

Agua, hombre y paisaje

Alejandro Toledo

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Centro de Investigaciones y Estudios
Sociales en Antropología Social

Agua, hombre y paisaje

...el químico, el astrónomo, el geólogo, el matemático y el historiador, no son poetas, pero son los legisladores de los poetas; y lo que ellos han construido son los cimientos del edificio de todo poema perfecto... En la belleza del poema está la corona y el aplauso supremo de la ciencia.

WALT WHITMAN

Hojas de Hierba (Prefacio a la edición de 1855)

...hoy día un diálogo es posible entre ciencia y poesía, porque la ciencia nos revela un universo fabulosamente poético, redescubriendo problemas filosóficos capitales: ¿Qué es el hombre? ¿Cuál es su lugar? ¿Cuál es su destino? ¿Qué podemos esperar de él?

EDGAR MORIN

Amor, Poésie, Sagesse

No somos pecadores sólo por haber comido del Árbol de la Ciencia, sino también porque aún no comemos los frutos del Árbol de la Vida.

FRANZ FAFKA

Aforismos de Zürau

Agua, hombre y paisaje

Alejandro Toledo

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
Instituto Nacional de Ecología (INE)

Primera edición: marzo de 2006

D.R. © Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
www.ine.gob.mx

COORDINACIÓN EDITORIAL Y FORMACIÓN: Raúl Marcó del Pont Lalli
CORRECCIÓN DE ESTILO: Raúl Marcó del Pont Lalli con el apoyo de Alejandro Mejía
DISEÑO DE LA PORTADA: Álvaro Figueroa
FOTO DE LA PORTADA: Claudio Contreras Koob
EDICIÓN PARA INTERNET: Susana Escobar

ISBN: 968-817-768-7
Impreso y hecho en México

Índice

Prefacio		9
Agradecimientos		17
Introducción		19
El agua		21
El hombre		77
El paisaje		151
Una nueva visión		201
Anexo estadístico		213
Bibliografía		221
Índice analítico		253

Para Gabriela, Julie y Francisco

Prefacio

Los ríos y sus cuencas de drenaje abarcan un amplio espectro de ambientes naturales (acuáticos y terrestres) de nuestro planeta y albergan también una porción sustancial de la diversidad cultural acumulada por los pueblos del mundo. Pueden reconocerse legítimamente como los auténticos integradores y organizadores de los paisajes terrestres. Constituyen, por ello, los escenarios multidimensionales y multifuncionales ideales para el desarrollo de nuevos marcos conceptuales que promuevan el análisis sintético, conjunto, transdisciplinario, de procesos biofísicos y sociales. Éste es el mayor reto que se le presenta a las generaciones futuras de científicos y planificadores vinculadas con el estudio de los paisajes fluviales en cualquier parte del mundo (Naiman *et al.* 1998: 642).

Los ríos y sus cuencas de drenaje constituyen el motor biológico del planeta. Son la base de la vida en la Tierra y el medio de subsistencia de miles de comunidades humanas en diferentes regiones, especialmente en las zonas áridas, semiáridas y tropicales del planeta. Los estilos de aprovechamientos de estos bienes terrenales promovidos por la ci-

vilización industrial han transformado en los últimos siglos los paisajes hidrológicos y han acrecentado dramáticamente los riesgos de impactos irreversibles (L'vovich 1995: 235).

Ante este escenario tenemos que empezar por admitir que las mayores amenazas que hoy se ciernen sobre los ríos, las cuencas, los ecosistemas acuáticos, y en general, sobre los paisajes de la Tierra, se encuentran directa e indirectamente ligados a los modos de apropiación de la biomasa terrestre por parte del capitalismo en su fase industrial y posindustrial. Hoy, la economía global obedece sólo a las indicaciones del mercado, sin considerar los procesos ecológicos (Brown 2002: 11). El sistema dominante de apropiación de la biomasa generada por los ecosistemas promueve la conversión de los paisajes de la Tierra a espacios monofuncionales, dedicados a la producción de un número reducido de cultivos de alto valor económico para el mercado (Farina 2000: 315). Los paisajes promovidos por la economía global ignoran las complejas interrelaciones entre los componentes materiales y bioculturales de los paisajes terrestres, promueven e imponen sistemas tecnológicos que destruyen la retroalimentación entre procesos biofísicos y humanos, reducen sustancialmente la biodiversidad de los ecosistemas y eliminan los acervos acumulados por las culturas humanas.

Sin este reconocimiento avanzaremos muy poco en la construcción de un sistema autoadaptable a las restricciones que nos impone nuestra inserción en socioecosistemas cuyas capacidades de producción de biomasa son los resultados de la actividad altamente organizada de miles de millones de organismos con los que compartimos este hogar común.

¿Cómo evolucionar hacia un sistema, éste sí global, capaz de regular sus desequilibrios por el intercambio permanente

de materia/energía y entropía con su ambiente y que base su sostenibilidad en la alta efectividad de los conocimientos y la información, en una elevada eficiencia energética, en el incremento de la flexibilidad y la creatividad de sus componentes, y en una creciente complejidad estructural y organizacional en su funcionamiento, sin cambiar de un modo radical la actual relación que el sistema económico mantiene con respecto a los bienes de la Tierra? Las experiencias de los dos últimos siglos bajo el sistema-mundo del capitalismo nos plantea de un modo incontrovertible el hecho de que resulta imposible edificar una sociedad sostenible por la vía que hoy el sistema económico y social dominante nos impone como única.

Ciertamente, no podremos construir un sistema sostenible sobre la base un aparato económico y político, hoy hegemónico, capaz sólo de valorar a la naturaleza a través de un marco conceptual, el del mercado, profundamente insuficiente y unidimensional. Tampoco con una ciencia y una tecnología cuyas preocupaciones centrales son las de manejar la naturaleza.

Necesitamos con urgencia estructurar nuevas estrategias de sobrevivencia, romper el cerco, la celda de hierro de la unidimensionalidad, donde pretende encerrarnos el sistema hegemónico. Para ello tenemos que poner en juego toda nuestra capacidad de imaginación a fin de crear y aplicar nuevos principios que autorregulen nuestras relaciones y diálogos con la naturaleza, a fin de lograr el objetivo de mantener la multifuncionalidad de nuestros paisajes aprovechando los conocimientos acumulados por las culturas en los diversos contextos ecológicos y culturales de nuestro planeta.

Sin duda, tenemos que emprender un inmenso esfuerzo de construcción y reconstrucción social de nuestra realidad, en el seno de cada sociedad, de cada cultura, para edificar sobre bases sostenibles un sistema diferente al que hoy nos propone el capitalismo en su fase neoliberal. Se trata de reformular nuestras relaciones con la naturaleza; de emprender el difícil camino de cambiar nuestros hábitos de consumo y de vida, modelados hoy por un sistema orientado a la producción para obtener beneficios de patrones de vida irracionales; de reorganizar las relaciones entre el campo y la ciudad sobre nuevas bases de solidaridad y de conciencia sobre nuestros patrimonios culturales comunes.

Tenemos que reconstruir y crear nuevos paisajes: paisajes energéticos, regulados por la energía solar, el viento y la fuerza de las mareas; paisajes agrícolas, basados en policultivos, que garanticen realmente la autosuficiencia alimentaria de los pueblos del mundo y el mantenimiento de la biodiversidad de sus ecosistemas, y aseguren la protección de los suelos y el aprovechamiento verdaderamente eficiente del agua; paisajes urbanos que permitan una relación armónica de las ciudades con su entorno rural y que promuevan la convivencialidad al interior de ciudades que funcionen como ecosistemas. Paisajes, en fin, autopoieticos, autorregulados, creativos, surgidos del entendimiento de los procesos biofísicos y de las culturas de nuestros pueblos.

El más grande reto que nos plantean los paisajes, y en especial sus componentes acuáticos, es comprender y mantener sus estructuras y funciones en beneficio de la vida. Pensar al agua, al hombre como factor hidrológico y a los paisajes fluviales y sus cuencas, a partir de sus multidimensionalidades, como componentes de socioecosistemas al-

tamente complejos, capaces de tolerar, rechazar, integrar y utilizar en su favor las competencias, los desórdenes, los conflictos y las incertidumbres que los afectan, abre nuevas perspectivas a la tarea de construir sistemas auténticamente sostenibles de la vida en la Tierra.

El agua como componente multifuncional de los paisajes terrestres, con funciones vitales en la naturaleza y las sociedades humanas, como habitat, como sistema de transporte de energía, materia orgánica y minerales, como factor productivo de biomasa y alimentos, es un elemento crucial para abrir nuestros ojos hacia una nueva visión de la vida. La investigación del agua en el marco del paisaje es de una gran importancia porque de los flujos de agua, materia y energía depende el mantenimiento de funciones ambientales sin las cuales no podría sostenerse la vida sobre la Tierra. Y todos los componentes de la estructura del paisaje están relacionados con estos flujos. El fenómeno hidrológico es crucial porque el movimiento del agua se refleja en interacciones entre las unidades de los paisajes de una región hidrológica. El agua atmosférica, superficial y subterránea interactúan en prácticamente todos los tipos de paisajes terrestres: desde montañas, pequeños torrentes, lagos y humedales, hasta grandes valles fluviales, costas y océanos. Cada paisaje consiste de un conjunto de factores biofísicos y humanos que determina la distribución espacial de la respuesta hidrológica en forma de precipitación, evapotranspiración, almacenaje de lluvia, recarga de acuíferos y generación de flujos superficiales (Anderson y Sivertun 1991: 107). El análisis de los movimientos del agua nos indica los diferentes tipos de respuestas y sus interacciones en el espacio y el tiempo, así como el carácter de sus relaciones con las diferentes unida-

des de los paisajes del sistema hidrológico. Esta “aproximación hidrológica” es clave para la planificación a nivel de los paisajes de la Tierra (Steinhardt y Volk 2002: 1, van Buuren 1991: 1, Winter 1999: 28).

El hombre, como factor hidrológico, no sólo ha alterado el ciclo del agua sino también los ciclos biogeoquímicos globales, afectando la estructura y la función de todos los paisajes terrestres. Los cambios en la cobertura vegetal y usos del suelo provocados por las actividades humanas han afectado al 50% de la cobertura vegetal de la Tierra y 95% de los paisajes terrestres (Vitousek *et al.* 1997: 494, Pimentel y Pimentel 1992: 354). La historia contemporánea se encuentra marcada por el hidrocidio: por el deterioro sistemático de la calidad del agua y la pérdida creciente de su capacidad para mantener el funcionamiento y la salud de los ecosistemas. Por ello, la reflexión entorno a los efectos antropogénicos sobre el ciclo del agua y los ecosistemas acuáticos es una cuestión vital.

En fin, debemos pensar en los paisajes fluviales como sistemas multidimensionales, biofísicos y culturales, que cumplen diferentes funciones ecológicas, regulación, soporte e información, sin las cuales no sería posible ninguna clase de vida en la Tierra.

Pero el hombre no solamente es el factor que ha alterado los ciclos biosféricos, es, también, el portador de un acervo cultural que ha mantenido por miles de años una relación equilibrada con sus ecosistemas, y el creador de herramientas conceptuales, de marcos metodológicos, de organizaciones interdisciplinarias y transdisciplinarias de la ciencia, capaces de mantener y reiniciar un verdadero diálogo con la naturaleza y una auténtica colaboración con los procesos que sostienen la vida (Malone 1991: 186).

Hoy nos encontramos en el umbral de una nueva ciencia. Una ciencia que parte de la consideración de que nuestro conocimiento de la naturaleza será siempre incompleto. Que reconoce el hecho de que las conductas de los ecosistemas que estudia poseen un alto grado de incertidumbre. Que promueve el análisis de las interconexiones, la complementación y la síntesis. Que considera al devenir de nuestra realidad como la condición *sine qua non* de nuestro diálogo con la naturaleza (Prigogine 1997: 65). Que abre las vías para la reconciliación entre el hombre y la naturaleza, entre procesos ecológicos y socioeconómicos. Que se propone como primera y última de sus finalidades colaborar con la naturaleza y no dominarla ni manejarla, con un objetivo común: mantener los procesos básicos que hacen posible la vida en el planeta.

Se trata de una ciencia que reconoce que la complejidad del mundo real y sus problemas ambientales no pueden afrontarse a través de la organización disciplinaria del conocimiento. La complejidad de la realidad necesita de la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. La interdisciplina es un paso esencial para analizar las interrelaciones y las interconexiones entre los distintos aspectos de la realidad, sin abandonar la disciplina. La transdisciplina, en cambio, cruza las diferentes especialidades y va más allá de cada una. Requiere por lo tanto de un más alto grado de integración. Sólo puede ejercitarse a partir de un amplio fundamento conceptual que considera en su integralidad a los procesos biofísicos y sociales que constituyen nuestra realidad. La transdisciplina, por lo tanto, está destinada a romper con nuestras tradiciones académicas, que hoy separan a las ciencias naturales de las ciencias sociales, e ir más allá:

absorber conocimientos de la rica cantera de la diversidad plasmada en los paisajes culturales modelados por el hombre. Es un instrumento para hacer realidad el sueño de habitar poéticamente la Tierra.

