños en una región, se necesitan programas ambientales como el BTNEP y Área Recreativa Nacional de la Sierra de Santa Mónica (descrito en el capítulo 11), para garantizar la salud ambiental del paisaje para generaciones futuras y, donde sea necesario, restaurar la salud ecológica al paisaje. Es una responsabilidad que no podemos ignorar – una responsabilidad hacia nosotros mismos, hacia generaciones futuras y hacia todos los seres vivientes con quienes compartimos este planeta.

Bibliografía

- BTNEP (1995) Land Use and Socioeconomic Status and Trends in the Barataria-Terrebonne Estuarine System, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana

- BTNEP (1995) Saving Our Good Earth: A Call to Action. Barataria-Terrebonne estuarine system characterization report, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana
- BTNEP (1995) Status and Trends of Eutrophication, Pathogen Contamination, and Toxic Substances in the Barataria-Terrebonne Estuarine System, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana
- BTNEP (1995) Status and Trends of Hydrologic Modification, Reduction in Sediment Availability, and Habitat Loss/Modification in the Barataria-Terrebonne Estuarine System, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana
- BTNEP (1995) Status, Trends, and Probable Causes of Change in Living Resources in the Barataria-Terrebonne Estuarine System, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana
- BTNEP (1996) The Estuary Compact: A Public - Private Promise to Work Together to Save the Barataria and Terrebonne Basins, Barataria-Terrebonne National Estuary Program, Thibodaux, Louisiana
- Spencer, L (1989) Winning through Participation, Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa
- Watts, J and Cheramie, K (1995) 'Rallying to save Louisiana wetlands' in Troxel, J (ed) Government Works: Profiles of People Making a Difference, Miles Rivers Press, Alexandria, Virginia

PUNTOS DE REFLEXION

1. El término "tecnología ecológica" típicamente se refiere a métodos, procesos o equipo para reducir la contaminación o reciclar residuos. Aunque la lucha contra la contaminación y el reciclaje tienen un papel fundamental en el desarrollo sustentable, se necesitará de una amplia gama de tecnologías para que el desarrollo sustentable se haga realidad. El caso del dengue hemorrágico y los copépodos ilustra el **control biológico** como tecnología que puede hacer frente no solo a patógenos sino a plagas agrícolas. ¿Puede pensar en otros ejemplos de tecnologías ecológicas (algunas distintas al control biológico) que puedan contribuir al

desarrollo sustentable? ¿Qué papel pueden desarrollar las comunidades locales en diseñar e implementar tecnologías ecológicas?

2. La gestión ambiental local ofrece varios beneficios, pero deben superarse grandes obstáculos para hacerlo realidad. Piense en el paisaje de su región junto con otros aspectos de su comunidad. ¿Qué problemas merecen la atención de su comunidad? El caso del estero Barataria-Terrebonne demuestra cómo puede aclararse la problemática para educar a políticos y el público en general para movilizar su apoyo y participación en acciones que enfrentan estos problemas. ¿Qué lecciones extrajo del caso Barataria-Terrebonne? ¿Cómo son aplicables a la movilización política y el apoyo comunitario para acciones ambientales en su comunidad?

GLOSARIO

Agricultura de subsistencia: La agricultura cuyos productos proveen las necesidades básicas de la familia agrícola, con pocos excedentes para el mercado.

Agricultura orgánica: Método agrícola que utiliza abonos de origen animal o vegetal y controla las plagas con métodos naturales en vez de utilizar fertilizantes y pesticidas químicos.

Agricultura trashumante: Véase ROZA, TUMBA Y QUEMA.

Agroforestería o **Agrosilvicultura:** Ecosistema agrícola que incluye árboles.

Animismo: Creencia en que plantas, animales y algunos objetos inanimados en la naturaleza tienen espíritus o almas.

Antropogénico: Hecho o causado por el hombre.

Autónomo: Libre de controles externos.

Bacterias nitrificantes: Bacterias responsables de convertir el nitrógeno atmosférico a formas (por ejemplo el amoniaco) utilizables por las plantas.

Barbecho: Terreno en desuso, sin cultivar.

Biofilia: La necesidad emocional nata de los humanos por tener plantas o animales en sus vidas de alguna u otra manera.

Bioma: Un ecosistema a gran escala, asociado con un clima en particular.

Bomba de nutrientes: Proceso ecológico en que los árboles extraen minerales de tierras demasiado profundas para los cultivos. Los minerales llegan a las hojas de los árboles, y eventualmente caen a la superficie de la tierra, donde se vuelven accesibles a los cultivos.