Ciudad de Oaxaca, noviembre de 2005

Agradecimientos

Los temas abordados en este trabajo se han beneficiado de las discusiones, los comentarios y las enseñanzas de mis colegas a lo largo de los años que me ha tocado laborar en el Centro de Estudios Rurales (CER) de El Colegio de Michoacán, en el marco del proyecto Sustentabilidad patrimonial en la cuenca del río Tepalcatepec. A todos ellos mis agradecimientos por sus enseñanzas, especialmente al Dr. Esteban Barragán, quien ha iluminado mi apreciación de los paisajes culturales.

El autor desea hacer también patente sus agradecimientos al maestro Francisco Toledo, presidente honorario del Patronato Pro-Defensa y Conservación del Patrimonio Cultural y Natural del Estado de Oaxaca (PRO-OAX), por su invitación a hacer un año de tequio a fin de observar algunos de los problemas ecológicos y sociales que se presentan a nuestros ríos y sus cuencas, y poder soñar un poco con poner en práctica nuevos instrumentos, nuevos marcos metodológicos para estudiar y afrontar los problemas relacionados con el cuidado y aprovechamiento de nuestros patrimonios naturales y culturales, desde la perspectiva de la cuenca del río Atoyac-

Verde; a la Dra. Paola Sesia, Directora del CIESAS-Istmo, por su cálida y generosa acogida como investigador huésped, durante el año de 2005, así como por sus valiosos apoyos para efectuar algunos trabajos en el laboratorio del SIG del CIESAS; al MVZ Rubén Langlé y al Lic. Emanuel Gómez, por su apoyo en los trabajos del Sistema de Información, la creación de la base de datos y en los recorridos por la cuenca del Atoyac-Verde; al Dr. Gerardo Bocco y al Dr. Manuel Maass, del Centro de Investigación en Ecosistemas (CIECO) de la UNAM, por sus invaluable observaciones a la versión final del texto; a la Dra. Cristina Siebe, del Instituto de Geología de la UNAM, revisora acuciosa de la parte de suelos, y cuyas observaciones mejoraron de un modo sustancial los datos presentados en el análisis de los temas discutidos; al Dr. Manuel Mendoza, de la Unidad-Morelia del Instituto de Geografía de la UNAM, por sus valiosos y estimulantes comentarios; al Dr. Javier Delgado, del Instituto de Geografía de la UNAM, por sus valiosos aportes, y al Dr. Claudio Garibay, del Centro de Estudios Antropológicos (CEA) de El Colegio de Michoacán, por su revisión y sus valiosas sugerencias.

Introducción

La historia de las transformaciones humanas del planeta se encuentra estrechamente vinculada a la de sus paisajes fluviales. Estos paisajes encierran una amplia y compleja historia de actividades humanas, desde las lejanas aventuras del género Homo en las cuencas africanas, en los inicios de la historia humana, hace millones de años, hasta nuestros días.

Desde esta perspectiva de amplios horizontes, *Agua, hombre y paisaje* examina algunos de los problemas que se encuentran en el corazón de las relaciones entre ríos y actividades humanas.

La primera parte, El agua, plantea el papel y la importancia del fenómeno hidrológico en la estructura y el funcionamiento de los paisajes terrestres. Examina los flujos del agua, como grandes procesos naturales articuladores de los diferentes componentes del paisaje.

La segunda, El hombre, aborda el papel de la especie humana como modificador del ciclo del agua. La aventura del hombre, sembrada de riesgos, como agente de transformación de los procesos hidrológicos que mantienen la vida en la Tierra.

La tercera, El paisaje, abre la discusión sobre el papel de la especie humana como colaboradora de la naturaleza en la modelación de los paisajes terrestres. Como productos de la naturaleza y la cultura, los paisajes son la síntesis que permite al ser humano concebir, en su conjunto, toda la multidimensionalidad de la vida en la Tierra. El paisaje, como un escenario, como una secuencia mental y como un marco conceptual, da sentido a todos los acontecimientos del entorno humano: físicos, biológicos, estéticos, míticos, mágicos, religiosos.

La parte final, Una nueva visión, nos confronta con el gran desafío de comprender y analizar los paisajes que habitamos. Pensar nuestra realidad a partir de una ciencia, una nueva ciencia, capaz de comprender, conjuntamente, la creatividad de los sistemas naturales y de la imaginación humana. Plantea dos interrogantes que sólo aceptan respuestas colectivas: ¿Podremos, algún día, habitar poéticamente la Tierra? ¿Podremos experimentar el júbilo, la alegría de vivir en el seno de paisajes modelados con una pasión estética por la imaginación humana, y como productos de una ciencia capaz de establecer un verdadero diálogo con la naturaleza?

Los paisajes fluviales, como ecosistemas de una maravillosa complejidad, llena de sorpresas e incertidumbres, nos brindan, todavía, tal vez sólo por un corto tiempo más, la oportunidad de comprenderlos y de construir con ellos, un planeta verdaderamente sostenible.

El agua

EL AGUA, GENERADORA DE VIDA

El agua es el elemento primordial de la vida. Sin agua no hay vida. Toda la aventura de la vida en la Tierra se inició allí. Hace unos 4,000 o 3,500 millones de años, en el Precámbrico temprano, cuando la temperatura de la superficie de la Tierra descendió por debajo de los 100° C, el agua comenzó a precipitarse en forma de lluvias torrenciales y simultáneamente surgió de las profundidades de las fuentes termales y de los volcanes, como un exudado de la corteza terrestre, para crear los océanos primitivos y preparar las condiciones necesarias para el surgimiento de la vida a través de dos hechos cruciales: la construcción de la atmósfera, a partir de la combinación de vapor de agua, dióxido de carbono y oxígeno; y la síntesis de las primitivas moléculas atmosféricas, que condujeron a la formación de las grandes moléculas orgánicas capaces de replicarse. Muy lentamente, hubieron de transcurrir miles de millones de años para que el vapor de agua, el dióxido de carbono y el oxígeno crearan “el efecto invernadero” que aisló y protegió a la superficie terrestre de

las radiaciones ultravioletas del sol y volvió a los climas más tibios y cálidos, creando las condiciones climáticas favorables para la emergencia de la vida (Fairbridge 1982: 236).

En el caldo de cultivo del océano primitivo se combinaron sustancias químicas (metano, amonio, nucléotidos y aminoácidos) y la acción de la energía solar: tormentas eléctricas, radioactividad y energía solar. Entre esta solución diluida de compuestos orgánicos e inorgánicos, la sopa protoplasmática de la vida, y la organización y aparición de la primera célula viva, mediaron más de mil millones de años. En el Precámbrico inferior y medio, entre los 3,000 y los 2,500 millones años antes de nuestra era, aparecieron las primeras células procariontes y bacterias, que dieron lugar a la proliferación de las algas verdiazules, las primeras plantas fotosintéticas, capaces de utilizar el bióxido de carbono de la atmósfera, usar la luz solar como fuente de energía y respirar el oxígeno, que poblaron el océano. El oxígeno en la atmósfera proviene principalmente del mundo vegetal. Antes de la aparición de las algas la atmósfera terrestre tenía muy poco oxígeno molecular (O_2). Esta función ambiental de las plantas, la fotosíntesis, incrementó el oxígeno atmosférico y aceleró el fenómeno biológico en el planeta (Delsemme 1994: 162, Glaessner 1982: 119, Nagy y Nagy 1982: 111, Ponnampuruma y Molton 1982: 98).

Con el transcurrir del tiempo geológico, la atmósfera y el océano se combinaron para hacer de la Tierra un planeta azul, lleno de agua. Hace unos 80 millones de años, el nivel del mar alcanzó más de 500 m sobre su nivel actual, lo que redujo notablemente la superficie continental. Pero al final del Cretácico, hace menos de 100 mil años, alrededor del 85% de la superficie terrestre estaba ya ocupada por grandes

masas de agua. Hoy, esta oceanidad sigue siendo su característica fisiográfica dominante. El 70% de su superficie está ocupada por masas de agua y los continentes no han dejado de ser grandes islas emergidas de este medio acuático.

Por su densidad, su viscosidad, su alto calor específico, su polaridad y su constante dieléctrica, el agua es un agente mucho más efectivo que cualquier otro elemento en la liga de los componentes de los paisajes terrestres. El ciclo hidrológico es análogo a la corriente sanguínea de la biosfera y podemos decir que los ríos y sus redes de drenaje constituyen el corazón y las venas del sistema circulatorio de los continentes (Falkenmark 2000: 173). El ciclo del agua regula procesos biofísicos críticos y funciones ambientales vitales de los ecosistemas. A través de sus funciones físicas, químicas y biológicas, el agua controla procesos y patrones de los paisajes terrestres (Ripl 1995: 61). Físicamente, a través de la interacción entre evaporación, condensación y escurrimiento; químicamente, a través de la interacción entre la fragmentación del sustrato rocoso y la disolución de rocas y minerales; y biológicamente, a través de la fotosíntesis y de la transpiración.

Así, el ciclo hidrológico liga a los grandes sistemas de producción, transferencia y almacenamientos de energía y materiales del planeta. El ciclo determina los movimientos del agua en el sistema terrestre a través de tres procesos básicos: la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía. Con ellos modula el clima y la dinámica fluvial que hace posible la vida en la Tierra. El agua participa de una manera preponderante en la moderación de los extremos climáticos. Durante el día, el vapor de agua en la atmósfera en forma de nubes refleja una parte de la energía solar y absorbe o

re-irradia hacia la Tierra la energía reflejada y el calor emitido por la superficie terrestre. Durante la noche, las nubes operan como un aislante contra el enfriamiento rápido del aire. De tal manera que, gracias a esta función reguladora, las temperaturas máximas se reducen, las mínimas se incrementan y la temperatura de la superficie del planeta se eleva en forma más considerable que en la ausencia del agua en la atmósfera, lo que crea las condiciones de invernadero favorable e indispensable para la existencia de la vida.

El agua, en razón de su calor específico y de su elevado calor latente, es un regulador de la energía acumulada por el sistema terrestre que almacena los excedentes y reduce los déficits. El agua que se desplaza en el ciclo hidrológico transporta grandes cantidades de energía, lo que tiende a uniformar espacialmente la temperatura del planeta. Las corrientes oceánicas, verdaderos ríos marinos, cientos de veces mayores que los ríos terrestres, transportan la energía almacenada en sus grandes masas de aguas cálidas, desde los trópicos hasta las regiones polares. Las corrientes atmosféricas experimentan desplazamientos horizontales y verticales que contribuyen a distribuir la humedad en la atmósfera. Durante el día, las superficies continentales se calientan, provocando un desplazamiento del aire más frío del mar hacia los continentes, aire que lleva la brisa marina. En la noche el proceso se invierte, acarreando humedad terrestre al mar. Este mismo proceso sucede a mayor escala con la humedad de las masas continentales: se mueve hacia el mar en la estación fría y en sentido inverso en la estación caliente (Guerrero 1991: 55).

Esto hace del ciclo hidrológico el motor primario de la vida en la Tierra, un constituyente indispensable para todos

los seres vivos, los que no podrían existir en su ausencia ni siquiera por un periodo limitado (Guerrero 1991: 78). Pero el agua no es únicamente un elemento indispensable para el funcionamiento de los organismos que habitan la Tierra, sino también, un medio de vida para la mayor parte de sus seres vivos. Alrededor del 90% de todos los organismos que integran la biosfera se encuentran inmersos en el agua líquida como su medio de vida. El 10 % restante se halla sumergido en medio de un vapor de agua. El agua no es únicamente un solvente móvil, es, también, un transportador de elementos nutritivos hacia las células de los organismos vivos, por lo que juega un papel esencial en el reciclamiento de los nutrientes. En las plantas su función es indispensable como reactivo de la fotosíntesis. En los organismos de los animales, sirve de elemento de limpieza, eliminando las impurezas y los subproductos del metabolismo, y desempeña tareas clave en la regularización de la temperatura corporal.

El agua es el mayor limitante para la producción de alimentos y para la generación de la biomasa vegetal. El agua es un factor determinante en todas las etapas del crecimiento de las plantas y juega un papel decisivo en procesos tales como la transpiración, la absorción de nutrientes, germinación, la fotosíntesis, la respiración, el tamaño y número de las hojas, el número y la robustez de las semillas, etc. Es un factor determinante en el metabolismo del nitrógeno y otros nutrientes en los cultivos. Su insuficiencia reduce drásticamente la productividad de los cultivos, pero un suministro adecuado incrementa dramáticamente esta productividad. La productividad primaria neta en los ecosistemas naturales se incrementa de 500 a 1,000 g/m² cuando la precipitación aumenta de 250 a 650 mm por año, sin considerar

la influencia de las variaciones de temperatura (Pimentel y Pimentel 1996: 158)

Como el sistema terrestre, el cuerpo humano es un complejo mecanismo fisicoquímico y biológico que requiere, vitalmente, de agua para su funcionamiento. El agua es un solvente que promueve la digestión, en la que se sintetizan los carbohidratos y las proteínas. Los lípidos se solubilizan en el medio acuoso para su asimilación. El hombre satisface sus necesidades de agua a través de diferentes aportes. El primero de ellos es el agua que bebe diariamente y que constituye 47% del volumen que el cuerpo humano requiere cada día. El segundo viene de la absorción de líquidos contenidos en los alimentos sólidos, y que constituyen otro 39% de sus requerimientos corporales. Y, finalmente, por medio de la respiración, el cuerpo humano absorbe el 14 % restante del agua que necesita para vivir. En promedio, una persona requiere de uno a dos litros diarios de agua y consume anualmente de cinco a diez veces el peso de su cuerpo.

EL PARADIGMA ACTUAL DEL AGUA: ECOLÓGICA Y SOCIALMENTE INSOSTENIBLE

Al principio del tercer milenio de nuestra era, las aguas dulces del mundo se han convertido en un bien escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo con los balances hídricos globales, y en las condiciones tecnológicas actuales, solamente el 0.007% de las aguas dulces del planeta se encuentran realmente disponibles para los usos humanos. De esta pequeñísima porción depende prácticamente el destino de la humanidad. Las previsiones menos pesimistas plantean que para el año 2025 al menos la mitad de la humanidad

sufrirá algún estrés por la falta de este líquido vital (Gleick 1995: 4).

El volumen y la distribución del agua dulce en la Tierra han cambiado notablemente como resultado de los esfuerzos humanos por controlarlos y manejarlos para satisfacer sus necesidades vitales y en beneficio de intereses económicos y políticos. Estas alteraciones se acentuaron conforme el hombre se hizo más hábil para producir sus alimentos y para organizar su vida urbana. Las principales acciones directas se basaron en el control de los flujos de los ríos, la construcción de grandes obras de canalización y vasos de almacenamiento, los acueductos para el transporte de agua a los centros urbanos, el drenaje de los humedales para abrir áreas al cultivo y permitir la expansión de las ciudades, la explotación de los acuíferos y la irrigación de tierras. La agricultura, la industria, la generación de energía y los usos domésticos marcaron los patrones de consumo de la humanidad, desde la Antigüedad hasta nuestros días. Estos patrones han terminado por alterar los equilibrios del ciclo hidrológico, cambiando sensiblemente las tasas de evaporación y la calidad de las aguas, por los usos intensivos y por los efectos de una amplísima gama de desechos tóxicos creados por la civilización industrial.

Las consecuencias para el mantenimiento de los ecosistemas de la Tierra han sido drásticas, especialmente en los últimos tres siglos (L'vovich 1995: 235 y Shiklomanov 1999: 1). La destrucción de ecosistemas, la interferencia de los flujos de más del 60% de los grandes ríos del mundo, la desaparición de miles de especies de plantas y animales (sepultados en los vasos de las más de 40 mil grandes presas construidas en el mundo) los desequilibrios provocados en el sistema cli-

mático (cambios de temperatura y mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos desastrosos), las alteraciones de la capa de ozono protectora de la Tierra por la emisión de gases de invernadero, son algunas de las señales claras de que los patrones actuales de consumo del agua son ecológica y socialmente insostenibles.

Urge, pues, repensar los problemas del agua, de las relaciones humanas con ella. Hacerlo, implica reconocer las causas de origen de estos problemas. Enfrentar el hecho de que el paradigma actual basado en los principios del mercado como criterio de valoración de este bien común (planteado como único por el sistema económico y político dominante) es insostenible. Las experiencias de los últimos 300 años, pero especialmente las del siglo pasado, así nos lo demuestran. Desde este punto de partida hay que enfrentar el desafío de crear un nuevo paradigma, a partir del hecho de la multifuncionalidad del agua, de la consideración de todas, y no sólo las ligadas al bienestar humano, sus contribuciones al sostenimiento de la vida en la Tierra y del carácter incierto de los procesos ecológicos y sociales que regulan el futuro del destino humano.

Ciclo hidrológico, suelos y vegetación

El ciclo hidrológico genera el clima de la Tierra, y es un gigantesco mecanismo de destilación de agua dulce y constituye el aparato circulatorio de la biosfera. Los diferentes almacenes (océano, lagos, ríos, aguas subterráneas, casquetes polares y atmósfera) contienen aproximadamente 1,386 millones de km^3 de agua. Pero 97.5% de este enorme monto, alrededor de 1,351 millones de km^3 , corresponde a las aguas

saladas acumuladas en los océanos y solamente 2.5% es de agua dulce, unos 34,650 millones de km³. El 68.7% de este pequeño monto se encuentra en forma de hielo en la Antártida, el Ártico y en las montañas nevadas del mundo, aproximadamente 23,800 millones de km³. Y otro 29.9% se halla en los mantos acuíferos en forma de aguas subterráneas, unos 10,360 millones km³. Solamente el restante 0.26% del monto total de aguas dulces (unos 490 km³) se encuentra en cuerpos de agua como lagos, presas de almacenamientos y ríos (Shiklomanov 1999: 3).

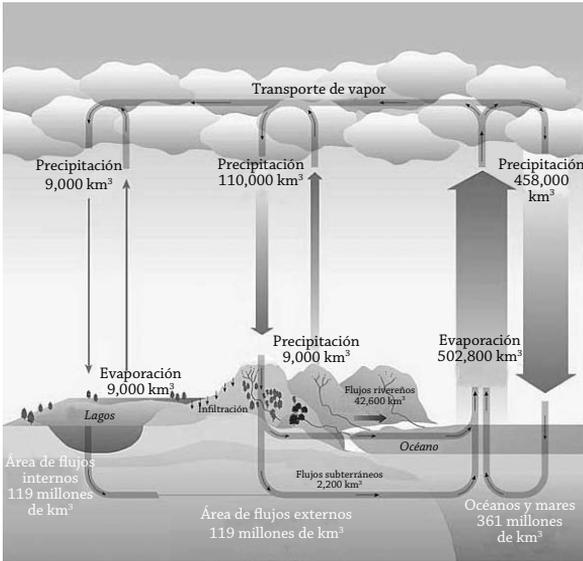
En el ciclo hidrológico, cada año se evaporan de la Tierra y fluyen hacia la atmósfera unos 577,000 km³ de agua, 502,800 km³ provienen de los océanos y 74,200 km³ de la evapotranspiración de los biomas continentales. La misma cantidad de agua se precipita como lluvia: sobre los océanos, unos 458 mil km³ y otros 119 mil km³ sobre las superficies continentales. La diferencia entre los volúmenes que se precipitan y los que se evapotranspiran de la superficie continental (119,000 km³ - 74,200 km³ = 44,800 km³) representan los flujos de aguas líquidas que retornan al mar a través de los ríos de la Tierra (42,600 km³) y de las corrientes subterráneas que descargan directamente al océano (2,200 km³) (UNEP 1992, Shiklomanov 1999: 3, véase figura 1).

El océano es, con mucho, no sólo el gran almacén natural de agua de la Tierra sino que sus enormes corrientes marinas (cientos de veces mayores que los más grandes ríos del mundo, como el Mekong o el Amazonas), sus grandes flujos de vapor de agua hacia la atmósfera y sus precipitaciones al propio océano y a las superficies continentales, constituyen las grandes arterias de la circulación y distribución del

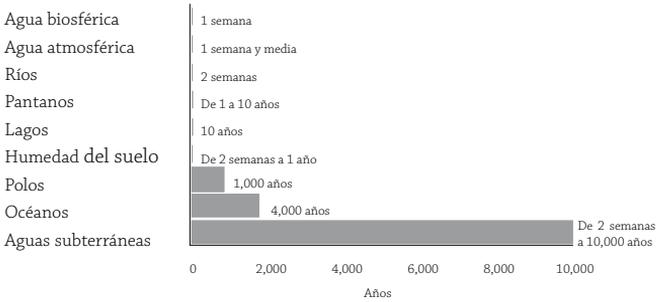
agua en el sistema terrestre. La atmósfera, en cambio, no es un gran depósito permanente de agua en la naturaleza. Se estima que el volumen de agua que permanece de un modo constante en la atmósfera es de cerca de $12,900 \text{ km}^3$, y sólo representan 0.001% del total de agua en la Tierra. Pero su función como regulador climático es crucial para la existencia de la vida (Pimentel y Pimentel 1996: 157). La temperatura de la Tierra descendería drásticamente si no existiera el vapor atmosférico. El aire experimenta desplazamientos horizontales y verticales. La acción de ambos arrastra el vapor y contribuye a distribuir la humedad en la atmósfera. Durante el día, la Tierra se calienta y el aire sobre ella asciende provocando un desplazamiento del aire más frío del mar hacia los continentes, aire que lleva la brisa marina. Durante la noche, el proceso se invierte acarreado humedad terrestre al mar. Un proceso similar, pero a mayor escala, se opera con la humedad de las masas continentales: se desplazan hacia el mar en la estación fría y en sentido inverso en la estación caliente (Guerrero 1991: 54).

La distribución del agua que se precipita en los continentes en forma de lluvia ($119,000 \text{ km}^3$) se divide en dos grandes flujos: uno de vapor de agua ($74,200 \text{ km}^3$) y otro de aguas líquidas superficiales ($42,600 \text{ km}^3$, si se toman en cuenta sólo las descargas de los ríos al mar). El destino de ambos tiene profundas implicaciones en términos de las funciones y los servicios ecológicos del agua al nivel de la crucial interacción entre ciclo del agua, vegetación y suelos, en el contexto de los paisajes terrestres, porque plantea de inicio, una competencia por el agua entre las plantas y el hombre (Falkenmark *et al.* 2000: 194 y 196).

FIGURA 1. EL CICLO HIDROLÓGICO



TIEMPO ESTIMADO DE RESIDENCIA DE LOS RECURSOS ACUÁTICOS



Fuente: UNEP. www.unep.org/vitalwater.

Flujos de agua: verdes y azules

Las aguas que se precipitan en forma de lluvia sobre los paisajes de la Tierra se distribuyen en dos grandes flujos (Falkenmark 2000: 173):

- El vapor de agua (la evapotranspiración) que fluye hacia la atmósfera, conocida como agua verde, que es parte del proceso de producción de las plantas, y
- El flujo líquido (ríos, lagos y acuíferos) que corre sobre la superficie y el subsuelo, referido como agua azul y que consiste de la porción no evaporada de la precipitación.

En el ciclo hidrológico son la lluvia, la vegetación y los suelos los factores biofísicos que controlan la evapotranspiración. La capacidad de la atmósfera para transportar vapor de agua depende en buena medida de la temperatura del aire y de la cubierta vegetal así como de la velocidad del viento. Los procesos que se dan a través de la evapotranspiración del agua a la atmósfera por los biomas terrestres, proporcionan servicios ambientales críticos al ecosistema terrestre.

La cobertura vegetal es un mecanismo a través del cual operan los procesos de distribución del agua de lluvia en los paisajes terrestres. Los usos del suelo modifican la cobertura vegetal y el suelo, e influyen por consecuencia en la distribución, en los montos y en la estacionalidad de los flujos. Los cambios en el uso del suelo que implican mayores alteraciones en la cobertura vegetal tienden a causar mayores impactos en la distribución del agua y resultan en la redirección de los flujos de aguas verdes. Alteran la distribución entre los

flujos del agua, y por lo tanto, influyen en las ofertas de agua disponibles para las plantas y los distintos usos humanos.

Los alimentos, los forrajes, las fibras y la madera, son todos producidos por las funciones y servicios ecológicos de los flujos de agua verde y por lo tanto implican un uso consuntivo del orden de 600-6,000 m³ por tonelada de biomasa producida, dependiendo del hidroclima. Estas aguas verdes son las responsables directas del mantenimiento de la biodiversidad de los paisajes terrestres, mientras que la mayoría de los usos humanos del agua (usos domésticos, irrigación, generación de energía, industriales, etc.) dependen de la disponibilidad de aguas azules, de las aguas líquidas de las corrientes superficiales y los almacenes subterráneos. Las aguas azules brindan además otros servicios ambientales críticos a los paisajes terrestres: por la disponibilidad en ríos y acuíferos, el agua influye en la producción del oxígeno, en la absorción del dióxido de carbono por las plantas, en la productividad y biodiversidad de los suelos, en los flujos de energía y materiales y en los hábitats de la flora y la fauna.

El agua es el mayor factor limitante en la producción de alimentos porque las plantas requieren de enormes montos de agua para su crecimiento. Este hecho se acentúa porque la tecnología utilizada por la agricultura mecanizada de irrigación requiere de altos insumos energéticos para satisfacer las demandas de agua de los cultivos. Si este volumen fuese suministrado con la tecnología actual empleada para la irrigación, basada principalmente en altos consumos de combustibles fósiles, se requerirían de la aplicación de 8 millones de litros de agua. Cerca de 20 millones de Kcal de energía son necesarias para bombear 8 millones de litros de agua

desde una profundidad de 30 metros. Esto es más de tres veces los insumos de combustibles fósiles empleados para producir una hectárea de maíz de temporal (aproximadamente 6 millones de kcal). La agricultura es, por ello, el mayor consumidor de agua en el mundo, ya que utiliza 87% del agua dulce de la Tierra (Pimentel y Pimentel 1996: 294).