Cadena alimenticia: Una serie de seres vivos conectados por comerse unos a otros.

Capacidad de carga: Población máxima de una especie animal o vegetal que puede soportar un ecosistema a largo plazo.

Capital natural: Todos los recursos naturales de que depende una civilización para lograr prosperidad económica. El capital natural incluye el agua, minerales, aire, tierras, plantas, animales y microorganismos en los ecosistemas naturales, agrícolas y urbanos.

Chaparral: Comunidad biológica compuesta de arbustos adaptados a veranos secos e inviernos húmedos, común en las costas del sur de California.

Ciclos de materia (o de nutrientes o de minerales): La circulación de elementos químicos a través de la red trófica, el aire, la tierra, y el agua de un ecosistema.

Ciclos de minerales: Véase CICLOS DE MATERIA.

Ciclos de nutrientes: Véase CICLOS DE MATERIA.

Ciénega: Terreno bajo, saturado de agua, típicamente dominado por pastos que toleran la humedad excesiva.

Coadaptación: Ajustes entre unas y otras partes de un ecosistema.

Coevolución: Cambios relacionados en dos especies que tienen una relación ambiental cercana (por ejemplo, presa y depredador), que actúan como agentes de selección natural sobre dichas especies.

Competencia ecológica: Utilización del mismo recurso por dos especies distintas de planta, animal o microorganismo.

Comunidad biológica: Todos los seres vivos (plantas, animales y microorganismos) en un ecosistema.

Comunidad clímax: La última etapa de la sucesión ecológica.

Consumidor: Animal u otro organismo que se alimenta de plantas, animales o microorganismos.

Consumo: El flujo de materia orgánica (cadenas de carbono) a través de una red alimenticia al alimentarse animales y microorganismos de plantas, otros animales o microorganismos para obtener los materiales y energía necesarios para su sustento.

Contraintuitivo: Lo opuesto o contrario de lo que pudiera pensarse en primera instancia. Los resultados de las acciones humanas en sistemas complejos adaptativos tales como los ecosistemas y sistemas sociales frecuentemente son contraintuitivos cuando complejas cadenas de efectos generan consecuencias finales distintas a los impactos inmediatos.

Control biológico: El control de plagas mediante la alteración de su medio ambiente o la introducción de enemigos naturales, como depredadores o patógenos.

Cosmovisión: La concepción inclusiva o imagen del mundo y de las relaciones con él, que tiene un individuo. Las cosmovisiones generalmente compartidas por todos los miembros de una sociedad conforman la cosmovisión de esa sociedad.

Crecimiento demográfico exponencial: El aumento en la población caracterizado por una tasa de crecimiento cada vez mayor al incrementar el número de individuos en la población.

Cuenca: Una región que drena a un arroyo, río, lago u océano. Las cuencas son la fuente primaria de agua para ciudades y la agricultura.

Cultivos anuales: Plantas que viven únicamente un año o estación.

Descomponedor: Un microorganismo que se alimenta de restos muertos de plantas, animales o microorganismos.

Depredador: Un animal que come otros animales.

Desarrollo adaptativo: Evolución del sistema social a través de un proceso de resolución de problemas que incluye amplia participación ciudadana y evaluaciones para valorar la efectividad de las acciones humanas y medidas correctivas para armonizar estas acciones con las metas comunitarias.

Desarrollo sustentable: Hacer las cosas de manera tal que no reduzca las oportunidades de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. El *desarrollo ecológicamente sustentable* depende de interacciones entre personas y ecosistemas que mantienen la integridad funcional de los ecosistemas de manera que los ecosistemas continúen brindando servicios ambientales.

Desertificación: La transformación de otro tipo de ecosistema (por ejemplo, pastizal) a desierto. Típicamente asociado con la pérdida del mantillo y la consecuente reducción de flora en regiones semiáridas.

Dispersión: La propagación de plantas, animales o microorganismos de un lugar a otro por movimientos propios o transportados por viento, aguas, animales o máquinas.

División de labores: Diversificación de tareas o roles ocupacionales en una sociedad para mejorar la eficiencia del trabajo.

Dominio de estabilidad: Un rango de estados similares de un sistema, caracterizado por procesos naturales o sociales que tienden a mantener el sistema en dichos estados.

Dosel: Manto superior de ramas y hojas en un bosque.

Ecología: La ciencia que estudia las relaciones e interacciones entre los seres vivos y su medio ambiente.

Ecología Humana: La ciencia que estudia las relaciones e interacciones entre las personas y su medio ambiente.