Para satisfacer sus necesidades básicas y para producir toda clase de bienes, mercancías y servicios, el hombre maneja sus paisajes y altera la cobertura vegetal, el suelo y el agua. El metabolismo de las sociedades basadas en la producción industrial de bienes de consumo se caracteriza por el uso intensivo de energía y materiales en las actividades de extracción, procesamiento y uso de los recursos ambientales, especialmente el agua, el suelo y la vegetación. Este estilo de producir y de consumir también genera desechos altamente tóxicos. Los efectos colaterales de esta manipulación del paisaje se manifiestan en cambios en la distribución de la precipitación entre aguas verdes y azules; interferencias en las funciones del agua como transportador de sedimentos, materia orgánica y nutrientes; y en la transferencia de estos efectos a lo largo de la cadena que une a la atmósfera, a la cobertura vegetal, a los suelos, a los mantos subterráneos, a los ríos, a lagos, a la costa y al mar.

Una comprensión básica de la interrelación fundamental entre sociedades humanas y procesos biofísicos a nivel de los flujos de aguas verdes y azules en el contexto de los paisajes de las cuencas hidrológicas facilita el análisis de la extrema complejidad del papel multifuncional del agua en la organización de la vida en la biosfera y permite vincular en un mismo marco conceptual los procesos biofísicos y humanos relacionados con este líquido.

La conexión crucial entre el agua, la vegetación y el suelo

Estrechamente conectada con la parte terrestre del ciclo hidrológico existe un continuo intercambio de energía, agua y otras sustancias a través de la atmósfera, el paisaje y los cuerpos de agua continentales. La cobertura vegetal afecta a la composición atmosférica, al flujo energético y al balance de agua regional, especialmente a la evapotranspiración (IGBP 1991: 1).

La Tierra libera constantemente vapor de agua a la atmósfera, a través de la transpiración de sus diversos biomas como mediante la evaporación de sus aguas superficiales. Como la mayor sustracción de agua de los biomas terrestres, la evapotranspiración domina los balances de agua y controla procesos críticos como el contenido de humedad de los suelos, la recarga de los acuíferos y los flujos de aguas superficiales en diferentes regiones del planeta, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde la evapotranspiración es la mayor fuente de extracción de agua de los flujos superficiales. Donde se ha podido estimar esta sustracción, los porcentajes de la evapotranspiración representan entre 20 y 50% del total de aguas líquidas (Dahm *et al.* 2002: 831).

El total de flujos de retorno a la atmósfera en el ciclo hidrológico en forma de vapor de agua (aguas verdes) a través de la evapotranspiración por los biomas terrestres se estima en aproximadamente 74,000 km³ al año. De este volumen, 90% proviene de bosques y selvas tropicales (40,000 km³), bosques y selvas templadas (15,100 km³), pantanos (1,400 km³) tundras y desiertos (5,700 km³) y de otros sistemas (5,000 km³). El restante 10% se origina en las áreas del

planeta ocupadas por los cultivos anuales (unos 6,800 km³) (Rockström *et al.* 1999: 2).

Tres clases de flujos caracterizan los movimientos del agua líquida que llega a la superficie terrestre: superficiales, subsuperficiales y subterráneos. Los flujos superficiales, representados por los ríos, lagos y otros depósitos, se presentan cuando la capacidad de infiltración es excedida por la cantidad de agua que llega a la superficie. Existen alrededor de 236 ríos mayores en el mundo que cubren una superficie de aproximadamente 231,059,898 km², equivalentes al 45% de la superficie terrestre, excluida la Antártida. Los flujos subsuperficiales se presentan cuando el agua fluye a través del suelo y es confinada cerca de la superficie. Son los flujos que humedecen el suelo y resultan especialmente importantes los que entran en contacto con las raíces de las plantas. El agua en esta zona es solamente 0.05% del total de aguas dulces que circulan en el ciclo hidrológico. Esta pequeña porción desempeña un papel crucial en las funciones y servicios ambientales del suelo. De esta minúscula porción que humedece los suelos depende la biodiversidad de estos últimos, su capacidad para producir alimentos y el mantenimiento de la propia biodiversidad de la biosfera. Los flujos subterráneos son las aguas que llegan a los mantos acuíferos de almacenamiento, recarga y descarga y las que se acumulan en las capas profundas de la cobertura terrestre. Aunque el volumen confinado en las capas profundas es muy alto, los mantos acuíferos no confinados, situados a una profundidad promedio de 2 km, que representan el volumen de acuíferos renovables, se estiman en 4.169 millones km³ al año. Las proporciones relativas de los flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos determina la configuración hidrológica de una cuenca.

Los ríos juegan un rol de extrema importancia entre los componentes del ciclo hidrológico no sólo por el volumen de aguas dulces que almacenan y por su ramificación sobre la superficie terrestre, sino también por su alta dinámica de renovación. Estos factores, volumen, distribución, pero especialmente sus altas tasas de renovación, los vuelven los recursos acuáticos renovables más importantes del ciclo hidrológico. Mientras que el periodo de recarga de las aguas oceánicas, por ejemplo, es de 2,500 años; el de las masas de hielos polares, de 10,000 años y el de los acuíferos subterráneos de 1,400 años; el de los ríos es de sólo 16 días. Estos últimos son los sistemas acuáticos superficiales con una distribución más amplia en la superficie terrestre y sus redes hidrológicas constituyen un auténtico sistema sanguíneo para la biosfera (Shiklomanov 1999: 5). Paradójicamente, estas características los vuelven componentes altamente sensibles a las perturbaciones naturales y antropogénicas.

Un gran número de factores biofísicos que actúan en la cobertura terrestre controlan la ruta del agua en el ciclo hidrológico. Aunque en principio, en la fase terrestre del ciclo, la cascada hidrológica de flujos, almacenamientos y descargas está controlada por la topografía, la geología y el clima, otros factores como el suelo y la vegetación tienen una importancia crítica. Factores culturales, como los cambios en la cobertura y usos del suelo tienen también una intervención decisiva en las rutas del agua.

La cobertura vegetal y los usos del suelo son factores muy importantes de la infiltración. La vegetación y la hojarasca que cubren el suelo, lo protegen de los impactos directos de las gotas de lluvia y lo proveen de la materia orgánica que enriquece sus contenidos. La fauna del suelo, probablement-

te más abundante y diversa que aquella que puebla los distintos hábitats de la superficie, ponen a disposición de las plantas nutrientes y minerales.

La manipulación de la cubierta vegetal provocada por los cambios de usos del suelo afecta a sus capacidades de infiltración, especialmente cuando se trata de la sustitución de la cobertura original por monocultivos y la ganadería o la pavimentación de las áreas de asentamientos humanos, con un drástico descenso de la capacidad de infiltración.

Puesto que las actividades de uso del suelo modifican la cobertura vegetal y el suelo, ellas también influyen sobre la distribución de la precipitación y por lo tanto sobre el monto de los flujos y su estacionalidad, por ejemplo, en las fluctuaciones entre flujos máximos y mínimos.

Los cambios en el uso del suelo que implican mayores cambios en la cobertura vegetal tienden a causar mayores impactos en la distribución del agua y resultan en la redirección de los flujos de aguas verdes y azules.

Las zonas montañosas que caracterizan a las zonas de recarga de agua de las cuencas hidrológicas representan elementos conspicuos de sus paisajes. Desde la perspectiva de la biogeografía, las montañas son cinturones estratificados con floras y faunas características. A las escalas del tiempo geológico y climático de la Tierra, constituyen estructuras del paisaje estrechamente relacionadas con los efectos de la última glaciación ocurrida hace unos 15,000 años. En los últimos 150 años los glaciares de estas montañas se han retirado en forma significativa y este proceso de desglaciación ha sido asociado a los cambios climáticos experimentados en las últimas décadas, especialmente con los incrementos de la temperatura y la ampliación de los períodos secos. Es-

tas montañas son los únicos paisajes que documentan los efectos de los cambios climáticos pasados y presentes en el dinámico paisaje de los sistemas fluviales y sus cuencas de drenaje. La desaparición de las nieves perennes de las cumbres elevadas influencia la estacionalidad de las cargas y descargas del sistema hidrológico, por la reducción de los volúmenes de aguas provenientes de los deshielos y por el incremento de la permeabilidad de los materiales descongelados. Necesariamente, los efectos sobre la humedad de los suelos y la cobertura vegetal han sido drásticos. En paisajes de pendientes elevadas como los montañosos, los problemas de estabilidad de los suelos incrementan los procesos erosivos, los deslizamientos y las descargas de materiales hacia las partes bajas (Watson y Haeberli 2004: 6).

Topográficamente, los dos componentes mayores de los paisajes montañosos que los hacen un área de alta sensibilidad y vulnerabilidad ecológicas son la altitud y la pendiente. La exposición y la inclinación de las pendientes y el relieve son características extremadamente ventajosas para la creación de una enorme diversidad de microclimas, que en combinación con el sustrato y los flujos de agua, permiten la formación de una amplia gama de micro hábitats. Cada uno de ellos está dotado de una riqueza biológica y una flora altamente especializadas. La alta biodiversidad de las montañas, estimada en 50 mil especies de plantas con flores de un total de 240 mil, se encuentra estrechamente relacionada con esta geodiversidad (Körner 2004: 16). Estos componentes del paisaje fluvial permiten atrapar una parte desproporcionadamente alta de la precipitación. En algunas áreas de la superficie terrestre, el agua es casi exclusivamente interceptada por sus montañas, como es el caso de las zonas ári-

das y semiáridas, donde este porcentaje rebasa el 90%. Las montañas son unas auténticas “torres de agua” cuyas significaciones hidrológicas se puede estimar sólo por el hecho de que los sistemas montañosos de la Tierra (26% de su superficie) proveen de más del 95% de la oferta total de aguas dulces de las cuencas hidrológicas (Messerli *et al.* 2004: 31).

La influencia de los bosques montañosos sobre el ciclo hidrológico (la precipitación, la evapotranspiración y las corrientes superficiales) ha sido estudiada desde hace mucho tiempo (Shiklomanov y Krestovsky 1988: 78). De estas investigaciones se conoce que los bosques de las cuencas altas afectan la magnitud del flujo por el incremento de los flujos mínimos, por la reducción de los flujos pico, y por el incremento total del rendimiento de agua que en algunas regiones del mundo se ha cuantificado entre 5 y 10%. Los bosques forman barreras adicionales para las masas de aire que se mueven en la atmósfera baja, creando flujos ascendentes de aires frescos, formando nubes y, consecuentemente, mayor precipitación en las áreas de recarga de agua. Los volúmenes de agua que se precipitan sobre las áreas arboladas son notablemente mayores que los que caen sobre las que carecen de ellas. El papel hidroclimático de los bosques incluye la condensación, el rocío, la escarcha y la precipitación horizontal (la neblina). La condensación bajo el dosel alcanza en algunas regiones, en promedio, de 10 a 15 mm durante la estación cálida y 16 mm durante la estación fría, alcanzado promedios de 25 a 30 mm al año (4% de la precipitación total anual). Pero el promedio en otras regiones del mundo llega a ser superior al 10% de la precipitación anual. La capacidad de retención de la copa, el máximo monto de humedad que es capaz de retener un árbol, depende de la es-

pecie. Para bosques de pino se ha estimado de 0.9 a 1.5 mm y para bosques deciduos en 0.5 a 1.2 mm.

La evapotranspiración en los bosques de montaña es un proceso físico complejo y por lo mismo difícil de cuantificar. Durante la vida de los bosques, la evapotranspiración y sus componentes tienden a cambiar. Se ha estimado que los bosques jóvenes y de edad media transpiran entre 10 y 20% más que los bosques de edad madura y de 20 a 30 % más que los bosques viejos de más de 100 años.

En resumen, la influencia de las masas forestales sobre el balance de agua depende de la edad y la composición de las especies, de las propiedades del suelo, de la topografía (relieve y pendiente) y de las condiciones hidroclimáticas locales.

AGUA Y SUELOS

Las zonas continentales solamente cubren 27% de la superficie terrestre, pero esta porción produce cerca del 57% de la biomasa total de la Tierra. La importancia vital de los ecosistemas terrestres radica en que de ellos provienen más del 96% de los alimentos para satisfacer las necesidades humanas, en tanto que los ecosistemas acuáticos sólo proveen menos del 3% (Pimentel y Hall 1989: 11).

La productividad de los sistemas terrestres depende grandemente de la disponibilidad de agua, de la calidad del suelo, de la energía, de un clima favorable y del monto y diversidad de los recursos biológicos presentes (Pimentel y Pimentel 1996: 33).

La actividad del agua en la superficie y bajo el suelo es una parte crucial del ciclo hidrológico. Los movimientos del agua en, a través de y hacia la superficie del suelo, son con-

trolados ampliamente por la fuerza de gravedad y también por tres tipos de procesos que pueden acelerar o restringir sus movimientos: la absorción, la capilaridad y la ósmosis. De tal modo que la velocidad y dirección de los movimientos del agua dependen de la magnitud de estas fuerzas de succión balanceadas con las fuerzas gravitacionales. La tasa a la que se mueve el agua a través del suelo está determinada por su conductividad hidráulica, que depende de la cantidad, tamaño y forma de los poros y del contenido de agua en los mismos. El tamaño y forma de los poros está relacionado con la textura y la estructura del suelo. El agua, junto con el aire, ocupan los espacios de los poros y actúan como un sistema de transporte y circulación.

La infiltración es el movimiento del agua de percolación en el suelo. Desde un punto de vista hidráulico, el suelo es un filtro que determina las vías por las que el agua de lluvia no interceptada por la cobertura vegetal alcanza los canales de la red superficial de drenaje y los mantos subterráneos. El agua que se infiltra en el suelo controla en una alta proporción su cantidad disponible para la evapotranspiración. El suelo, por lo tanto, juega un papel determinante en los volúmenes de agua que circulan por las vías superficiales y subterráneas y en la dinámica y temporalidad de estos flujos.

La capacidad de infiltración de un suelo está determinada por las características de la precipitación, las características y propiedades del suelo, la cobertura vegetal y los usos del suelo. La transferencia del agua es más efectiva en los suelos húmedos que en los secos porque estos últimos tienen mayor volumen de aire en sus poros, lo cual inhibe la conducción del agua de un lugar a otro.

El agua puede almacenarse en o sobre el suelo, o puede fluir por encima de su superficie o al interior del suelo vertical y lateralmente. Los almacenamientos superficiales requieren de suelos de baja permeabilidad y de una topografía que prevenga el drenaje lateral. El almacenamiento puede ser temporal, en microdepresiones, o permanente, cuando la oferta es suficientemente grande y excede a la evaporación y a la infiltración, formando lagos. La oferta de agua puede provenir directamente de la precipitación o de los flujos de aguas subterráneas. El agua que se almacena en el suelo puede ocurrir en regiones donde los acuíferos sean relativamente superficiales, como en las depresiones cerradas. Puede también almacenarse en lugares donde las condiciones locales causan anegamientos, como en lugares de suelos arcillosos o donde se presentan capas cementadas por óxidos de hierro, que impiden el movimiento del agua hacia las capas profundas del suelo.

A partir de sus funciones de regulación del ciclo hidrológico, la cobertura vegetal controla los flujos de agua y la humedad de los suelos; atenúa el efecto erosivo de los flujos-pico y de las descargas durante las tormentas y huracanes, controla la exportación de materia orgánica y los materiales disueltos y determina la composición biogeoquímica de las aguas disponibles para los organismos del suelo.

Un amplio número de los más fundamentales procesos geomorfológicos están estrechamente vinculados con la vegetación, entre ellos la descomposición física y química de las rocas, la erosión y los procesos de sedimentación que generan el sustrato de los hábitats y paisajes terrestres (Thornes 1990: 2). A lo largo del tiempo geológico, glaciaciones, transgresiones marinas o erupciones volcánicas han trans-

formado la cobertura vegetal. En periodos menos prolongados, los ritmos de los procesos físicos determinan la estabilidad de la cobertura vegetal.

Los procesos físicos y químicos que se llevan a cabo en las zonas de las raíces de las plantas ofrecen una amplia gama de interacciones entre la productividad de las plantas, el ciclaje de nutrientes y la biodiversidad del suelo. Las raíces de las plantas absorben agua y minerales del suelo y exudan azúcares y aminoácidos vitales para los organismos que habitan las diferentes capas del suelo. La biodiversidad del suelo depende por ello del tipo de plantas que crecen sobre el ambiente pedológico y de la proximidad de los propios organismos a las raíces. Esto es así a tal punto que el número y el tamaño de las poblaciones descienden a medida que se alejan de las raíces de las plantas (Tortensson *et al.* 1998:5).

La vegetación tiene también una amplia gama de efectos directos e indirectos que reducen o incrementan las tasas de erosión a través de procesos climáticos e hidrológicos, como el amortiguamiento de los impactos de las gotas y el control de las rutas del agua de lluvia. Donde la cobertura vegetal reduce la erosión también suele favorecer depósitos de sedimentos, lo que crea condiciones para la generación de suelos y sustratos que hacen posible la creación de hábitats fluviales, planicies de inundación y terrazas aluviales.

Esta interrelación entre procesos biológicos y geomorfológicos es cada vez más aclarada y cuantificada por la ecología de los paisajes fluviales. Mucho del éxito de la previsión de los efectos de los cambios ambientales a nivel de una cuenca hidrológica depende en buena medida de la capacidad para relacionar, a diferentes escalas espaciales y temporales, procesos geomorfológicos, vegetación y sistemas fluviales.

Los actores ambientales del suelo

El suelo es una estructura compleja creada por la influencia del sustrato rocoso, la topografía, el clima, el tiempo y las actividades humanas, cuyas funciones y servicios ambientales son, junto con las del agua y el aire, esenciales para la vida. El suelo es un soporte crítico de la vida de la cual depende toda la biodiversidad terrestre, y resulta también un gran proveedor, almacén y promotor de la biodiversidad de la biosfera (Tortensson y Stenberg 1998: 4, FAO 1998b: 1). Tales funciones están vinculadas a servicios ambientales vitales relacionados con la producción y el soporte de la biomasa de la Tierra, como la producción de alimentos, forrajes, recursos energéticos renovables y materias primas; un filtro, zona de amortiguamiento y gran almacén del agua de lluvia, que humedece las capas superiores de la corteza terrestre y la filtra a los acuíferos subterráneos, limpiándola de contaminantes y sustancias tóxicas; una cámara de incubación, descomposición y reciclamiento de nutrientes para los propios organismos que habitan en él y para todas las plantas que constituyen la cubierta vegetal de la Tierra; un hábitat biológico y un banco riquísimo de reservas genéticas, que provee espacio, materiales y biomasa para una multitud de organismos que integran un alto porcentaje de la diversidad biótica del sistema terrestre; y un factor decisivo en la dinámica de los intercambios de gases, solutos y elementos bióticos entre las fase acuosa, sólida y gaseosa de la Tierra (Eijsackers 1998: 72).

El suelo es un escenario de la alquimia primordial donde diferentes actores (minerales, agua, aire y materia orgánica), interactúan para construir uno de los más complejos y extremadamente biodiversos ambientes de la Tierra (Suzu-

ki 2003: 105). Los minerales pueden representar hasta 65% del volumen total de un suelo, el agua y el aire cerca del 25%, cada uno, y la materia orgánica de 2 a 5%. Las partículas primarias del suelo se clasifican de acuerdo con sus tamaños en arenas, limos y arcillas. Su textura depende de las proporciones que contenga de estas partículas, en tanto que su estructura está relacionada con la forma de la agregación de estas partículas. Ambos, textura y estructura, determinan el espacio poroso para la circulación del agua y el aire, la resistencia a la erosión y la penetración de las raíces de las plantas. (ATTRA-NCAT 2005: 1). La textura, en combinación con las variaciones en la estructura y los niveles de humedad, puede afectar drásticamente la aireación del suelo e influir en la distribución de la biota y en su capacidad para procesar y mineralizar compuestos clave para la vida que están conformados por carbono y nutrimentos como el nitrógeno y el fósforo.

Los diferentes tamaños de los poros proveen espacios donde el agua permanece y solamente ocurren filtraciones mínimas, y áreas donde se llevan a cabo flujos rápidos y los procesos de transporte de agua, solutos (sales) y materia suspendida son altamente dinámicos. Los diferentes tamaños y formas de los poros también controlan el movimiento de los organismos del suelo y, puesto que el espacio poroso controla la distribución del agua, su disponibilidad es un efecto secundario del espacio poroso sobre los organismos. Así, el tamaño, la frecuencia, la distribución vertical y lateral y la propia continuidad de los poros son cruciales para el transporte de agua y solutos, ya que juegan un papel determinante en los procesos químicos y biológicos del suelo y la distribución de los organismos.

El edafón, es decir, el conjunto de organismos que habitan en los suelos, constituyen probablemente la comunidad viviente más vasta y diversa de la biosfera (ATTRA-NCAT 2005: 3), aunque la mayoría de esta biota permanece como una “caja negra” para el conocimiento de cómo funcionan estos complejos ecosistemas. Lo que se sabe es que la biomasa de un suelo fértil puede exceder los 20,000 kg de peso vivo por hectárea. Tal volumen de materia viva puede comprender 50 kg de microfauna (<2 mm, tales como protozoarios y nemátodos), 20 kg de mesofauna (2-10 mm, microartrópodos), 900 kg de lombrices de tierra (> de 10 mm) y 20,000 kg de microorganismos (Bergström y Stenström 1998: 18). Estos organismos viven en los poros en y dentro de los agregados y partículas del suelo. A pesar de los cientos de millones de microorganismos que habitan los poros del suelo, esta biota ocupa con frecuencia sólo cerca de 0.1% del volumen total del poro y cubre aproximadamente 0.01 de la superficie del suelo y al menos 90% de la superficie de los suelos no resulta accesible a los organismos (Bergström y Stenström 1998: 20).

Esta comunidad de microorganismos del suelo desempeña diferentes funciones cruciales. Tiene a su cargo la mayoría de los procesos de descomposición de la materia orgánica y del procesamiento de minerales de los suelos y sus funciones son irremplazables en la transformación y degradación de compuestos sintéticos orgánicos y desechos naturales. Las lombrices de tierra, por ejemplo, desempeñan funciones claves en la infiltración y aireación de los suelos. Los campos en los que estos organismos construyen sus túneles son capaces de absorber de 4 a 10 veces más agua que los que carecen de esta actividad. Los túneles también bombean aire a las ca-

pas profundas, estimulando la actividad microbiana para el ciclaje de nutrientes. La desaparición de esta microfauna se refleja en una drástica reducción de flujos superficiales y de la capacidad de recarga de los acuíferos. Por sí mismas estas actividades son más eficientes y menos costosas que las técnicas agrícolas creadas por el hombre. Una buena población de lombrices de tierra, junto con la de otros invertebrados, puede procesar de 10 a 500 toneladas por hectárea al año, jugando una función crítica en la formación de la capa fértil del suelo. El valor de esta función para las tierras agrícolas del mundo se ha estimado en 50,000 millones de dólares cada año (Pimentel y Pimentel 1996: 5). En el caso de las bacterias, los más numerosos tipos de organismos del suelo, cada gramo contiene al menos un millón de estos seres minúsculos e invisibles al ojo humano, cuyas funciones, entre otras, son poner a disposición de las plantas los nutrientes.

Las bacterias son las responsables de convertir nitrógeno en forma de amonio a nitrato, de mejorar la estructura del suelo, de combatir las enfermedades de las raíces y de degradar compuestos orgánicos tóxicos en el suelo. Los hongos micorrízicos viven en simbiosis con las raíces de las plantas e incrementan su captación de agua y nutrientes, especialmente fósforo.

La biota del suelo juega también un papel crucial en la estabilización y la regulación del sistema climático de la Tierra. Es bien conocido el papel de la cubierta forestal como sumidero de carbono. Pero poco se ha difundido el que actualmente la materia orgánica de los suelos constituye el mayor almacén de carbono de la Tierra (FAO 1998a: 3). Los microbios, hongos e invertebrados del suelo son responsables de la descomposición de tejidos vegetales y animales y con ello

están disponibles los elementos que los componen, como el carbono y nitrógeno para el crecimiento de las plantas, mientras que, simultáneamente, contribuyen a la producción y el consumo de dióxido de carbono, metano y nitrógeno.

La erosión

La mayor causa de la pérdida de la productividad de los suelos de la Tierra es la erosión. Durante los últimos 50 años, casi una tercera parte de la tierra arable del mundo se ha perdido por esta causa. Según las estimaciones de Pimentel y Pimentel (1996), una tonelada de suelo fértil contiene cerca de 4 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo, 20 kg de potasio y 10 kg de calcio. La erosión significa la eliminación de estos nutrientes esenciales del suelo (Pimentel y Pimentel 1996: 23). El material erosionado contiene, por lo general, de 1.3 a 5 veces más materia orgánica que lo que queda de un suelo erosionado. La materia orgánica es extremadamente importante para la productividad del suelo porque ayuda a retener el agua en el suelo, mejora la estructura y es la mayor fuente de nutrientes para las plantas. Cerca del 95% del nitrógeno del suelo se almacena en la materia orgánica.

La erosión es un proceso geomorfológico natural que modifica la superficie de la Tierra y, en el tiempo geológico, continuará haciéndolo. Existe por ello una estrecha relación entre el sistema de drenaje y el régimen de sedimentos en una cuenca hidrológica. En el ciclo hidrológico, el agua que los ríos transportan al océano va acompañada de una enorme carga de sedimentos en forma de sólidos suspendidos. Cada año, los ríos llevan unas 13,475 millones de toneladas de sedimentos suspendidos de los continentes al mar (Gleick

1995). Debido a los cambios en los usos del suelo, especialmente por la deforestación de las cuencas altas y la intensificación de la agricultura y la ganadería en áreas de pendientes pronunciadas, se estima que la descarga de materiales de los continentes al mar es más del doble que en los tiempos pre-agrícolas, hace unos 7 mil años (Garrels *et al.* 1975: 53).

Y al igual que los flujos del agua, los procesos erosivos en una cuenca dependen de factores climáticos, del ambiente pedológico, de la cobertura vegetal y de las actividades humanas. Los efectos de la erosión pueden aparecer en las áreas fuentes, que liberan los materiales, agua y suelos; en la red de drenaje, que es el mecanismo de transporte de la carga de agua y sedimentos; y en los ambientes de deposición, áreas de descarga o almacenamientos. Un decrecimiento en las ofertas de agua y sedimentos de las cuencas altas generalmente se refleja en la degradación del sistema de canales fluviales. Y al contrario, un incremento en las ofertas de agua y sedimentos causa comúnmente un proceso de agradación en canales y área de depósitos en la cuenca baja: los valles y planicies de inundación (Sundborg y Rapp 1986: 225).