Economía de escala: La reducción en el precio unitario como consecuencia del aumento en la escala de producción.

Ecosistema: Un sistema formado por las interrelaciones de una comunidad biológica con su ambiente físico y químico. Un ecosistema incluye todo en un sitio en particular: plantas, animales, microorganismos, aire, agua, suelo y estructuras antropogénicas. Los *ecosistemas naturales* están completamente formados por procesos naturales. Los *ecosistemas agrícolas* son creados por las personas para abastecerse de alimento u otro recurso. Los *ecosistemas urbanos* son dominados por estructuras antropogénicas.

Ecosistema agrícola: véase ECOSISTEMA.

Ecosistema natural: Véase ECOSISTEMA.

Ecosistema urbano: Véase ECOSISTEMA.

Edáfico/a: Relativo a los suelos. Véase EROSIÓN EDAFICA.

Eficiencia de la cadena alimenticia: El porcentaje de la energía de las cadenas de carbono de una etapa de la cadena alimenticia que puede ser aprovechada por la siguiente etapa de la cadena.

Egresos del ecosistema: Materiales, energía o información que salen de un ecosistema para entrar a otro ecosistema o al sistema social humano.

Ensamble comunitario: Auto-organización de comunidades biológicas según la adición selectiva de nuevas especies de plantas o animales que arriban al ecosistema.

Erosión edáfica: Pérdida de tierra debida al viento o la lluvia.

Especies amenazadas: Una especie de planta o animal en peligro de extinción, típicamente como consecuencia de actividades humanas.

Estabilidad: Consistencia. Resistencia al cambio.

Estado del ecosistema: Condiciones físicas, concentraciones químicas y números de cada planta, animal y microorganismo que caracterizan a un ecosistema de manera particular en cierto tiempo y espacio.

Estero o **Estuario:** El curso bajo y amplio de un río donde se une con el mar. Mucha del agua de un estero es una mezcla de aguas dulce y salada.

Eutrofización: La contaminación del agua con nutrientes minerales que fomentan el crecimiento de plantas.

Fitoplancton: Plantas acuáticas microscópicas que andan a la deriva en ecosistemas acuáticos.

Flujo de energía: El movimiento de energía en las cadenas de carbono de la materia orgánica que pasa a través de una red trófica al alimentarse un organismo de otro.

Hábitat: El tipo de ecosistema en que una planta, animal o microorganismo normalmente vive.

Hojarasca: Capa de materia vegetal muerta sobre el suelo.

Homeostasis: Retroalimentación negativa que mantiene al cuerpo de un organismo funcionando dentro de los límites críticos para el funcionamiento corporal continúo independientemente de estímulos externos que tienden a interrumpir dicho funcionamiento.

Humedal: Una área baja, como una ciénega o pantano, saturado de humedad.

Hundimiento de tierras: El sumir de la tierra debido a procesos como la descomposición de materia orgánica y la compactación de sedimento que resulta del peso del sedimento adicional sobrepuesto en capas previas.

Insostenible: Que no puede continuarse a largo plazo. Ecológicamente insostenible se refiere a las interacciones entre humanos y ecosistemas que dañan al ecosistema o agotan un recurso de manera que reduce el abasto del recurso o la capacidad del ecosistema de brindar un servicio ambiental.

Instituciones sociales: Modelo establecido de conductas o relaciones como parte fundamental de una cultura.

Intrusión (de agua) salina: La incursión de la marea tierra adentro debido a interrupciones en el flujo de un río.

Insumos del ecosistema: Materiales, energía o información que entran al ecosistema. Los insumos humanos (o antropogénicos) son actividades humanas que organizan o estructuran al ecosistema.

Larvicida: Químico u otro agente utilizado para matar larvas de insectos.

Legumbre: Plantas como los chícharos (guisantes) o frijoles con vainas que se abren a los lados. Las legumbres comúnmente tienen nódulos en las raíces con bacterias simbióticas que convierten el nitrógeno atmosférico a una forma utilizable por las plantas.

Mal (o enfermedad) de Minamata: Una forma severa de envenenamiento por mercurio caracterizada por la degeneración neurológica. Es llamada Minamata por la epidemia debida a pescados contaminados con mercurio en la Bahía de Minamata en Japón.

Micorrizas: Hongos en asociación simbiótica con las raíces que facilitan la absorción de fósforo por las plantas.

Monocultivo: Un ecosistema agrícola con un solo tipo de cultivo.