El agua erosiona un suelo desnudo de varias maneras: por el incremento en la intensidad y temporalidad de la lluvia, por la magnitud y la longitud de la pendiente y por la erosionabilidad del suelo. La erosión por goteo se origina directamente por el impacto de las gotas de agua sobre el suelo. La erosión laminar, por el lavado de una capa superficial de suelo. La erosión en surcos, de varios centímetros de profundidad, y la erosión en cárcavas, por surcos de más de un metro de profundidad.

Sin duda, las actividades humanas representan hoy las mayores amenazas para la biodiversidad de los suelos. La

degradación de estos por el viento, el agua y la contaminación inducida por las actividades humanas afecta a cerca del 24% de las áreas habitadas del planeta. Un 10% de los suelos del mundo se han perdido en la última centuria por la deforestación, la erosión, el desarrollo urbano y otros abusos. Durante los últimos 40 años aproximadamente 30% de los suelos arables del mundo han sido abandonados debido a la erosión severa. Hoy se pierden suelos en el mundo a tasas de 13 a 80 veces más rápidas de los que se forman. La naturaleza requiere de 500 años para formar una capa de 25 mm de suelos agrícolas y cerca de 1,000 años para generar la misma cantidad de suelos forestales.

El hidrosistema fluvial

Los ríos almacenan de un modo permanente alrededor de 1,120 millones de km³ del agua de la Tierra, lo que sólo representa 0.0002 del porcentaje total y el 0.006 de las aguas dulces. Sin embargo, por su distribución en el 50% de la superficie terrestre, por sus altas tasas de renovación y por sus servicios ambientales, los ríos son eslabones cruciales del ciclo hidrológico.

Todos los ríos derivan sus flujos de la precipitación. Pero la variabilidad en intensidad, temporalidad y duración de la precipitación, y los efectos de la evapotranspiración de las plantas sobre el ciclo hidrológico se combinan para crear patrones de flujos locales y regionales en una cuenca. El régimen natural de flujos de un río es el resultado de la interacción de diferentes flujos: atmosféricos, superficiales y subterráneos. Procesos geomorfológicos y ecológicos se combinan en los paisajes fluviales de una cuenca para proveer a un hidrosis-

tema de diferentes niveles de flujos. El flujo que sostiene a la vegetación fluvial y que forma su canal básico proviene de recargas superficiales y, en una proporción alta, de descargas subterráneas. Pequeños flujos anuales se encargan de transportar sedimentos finos y de crear hábitats para la biota del río. Flujos intermedios inundan la planicie en temporadas de lluvias y contribuyen al establecimiento de especies pioneras a lo largo y ancho del corredor fluvial. Grandes flujos que se presentan en décadas y son responsables de los procesos constructivos, forman las terrazas aluviales.

Hynes (citado en Poole 2002) fue el primero en plantear la importancia de una perspectiva de paisaje para comprender como un todo, como un solo sistema, la estructura y función de un sistema fluvial y su cuenca de drenaje. Hynes planteó que los ríos son las manifestaciones de los paisajes que ellos drenan. Son los controles ecológicos a nivel de cuenca, los que influyen y determinan las características básicas de los ambientes fluviales. Afirmó: "... en todos sus aspectos, los ríos son gobernados por sus valles. Sus rocas dominan la disponibilidad de iones, de suelos, de arcillas, e incluso de pendientes. Las partículas de nitratos y fosfatos controlan la descomposición de la materia orgánica, y por lo tanto están ligados de un modo directo a la cadena alimenticia... Estas interrelaciones... ponen en claro que cada río es probablemente un ente individual y no es realmente fácilmente clasificable" (citado por Poole 2002). Según Hynes, la energía generada por las descargas de los ríos interactúa con la topografía para erosionar suelos, redistribuir el aluvión y regular la cobertura vegetal y, de este modo, modificar los paisajes en el tiempo y en el espacio (Stanford 1998: 402).

Esta visión hynesiana de los ríos y sus cuencas de drenaje, puso las bases para la comprensión de los ríos como ecosistemas y para el análisis de las vinculaciones entre ecosistemas fluviales y sus paisajes. Esta liga entre el sistema fluvial y sus paisajes a nivel de cuenca de drenaje, el río y su valle, fue el fundamento del marco conceptual sobre el que se construyó la teoría ecológica de los sistemas fluviales (Poole 2002: 656). Desde esta perspectiva, un río es un hidrosistema dotado de cuatro dimensiones básicas: longitudinal, lateral, vertical y temporal. Cada una de estas dimensiones está integrada por componentes altamente interconectados y acoplados que son el producto de procesos físicos, químicos y biológicos que operan a través de un canal principal y su red de drenaje en una cuenca hidrológica y que definen los procesos y patrones de sus paisajes hidrológicos (Petts y Amoros 1996: 13, Naiman y Bilby 1998).

El sistema fluvial y su red de drenaje están estrechamente ligados a la estructura de su cuenca, la que ejerce una influencia dominante sobre la configuración de sus paisajes terrestres y acuáticos. Es el contexto de la cuenca, su morfología y los procesos físicos que ocurren en ella, la mayor influencia sobre la dinámica de los ecosistemas que la integran.

El hidrosistema y su cuenca asociada juegan un papel fundamental en la regulación y el mantenimiento de la biodiversidad en los paisajes terrestres. Tienen un papel vital en el movimiento de los organismos y de los flujos de energéticos (sedimentos, minerales y materia orgánica) y son los mecanismos de transporte más importantes a través de los paisajes de una cuenca.

Los paisajes fluviales son componentes que expresan la heterogeneidad de los sistemas fluviales y sus cuencas de

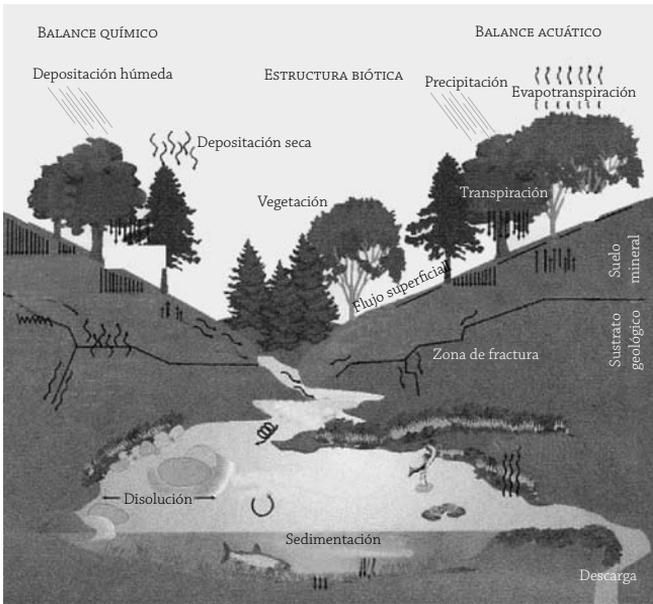
drenaje. El grado de heterogeneidad en el sistema juega un papel crucial en la determinación de la distribución biótica, el patrón y el funcionamiento biótico de los paisajes de una cuenca hidrológica. Los paisajes representan distintas unidades estructurales y procesos de un sistema fluvial y expresan la distribución, heterogénea en el espacio y el tiempo, de los múltiples bienes y servicios ambientales de los ecosistemas de una cuenca. Esta visión holística que abarca en un todo las aguas superficiales (lóticas y lénticas), las aguas subterráneas (hiporéicas y freáticas) y los corredores fluviales (los ríos y sus planicies de inundación) como componentes interactuantes de los paisajes de una cuenca hidrológica, ha sido crucial para el desarrollo de un marco conceptual de los ríos como hidrosistemas (Ward y Tockner 2001: 807).

Toda la teoría moderna de los ecosistemas fluviales se construyó sobre tres componentes necesarios para diagnosticar y predecir el comportamiento de estos ecosistemas: a) la influencia del escenario contextual de la cuenca en la estructura y función del sistema fluvial y su red de drenaje; b) la influencia de los procesos de perturbación y recuperación sobre el vector de conectividad y la dinámica de los procesos bióticos y c) la influencia de la jerarquía, la escala y la dinámica de los procesos ecológicos sobre el sistema fluvial y su red de drenaje (véase figura 2).

La dimensión longitudinal

Un río puede ser enfocado como un sistema unidireccional que cambia progresivamente de su cabecera a su desembocadura. El gradiente físico y biótico que caracteriza a un río desde las aguas turbulentas de sus montañas hasta las apa-

FIGURA 2. LA DINÁMICA DE LA CUENCA COMO ECOSISTEMA



Fuente: EPA 2002.

cibles de sus planicies bajas, es resultado de una secuencia de estrategias y dinámicas de sus flujos y comunidades bióticas que caracterizan a sus diferentes regiones ecológicas y biogeográficas. Este gradiente ha sido estudiado por ecólogos y biólogos fluviales y es conocido como el concepto de *continuum* fluvial (Vannote *et al.* 1980: 131).

El concepto de *continuum* fluvial propone que la comprensión de las estrategias biológicas de las comunidades vegetales y animales que habitan los sistemas fluviales re-

quiere de la consideración del gradiente de factores físicos integrados por su red de drenaje (Vannote *et al.* 1980: 132). Los insumos energéticos, y la materia orgánica transportada y almacenada a lo largo de sus flujos y usada por la biota que lo puebla, son regulados en una gran medida por procesos geomorfológicos fluviales. La estructura física del sistema fluvial, acoplada al ciclo hidrológico, forma así un *continuum*, un mosaico interconectado de paisajes fluviales, que se expresa en patrones consistentes de cargas, transporte y almacenamiento de sedimentos y materia orgánica, a lo largo del sistema. Tales insumos energéticos provienen de tres fuentes: insumos locales de la vegetación terrestre, producción primaria al interior de la corriente fluvial y el transporte de materia orgánica y minerales de las partes altas. La importancia de estas fuentes varía a lo largo del *continuum*. La organización biológica del sistema se adapta estructural y funcionalmente a los flujos de energía y a los patrones de disipación del sistema físico, lo que permite el almacenaje y la liberación periódica de estos flujos vitales.

La introducción del concepto de *continuum* fluvial ha sido un avance importante para la comprensión de los ríos como ecosistemas al llamar la atención de la comunidad científica sobre cómo se organiza, estructural y funcionalmente, este ecosistema y cuáles son los mecanismos de flujos de materia y energía que regulan sus productividades y su riqueza biótica así como sus relaciones con su medio ambiente geomorfológico, a lo largo de su recorrido.

Alrededor del análisis de los procesos longitudinales surgieron otras contribuciones importantes de la ecología y la biología fluvial que profundizaron en la consideración de estos sistemas lóticos o de aguas corrientes como

combinaciones interdependientes de paisajes acuáticos y terrestres.

El concepto de discontinuidad serial (Ward y Stanford 1983) vino a complementar el análisis longitudinal para considerar el hecho de que pocos sistemas fluviales mantienen la continuidad de sus flujos a lo largo de todo su curso. La mayoría se encuentran alterados y regulados por procesos naturales y humanos. El concepto de discontinuidad serial plantea la necesidad de extender el marco conceptual para analizar el comportamiento de los ríos regulados.

A partir del reconocimiento del papel fundamental que juega el sistema fluvial en los ciclos biogeoquímicos globales y en el transporte de elementos químicos y materia orgánica de los ambientes terrestres al mar, el concepto de espiral de nutrientes (Newbold 1992) provee un marco conceptual para describir la dinámica espacial y temporal de nutrientes y materia orgánica en los flujos del sistema hidrológico. La biota toma nutrientes de los flujos del sistema pero también regenera nutrientes al agua, influyendo sobre sus formas físicas y químicas y la temporalidad de sus transportes. Ambos, ciclaje y transporte, constituyen procesos simultáneos que caracterizan a la dinámica del ciclo de nutrientes en el sistema fluvial.

El transporte es claramente un componente importante de los ciclos biogeoquímicos. Como consecuencia de la direccionalidad de los flujos de los sistemas fluviales, de las zonas montañosas hacia el mar, un ciclo completo no se realiza en el mismo espacio, esto es, no se completa en su mismo lugar de inicio, sino que culmina en otro lugar del río debido a la dinámica del flujo, por lo tanto se lleva a cabo, en forma de espiral y no circular. Dos cualidades importantes del cicla-

je de nutrientes en sistemas dinámicos se toman en cuenta gracias a este concepto: la conectividad longitudinal de los ríos y sus corredores y la distancia longitudinal asociada con el ciclo (McClain *et al.* 1998: 350).

La dimensión lateral

Otro patrón común en el comportamiento de un hidrosistema incluye la interconexión entre el canal principal, su planicie adyacente, o planicie baja, sujeta a reflujos frecuentes; su planicie alta, construida en procesos sedimentarios de mayor escala temporal (100 a 500 años) que son raramente inundadas, salvo en situaciones extraordinarias; terrazas aluviales que son formaciones laterales construidas por acarreos sedimentarios y retiros de los flujos en grandes escalas de tiempo, y las zonas de valles altos, en la parte superior de la planicie, en la zona de transición con la cabecera de la cuenca.

El tamaño de estos componentes laterales puede variar sustancialmente de río a río y de cuenca a cuenca. Incorpora formas terrestres tales como bosques y selvas bajas, praderas, y a menudo, áreas modificadas por actividades humanas. Todas tienen, sin embargo, un atributo común: son distinguibles por su alta conexión estructural y funcional con el canal principal.

Esta estructura lateral afecta el movimiento del agua, materiales, energía y organismos desde las áreas altas hasta el canal principal. Tres componentes mayores de esta dimensión lateral son reconocibles y estudiadas por la ecología fluvial: el canal principal, donde fluye el agua al menos durante una parte del año; la planicie de inundación, un área altamente variable a ambos lados del canal principal que es

inundada por flujos de agua con intervalos que van de raros a frecuentes; y la franja de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, una parte de la zona alta sobre el lado terrestre de la planicie y el paisaje circundante.

Del estudio de su dimensión lateral emergieron los conceptos de corredor fluvial y pulsos fluviales para valorar la integridad, la conectividad de los sistemas fluviales.

El corredor y los pulsos fluviales

El corredor fluvial es el más diverso, dinámico y complejo paisaje sobre la porción terrestre de nuestro planeta (Naiman *et al.* 1993: 209). Como zona de transición entre sistemas acuáticos y terrestres el corredor fluvial es un mosaico inusualmente diverso de geoformas, comunidades bióticas y ambientes del gran paisaje fluvial, es el corazón de una cuenca de drenaje y, como tal, es el órgano más sensible a los cambios ambientales de la cuenca.

El conocimiento de la estructura y las funciones del corredor fluvial y sus aportaciones a los servicios ambientales y el mantenimiento de la biodiversidad de una cuenca hidrológica están ligados a una perspectiva de conectividad entre los paisajes de una cuenca (Naiman *et al.* 1993: 210).

El corredor fluvial obedece a pulsos estacionales de los flujos del canal fluvial que le permiten crear un complejo rango de mosaicos paisajísticos, con escalas espaciales que a menudo poseen gradientes muy amplios, de varios kilómetros, a lo ancho del canal principal.

El concepto de pulso fluvial profundizó en la naturaleza de las interacciones dinámicas de los paisajes terrestres y acuáticos del corredor fluvial y sobre las estrategias de las

comunidades vegetales y animales para aprovecharlas. Este concepto identifica los avances y las retracciones predecibles a los lados del canal principal de un río y es el agente físico más importante en términos de las adaptaciones de la biota en la dimensión lateral de un sistema fluvial. Es un proceso típicamente anual y sus principales agentes asociados son la vegetación, los nutrientes, los detritos y los sedimentos.

Este concepto demuestra cómo los procesos de flujos, vegetación y fauna interactúan en todas partes del corredor fluvial. Las planicies sirven como áreas vitales de crecimiento de comunidades vegetales que soportan las especies acuáticas y terrestres. Los flujos proveen a las planicies del corredor con sedimentos, nutrientes y hábitats para numerosas comunidades de invertebrados, anfibios, reptiles y peces.

La dimensión vertical

Un hidrosistema evoluciona con sus componentes estrechamente interconectados: aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas que intercambian en distintas escalas temporales y espaciales, agua, sustancias químicas, minerales así como organismos.

La compleja liga entre aguas atmosféricas, aguas superficiales y aguas subterráneas está determinada por el clima y la estructura geológica de una cuenca de drenaje, los flujos de energía y nutrientes que atraviesan el *continuum* geohidráulico y los organismos que los habitan.

En una macroescala, los procesos hidrológicos y geomorfológicos en una cuenca determinan las propiedades y distribución de las aguas superficiales y los acuíferos. El medio ambiente superficial, representado por las formas terres-

tres, su cobertura vegetal y sus sistemas hidrológicos superficiales (ríos y lagos), ejercen también un control primario sobre los flujos de un hidrosistema. Los sistemas de aguas subterráneas (los flujos y sus acuíferos) reciben desde la atmósfera y la superficie, pulsos climáticos y materia orgánica que son elementos esenciales para la evolución de la vida en la Tierra (Guibert *et al.* 1994:18).

Una mesoescala comprende procesos controlados por la dinámica hidrológica, los flujos de materiales y energía y los efectos de las actividades humanas. A este nivel, los acuíferos son influidos por diferentes tipos de perturbaciones naturales, flujos, sequías e inundaciones y por procesos de sedimentación y erosión. A esta escala los efectos de las actividades antropogénicas suelen ser importantes por la sobreexplotación de los acuíferos para satisfacer necesidades humanas directas (agua potable) e indirectas (irrigación e industriales). Los efectos tienen que ver con el agotamiento y la contaminación de acuíferos; la eutrofización, la obstrucción de intersticios, la alteración de la productividad y la pérdida de resiliencia de los ecosistemas.

Y a una microescala comprende eventos que ocurren en periodos anuales y a escalas espaciales de poros, fisuras y canales. Los eventos aquí se presentan a nivel de los ciclos hidrológicos anuales.

La zona hiporéica

La zona hiporéica de un sistema fluvial está formada por el volumen de sedimentos saturados debajo y a los lados de las corrientes de un río donde se mezclan las aguas subterráneas y superficiales. Es un “hoyo caliente” de diversidad biológica

de un ecosistema fluvial que contiene gradientes físicos y químicos de alta intensidad. Por esta razón, la zona hiporéica ha sido reconocida como un componente crítico de los paisajes fluviales (Edwards 1998: 399). Sus procesos biogeoquímicos tienen una enorme influencia sobre la calidad de las aguas superficiales de un río y se ha demostrado que ejercen una influencia decisiva en la transferencia de algunos nutrientes como compuestos nitrogenados y ortofosfatos entre los paisajes del hidrosistema fluvial. Retiene y procesa solutos más eficientemente que las áreas al margen de ella. Contiene una abundante diversidad faunística que muy a menudo es dominante en el sistema. Y sus diferentes hábitats mantienen organismos de los que dependen las habilidades de descomposición y eliminación de desechos orgánicos de un río.

Por estas razones, en un marco conceptual que se proponga ligar los componentes del *continuum* hidrológico a nivel de los paisajes de un hidrosistema fluvial, la consideración de la zona hiporéica plantea algunas cuestiones clave. Hidrológicamente, los flujos de aguas superficiales y subterráneas se encuentran estrechamente interconectados. Los ecosistemas de aguas subterráneas dependen de transferencias energéticas de las aguas superficiales en la forma de materia orgánica disuelta y particulada y, a la inversa, las aguas superficiales reciben considerables insumos de nutrientes de sus acuíferos y flujos subterráneos. Este hecho ha diluido prácticamente las fronteras entre aguas superficiales y subterráneas en la comprensión del *continuum* hidrológico de un paisaje. Este concepto ha sido por ello decisivo en la integración de los paisajes del sistema fluvial, especialmente entre los conformados por el río y sus planicies de inundación (Brunke y Gonder 1997: 2).

La dimensión de los procesos de intercambio entre sistemas fluviales y aguas subterráneas está determinada por factores geológicos y antropogénicos que contribuyen a la génesis de los paisajes de una cuenca: hidrología, geomorfología y clima. El régimen de aguas superficiales y subterráneas está determinado por la precipitación, la evapotranspiración, el relieve, el suelo, el sustrato geológico y los patrones de cobertura vegetal y usos del suelo.

Hoy se sabe que las prácticas de manejo del agua y los usos del suelo pueden afectar los procesos que ocurren en su zona hiporéica. Fluctuaciones en las descargas del hidrosistema causadas por la generación de hidroelectricidad alteran las mezclas de aguas superficiales y subterráneas en la zona hiporéica, causando severos impactos sobre la biota que depende de ella. Comprender la importancia y el papel de este ecotono se encuentra entre las fronteras de la planificación de los paisajes fluviales.

La dimensión temporal

La estructura y funciones de un hidrosistema se encuentran bajo la influencia de diferentes factores biofísicos y humanos que lo mantienen en un estado de cambio permanente en diferentes escalas de tiempo. Los ríos, en efecto, están sometidos a intensos cambios diarios y estacionales en sus características fisicoquímicas y bióticas. Eventos climáticos extraordinarios, como los ocurridos con los deshielos del Pleistoceno, o como El Niño, en nuestros días, o eventos catastróficos como erupciones volcánicas, deslaves o tormentas tropicales, son también agentes de variación en los procesos de un sistema fluvial. Por ello, la cuarta dimensión, el

tiempo, es de gran importancia para la estructura y función de sus paisajes (Towsend y Riley 1999: 394).

Sobre el tiempo geológico la configuración de los canales del hidrosistema fluvial y su cuenca de drenaje responden a los acontecimientos tectónicos, a los procesos erosivos en el paisaje y a los cambios climáticos. En el tiempo histórico, el río y su red de drenaje, responden a las descargas de los sedimentos provenientes de los usos del suelo, y de eventos extraordinarios como los deslizamientos y las inundaciones.

Los cambios en la temporalidad de los flujos del hidrosistema fluvial pueden ser suficientes para causar grandes alteraciones ambientales. Estas modificaciones en la escala temporal producen efectos negativos sobre los patrones de reproducción y alimentación de especies acuáticas y terrestres. Las áreas de abrigo de huevos y larvas se ven modificadas y alteradas. Las áreas de alimentación de anfibios, cocodrilos y aves dejan con frecuencia de cumplir sus funciones vitales. Patrones de movimientos de la población de herbívoros, estrechamente ligados a los patrones de flujos se ven profundamente modificados. La producción de biomasa del río depende en un alto grado de su acople y desacople estacional con sus corredores fluviales, sus planicies de inundación y otras áreas adyacentes. Humedales fluviales, deltas y estuarios dejan, así, de cumplir sus funciones de transferencias energéticas y de producción de alimentos.

Otros efectos de estos cambios en la temporalidad de los flujos pueden ser igualmente dramáticos. Algunas especies de plantas dependen de condiciones específicas y de tiempos determinados para su crecimiento y reproducción: los cambios en la temporalidad de los flujos controlan enteramente

estos procesos. Para las especies perennes del corredor fluvial las inundaciones periódicas son generalmente críticas. Cambios en la frecuencia de los flujos tienen efectos drásticos sobre la estructura de las edades de las poblaciones y sobre los procesos sucesionales. En ambos casos, los resultados se traducen en la simplificación de comunidades de alta diversidad. La reducción o la eliminación de los flujos máximos es también otro efecto catastrófico para las especies de las planicies de inundación, cuya diversidad se ve dramáticamente reducida a sólo especies tolerantes a las faltas de las descargas periódicas de nutrientes, lo que implica también una simplificación de la cobertura vegetal. Pero los cambios de los flujos mínimos también ponen en peligro la supervivencia de las especies del corredor fluvial. La eliminación o el incremento de los períodos de estos flujos determinan la intensidad del estrés de múltiples comunidades vegetales, la dispersión y el tiempo de reproducción y maduración de las plantas (Naiman *et al.* 1998a: 316). De aquí que a diferentes escalas, espacial y temporal, se han revelado aspectos cruciales para conocer y planificar la diversidad biológica, paisajística y cultural de un sistema fluvial y para conocer las interacciones entre los ríos y sus cuencas (Bocco 1998: 55).

La cuestión de la escala

Este enfoque desde la ecología de los sistemas fluviales pone de relieve la importancia crucial de tomar en cuenta el hecho clave de que los procesos físicos y ecológicos cruzan diferentes escalas espaciales y temporales, desde los microhabitats fluviales hasta la cuenca completa. Y, por otra parte, que las actividades antropogénicas a escala de los paisajes de

la cuenca, tienen profundas consecuencias para la salud y la conectividad de los ecosistemas fluviales.

La planificación requiere entonces de una comprensión fina de la complejidad de estos procesos multiescalares. Esta cuestión plantea la necesidad de la construcción de modelos conceptuales capaces de entender cómo procesos físicos interactúan a diferentes escalas para influenciar procesos bióticos. Para el planificador se trata de tener la flexibilidad de pensar y recolectar su información a diferentes escalas e identificar cuál es la escala relevante (Fausch *et al.* 2002: 491).

La ecología de los paisajes ofrece al planificador una perspectiva para integrar procesos ecológicos y complejidad espacial a diferentes escalas. Ella analiza los efectos recíprocos de patrones espaciales sobre procesos ecológicos a la escala de paisajes fluviales en los contextos de una cuenca. Con ello, pone el acento en dos cuestiones clave: la interrelación entre la más fina resolución espacial o temporal (microhábitat) y el tamaño de la región entera bajo estudio (la cuenca), y en el hecho de que algunos procesos ecológicos críticos operan primariamente a nivel de paisajes.

Los ecólogos del paisaje han reconocido e iluminado así, el hecho crucial de que los sistemas fluviales son profundamente influenciados por los paisajes de las cuencas por las que fluyen y viceversa.