Mosaico paisajístico: Taracea repetitiva de distintos ecosistemas sobre un área. Véase ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA.

Negación (disonancia cognitiva): Rehusarse a creer información en conflicto con un sistema de creencias preexistente. La negación es un mecanismo de defensa que reduce la ansiedad debida al conflicto entre la realidad y las creencias.

Nicho ecológico: El rol de una especie en particular dentro del ecosistema. El nicho ecológico se define en términos de las condiciones físicas y los recursos necesarios para la supervivencia de la especie y su posicionamiento en la red trófica.

Organización jerárquica: La organización de un sistema de manera que cada elemento del sistema contiene otros elementos. Los sistemas biológicos tienen una jerarquía que se extiende desde átomos y moléculas a células, tejidos, órganos, individuos, poblaciones y comunidades biológicas. Los mosaicos paisajísticos tienen una jerarquía de ecosistemas que va desde menos de un metro cuadrado hasta abarcar todo el planeta Tierra.

Organización social: La estructura de relaciones sociales dentro de un grupo, incluyendo las relaciones entre subgrupos y sus instituciones.

Pantano: Ecosistema forestal saturado de agua.

Parásito: Un animal que obtiene sus nutrientes al vivir de otro animal (hospedero) sin matarlo inmediatamente. El hospedero puede ser dañado (y eventualmente muerto) por la relación con el parásito.

Patógeno: Un microorganismo que causa enfermedad en otro tipo de organismo. Esto normalmente ocurre cuando el patógeno vive en asociación próxima al organismo hospedero como hábitat y fuente de nutrientes que requiere para sobrevivir.

Plantas perennes: Cultivos u otras plantas que se encuentra todo el año, por sobrevivir por lo menos varios años.

Peces chatarra: Peces con poco valor comercial.

Percepción: La manera en que las personas "ven" e interpretan información. Las percepciones son importantes para la ecología humana porque determinan la manera en que la información es utilizada para acordar acciones humanas.

Población: Todas las plantas, animales o microorganismos de la misma especie en un ecosistema.

Policultivo: Una mezcla de especies de cultivos en un ecosistema agrícola.

Presión demográfica: Estrés debido a escasez de alimento u otros recursos cuando una población se encuentra cerca de, o en exceso de, la capacidad de carga.

Principio precautorio: Un estándar para las interrelaciones entre humanos y ecosistemas que enfatiza la cautela por ser limitado nuestro entendimiento de los ecosistemas.

Producción biológica (o producción primaria): El total del crecimiento de las plantas (debidas a la fotosíntesis) en un ecosistema. La cantidad del crecimiento de las plantas determina el abasto de alimento para todos los demás seres en un ecosistema.

Producción primaria: Véase PRODUCCION BIOLÓGICA.

Propiedades emergentes: Una característica de un sistema en conjunto que surge de la organización de las partes del sistema y no de las características de las partes en sí.

Quema controlada: Pequeños incendios prendidos deliberadamente para reducir la cantidad de material combustible en un bosque.

Recursos comunes: Predio u otro recurso utilizado conjuntamente por los miembros de una comunidad.

Recursos naturales no-renovables: Recursos inanimados, como el petróleo, gas, carbón y minerales.

Recursos naturales renovables: Recursos que continuamente son reemplazados por los ciclos de materia y flujos de energía en un ecosistema. La mayor parte de los recursos renovables (bosques, pesquerías, productos agrícolas) son recursos vivientes, aunque también existen recursos renovables inanimados (como el agua).

Red alimenticia: Conjunto de CADENAS ALIMENTICIAS interconectadas que incluye todos los organismos de la comunidad biológica del ecosistema.

Redes de deriva: Grandes redes de monofilamentos de nylon, típicamente de kilómetros de longitud, utilizados en la pesca oceánica. Los peces son capturados al intentar nadar a través de la red.

Redundancia: Duplicación de funciones.

Refugiados ambientales: Personas que emigran de una región debido a que el ecosistema ya no es capaz de cubrir sus necesidades básicas.

Regulación de poblaciones (o demográfica): Control de la población con retroalimentación negativa.

Rendimientos decrecientes: Una utilidad que tras cierto punto deja de aumentar en proporción a inversiones adicionales.

Resiliencia: La capacidad de regresar a un estado original tras alteraciones o disturbios severos.

Respiración: La extracción de energía para procesos metabólicos a través de la oxidación de cadenas de carbono en el cuerpo de seres vivos.

Retroalimentación negativa: Cadena de efectos a lo largo de un ecosistema o sistema social que tiende a mantener ciertas partes del sistema dentro de límites particulares.

Retroalimentación positiva: Cadena de efectos a través de un ecosistema, o sistema social, que amplifica el cambio.

Revolución Agrícola: Los comienzos de la agricultura, aproximadamente hace 10,000-12,000 años. La domesticación y cuidado de plantas y animales como fuentes de alimento y otros materiales de uso humano.

Revolución Industrial: Los cambios en la organización social y económica que comenzaron hace aproximadamente 300 años en Inglaterra al sustituirse herramientas manuales con maquinaria.

Revolución Verde: El aumento en la producción agrícola logrado con la introducción de variedades de cultivos de alto rendimiento y la aplicación de técnicas agrícolas modernas.

Roza, tumba y quema: Sistema agrícola caracterizado por la rotación entre cultivos y vegetación natural. Los sembradíos son preparados al cortar y quemar la vegetación natural (por ejemplo, bosque). Este terreno se cultiva durante dos o tres años, y luego se deja en barbecho, para generar nueva vegetación natural que eventualmente será quemada para volver a preparar el terreno para cultivos.

Salinización: La acumulación de concentraciones tóxicas de sales minerales como consecuencia de la irrigación. Al evaporarse el agua de riego, las sales se acumulan en la tierra.

(agua) Salobre: Mezcla de aguas dulce y salada.

Satoyama: Sistema de agricultura y silvicultura tradicional del Japón.

Servicios ambientales: Materiales, energía o información que obtienen las personas del ecosistema (por ejemplo, alimento, fibras, materiales de construcción y agua) o como experiencias que enriquecen sus vidas.

Silvicultura: Cultivo de los bosques o sus productos.

Simbiosis: Asociación mutuamente benéfica entre dos especies.

Sistema social: Todo en una sociedad humana, incluyendo su organización y estructura, conocimientos y tecnología, idioma, cultura, percepciones y valores.

Sistemas adaptativos complejos: Sistemas con circuitos de retroalimentación que les permiten ajustarse para sobrevivir a fluctuaciones en su ambiente.

Sobreexplotación: El uso de un servicio ambiental en exceso de lo que puede sostener el ecosistema a largo plazo.

Sobrepastoreo: La SOBREEXPLOTACIÓN de pastos al pacer más ganado del que pueden sostener los pastos.

Sobrepesca: La SOBREEXPLOTACIÓN de una pesquería al capturar más peces de los que el ecosistema puede producir a largo plazo.

Sucesión antropogénica: Un cambio en la comunidad biológica de un ecosistema como consecuencia de actividades humanas. Véase SUCESION ECOLOGICA.

Sucesión ecológica: Una progresión sistemática de comunidades biológicas a lo largo del tiempo, siendo cada comunidad biológica reemplazada por otra debido a procesos ecológicos naturales. Véase también SUCESIÓN ANTROPOGÉNICA.

Sucesión de pesquerías: Un cambio en la comunidad biológica de un ecosistema de pesquería en que los peces sobreexplotados desaparecen y son reemplazados por otras especies.

Tala rasa: Talar todos los árboles de un bosque al mismo tiempo. Lo contrario de TALA SELECTIVA.

Tala selectiva: Cortar únicamente algunos de los árboles de un bosque. La tala selectiva es una manera de gestionar un bosque de manera sustentable, lo opuesto a la TALA RASA.

Tragedia de los Recursos Comunes: La SOBREEXPLOTACION de un recurso natural debido a 1) la falta de derechos de propiedad sobre el recurso; 2) el uso abierto del recurso, sin restricciones; 3) y la abundancia del recurso es tal que las acciones de un solo individuo no tiene impacto sobre el abasto del recurso.

Valores: Los ideales, costumbres e instituciones sociales que son respetadas de manera emotiva.

Variedades (de cultivos) de alto rendimiento: Cultivos mejorados genéticamente para tener niveles elevados de producción bajo condiciones ambientales idóneas, logradas con métodos de crianza modernos.

Vector: Un animal que transmite enfermedades bacterianas, virales o parásitas.

Zona Económica Exclusiva: La zona marina sobre la cual una nación reclama soberanía sobre todos los recursos a una distancia de 320 millas náuticas de sus costas.

Zona de abasto: Véase ZONA DE INFLUENCIA

Zona de Influencia: La región que rodea a una ciudad y que es afectada por la autoridad o comercio de la misma.

Zona Metropolitana: Una gran ciudad y sus suburbios colindantes.

Zooplancton: Microfauna que vive en ecosistemas acuáticos.