Las aguas subterráneas

Las complejas ligas entre aguas superficiales y subterráneas: el papel de los procesos geológicos, del clima al interior de las cuencas hidrológicas, de los organismos que pueblan el

continuum hidráulico subterráneo y de la naturaleza de los intercambios de energía y materia entre aguas superficiales y subterráneas, son campos relativamente nuevos del conocimiento científico. Tales investigaciones, sin embargo, empiezan a dar cuenta de procesos complejos de transformaciones energéticas que son vitales para el mantenimiento de la resiliencia de la biosfera (Guibert *et al.* 1994: 1).

Las aguas subterráneas representan sólo un pequeño porcentaje del agua total de la Tierra, alrededor de 1.7% (unos 23,400 km³). De este volumen total de aguas subterráneas, 54% son salinas (12,870, km³) y 46% son aguas dulces (10,530 km³). Este volumen de aguas dulces subterráneas constituyen 30.1% del total de las aguas dulces del planeta, pero no toda está disponible porque la mayor parte (alrededor del 60%) se encuentra en acuíferos profundos. El restante 40% (unos 4,168 km³) corresponde a las aguas disponibles en acuíferos someros. Este volumen, sin embargo, es más de 30 veces la cantidad de agua dulce almacenadas en los lagos y más de 300 veces las que corren por los ríos del mundo en cualquier estación del año.

Las aguas subterráneas tienen su origen en la precipitación y dependen del clima local y de las características del sustrato geológico. Cuando la lluvia se precipita sobre la Tierra, una parte se evapora, alguna se transpira por las plantas, otra fluye sobre la superficie y es colectada por la red hidrológica y otra más se infiltra por atracción molecular en los poros o las grietas del suelo y del sustrato rocoso.

Las aguas subterráneas ocurren en dos zonas diferentes: una se encuentra inmediatamente bajo el suelo y se le conoce como zona no saturada, cuya importancia ecológica e hidrológica es crucial. Se divide en tres partes: la zona del suelo,

una zona intermedia y la parte superior de la franja capilar. La parte del suelo se extiende desde la superficie a un máximo de uno o dos metros. Esta zona sostiene el crecimiento de las plantas, la entrecruzan las raíces, es el hábitat de los abundantes organismos del suelo, el lugar donde se lleva a cabo la descomposición de materias vegetales y, con frecuencia, la madriguera de numerosos animales. Su porosidad y permeabilidad es alta. Hacia abajo se encuentra una parte intermedia que varía de acuerdo con el espesor y la profundidad de la franja capilar. Después de que los requerimientos de agua de las plantas y el suelo se han satisfecho, el exceso se infiltra por percolación hasta alcanzar la zona saturada. Allí y hacia abajo, todos los poros de las rocas se recargan de agua. La zona saturada es propiamente la que se conoce como acuífero subterráneo. Y sus flujos se encuentran directamente ligados con el ciclo hidrológico.

La cantidad de agua que se recargará depende en gran medida de los volúmenes de precipitación y de la porosidad de las rocas del acuífero. Un acuífero en un área de baja precipitación y poca porosidad, puede vaciarse rápidamente y requerirá de cientos y hasta miles de años para rellenarse, debido a su lenta tasa de recarga. A la inversa, un acuífero situado en un área de alta precipitación, con suelos arenosos y un sustrato rocoso de alta porosidad, podrá recargarse en una sola temporada de precipitaciones altas.

Integran finalmente el sistema de aguas subterráneas los acuíferos confinados que se encuentran en las capas profundas de la corteza terrestre y que constituyen aguas fósiles almacenadas durante miles de años en estas zonas y cuya estabilidad es muy grande y su movilidad prácticamente nula. Hidráulicamente, un sistema de esta naturaleza tiene dos

funciones principales: es un gran almacén de agua en todos sus poros y un mecanismo transportador de agua a través de sus flujos de las áreas de recarga a las zonas de descarga. El movimiento del agua o sus tasas de flujo de las zonas de recarga a las de descarga dependen de la conductividad hidráulica de los acuíferos y lechos de confinamiento. Ambas zonas, de recarga y descarga, han constituido la preocupación central de la hidrogeomorfología en los años recientes.

Los acuíferos se recargan por la filtración del agua de las lluvias que llega a la superficie del suelo, pero son factores geológicos, meteorológicos, topográficos y humanos los que determinan la extensión y la tasa de sus recargas. El nivel del acuífero puede cambiar naturalmente por las variaciones en los ciclos de lluvias y en los patrones de precipitación y de flujos, por alteraciones en las estructuras geológicas, o por perturbaciones antropogénicas, como el bombeo intensivo, la pavimentación de grandes superficies o la construcción de obras de infraestructura, como las autopistas. Sin duda el mayor factor de alteración humana es el causado por los pozos. Si la extracción de agua supera a las tasas de recarga, se forma un cono de depresión que altera el tirante del acuífero o la tabla de agua (la frontera superior de la zona saturada) en torno del pozo. Dependiendo de las condiciones geológicas e hidrológicas del acuífero, el nivel del agua puede descender cientos de metros y no recuperarse en muchos años.

Los paisajes de una cuenca ofrecen indicios de la ocurrencia de acuíferos someros y aprovechables. Bajo los valles se encuentran las condiciones más favorables para la existencia de estos acuíferos más aún que en los subsuelos montañosos. En algunas regiones áridas ciertos tipos de vegetación son un indicador de la presencia de mantos acuíferos.

Algunas áreas ocupadas por humedales también suele ser un indicador favorable aunque no necesariamente reflejan la existencia de grandes mantos con calidades aceptables. La configuración del sustrato rocoso es el indicio más valioso de todos. Algunas rocas sedimentarias pueden extenderse varios miles de kilómetros como acuíferos de permeabilidad bastante uniforme. Otros tipos de rocas pueden ofrecer fracturas que contengan grandes montos de agua.

El ambiente geohidrológico de una cuenca hidrológica permite integrar parámetros morfológicos, geológicos y climáticos para determinar los principales atributos del régimen de flujos subterráneos en una cuenca. Desde esta perspectiva, los seis principales atributos o parámetros de un sistema de aguas subterráneas son: 1) el contenido de agua en las rocas; 2) la geometría de los sistemas de flujos; 3) los volúmenes específicos de las descargas; 4) la composición química de las aguas; 5) la temperatura; 6) las variaciones de todos los parámetros con respecto al tiempo (Tóth 1970, 1999: 8).

Estos atributos están controlados por tres características del ambiente geohidrológico: la topografía, la geología y el clima. La topografía determina el monto de energía disponible al agua para su movimiento en cualquier punto dado de una cuenca de drenaje. La geología provee al ambiente hidrogeológico del sistema conductor del agua, controlando sus montos, tasas y patrones de flujos, así como la distribución y montos del agua almacenada en sus acuíferos. Además, la geología determina los constituyentes químicos de los flujos subterráneos. Los factores climatológicos determinan los montos de la oferta de agua de cualquier cuenca hidrológica.

Los trabajos de Tóth (1963 y 1999) han sido decisivos para la comprensión de las funciones de las zonas de recarga y descarga de un sistema de aguas subterráneas y de sus flujos de agua en una cuenca hidrológica. A partir de la definición de una cuenca como una porción de la superficie terrestre bordeada por una topografía alta, con laderas que las unen a sus partes bajas a través de corrientes de agua superficiales y/o ríos de órdenes relativamente bajos, Tóth se propuso analizar la influencia de esta geometría de la cuenca sobre los patrones de flujos subterráneos. Su marco teórico distinguió tres tipos de flujos subterráneos en una cuenca: locales, intermedios y regionales. Un sistema local tiene su área de recarga y descarga en las zonas topográficamente altas de la cuenca. Un sistema intermedio tiene sus zonas de recarga y descarga en la zona media entre las partes más altas y más bajas de la cuenca. Y un sistema regional tiene sus zonas de recarga en las partes más altas de la cuenca y sus zonas de descarga en las partes más bajas de su valle o zona de almacenamiento.

Estas zonalidades están determinadas por dos características de la topografía de la cuenca: el relieve y la pendiente. Incrementos en el relieve y la precipitación tenderán a aumentar la cantidad y la intensidad de los flujos. Si la topografía tiene un relieve bien definido se originarán sistemas de flujos locales. Si el relieve y la pendiente son suaves, los flujos serán lentos y no se desarrollarán flujos locales ni regionales. Si el relieve local es insignificante y hay una sola pendiente general, se desarrollará un sistema de flujo regional.

Sólo una pequeña porción del monto total de agua de los acuíferos de una cuenca participa en el ciclo hidrológi-

co. En cuencas con acuíferos profundos, esta proporción es aún más pequeña. La mayor parte de los flujos subterráneos en una cuenca ocurren en las áreas de carga y de descarga de sus sistemas locales. Cerca del 90% de la recarga total de agua nunca penetra más allá de los 100 metros. Los flujos subterráneos están sometidos a la influencia directa de los procesos climáticos que caracterizan a las diferentes zonas topográficas de una cuenca. La topografía y el clima resultan factores críticos en el comportamiento de los sistemas de flujos subterráneos en una cuenca hidrológica.

Estos conocimientos establecieron las bases que años más tarde permitirán considerar a los sistemas de flujos de aguas subterráneas como un agente geológico activo con una alta capacidad de interacción física, química y cinética con los otros componentes de su ambiente hidrogeológico.

A partir de este marco conceptual, se ha profundizado en las investigaciones en torno a la agencia geológica y ecológica de los flujos subterráneos sobre el ambiente hidrogeológico de una cuenca (Gibert *et al.* 1994: 7).

Hablando en términos ecológicos, estos ambientes hidrológicos se caracterizan por una oscuridad permanente, por la carencia de cualquier tipo de vegetación y por una reducida variedad de hábitats, que sin embargo almacenan una notable biota que ha sido hasta ahora ignorada en los cálculos de la biodiversidad de la Tierra (Gibert *et al.* 1994: 9). Los organismos que los pueblan se encuentran muy adaptados a estas condiciones de oscuridad, con fuentes energéticas limitadas e importadas de las capas subsuperficiales y superficiales de la cobertura terrestre, de las que reciben pulsos climáticos y materia orgánica que son esenciales para su existencia. Dado que no dependen de la fotosíntesis, estos

mecanismos de importación energética son cruciales para la existencia de esta biota subterránea. Por estas circunstancias las zonas de transición o ecotonos entre aguas superficiales y subterráneas son reconocidas como de una enorme importancia ambiental. De hecho, estos ecotonos controlan el metabolismo de las aguas subterráneas porque funcionan como sumideros de sustancias orgánicas e inorgánicas provenientes de la superficie, y como filtros y áreas de amortiguamiento que contribuyen a mantener la calidad de las aguas subterráneas de una cuenca hidrológica.

El hombre

EL HOMBRE: MODELADOR DE LOS PAISAJES TERRESTRES

La historia humana abarca unos 2.5 millones de años. En este lapso, los paisajes de la Tierra han sufrido transformaciones por la combinación de factores naturales, como los cambios climáticos que han alternado períodos de fríos glaciales y fases interglaciales cálidas; y causas antropogénicas, derivadas de las múltiples estrategias de adaptación humana a su entorno. Ambos factores, naturales y humanos, han funcionado como potentes motores evolutivos que han cambiado la configuración del sistema terrestre. Por ello, la inclusión del hombre entre las variables materiales e inmateriales que contribuyen a determinar la organización de los paisajes terrestres, arranca con la propia historia humana; y ésta es, como lo señala Serge Moscovici, el recuento de las etapas de la historia humana de la naturaleza. Para Moscovici, la naturaleza ha tenido como su rasgo más distintivo al hombre y ella es parte inseparable de la especie humana. La sociedad humana y la naturaleza representan dos modos de

relación entre los mismos términos y no los términos diferentes de una misma relación que coloca a los hombres de un lado y a las fuerzas materiales del otro. En ninguna parte de la historia humana, en ningún momento, la naturaleza está más próxima ni más alejada del hombre, ni en el más remoto pasado, ni en el presente, ni en el futuro (Moscovici 1977: 32, 458 y 459). En esta historia, el hombre, afirma Gramsci, no entra en relación con la naturaleza simplemente porque él forma parte de ella (Gramsci 1952: 52).

Esta naturaleza que nace en la historia humana, en el acto generador de la sociedad humana, es la naturaleza real del hombre. La realidad social de la naturaleza y la ciencia humana de la naturaleza (o la ciencia natural del hombre) son dos expresiones idénticas. La historia misma del hombre es una parte real de la historia natural, del devenir de la naturaleza. Es en estos términos que lo planteara Marx en algunas partes poco conocidas de su obra, citadas por Lefebvre (1971: 132 y 144). La naturaleza, comprendida en ella a la especie humana, era para Marx, la riqueza verdadera, el bien supremo del espacio-tiempo, que asegura la existencia de la vida (Lefebvre 1974: 403). En la cultura y la civilización no ha habido nada que no haya sido el producto de esta base material, primordial, que la práctica social no haya modelado. Por ello, nuestra visión de la sociedad incluye a la naturaleza y la naturaleza incluye a la sociedad. En el sentido en el que anunciara la fórmula de Marx: “Las ciencias naturales englobarán... la ciencia del hombre, al igual que la ciencia del hombre englobará las ciencias de la naturaleza.” (Morin 2002b: 100)

A partir de estas ideas centrales, planteamos la construcción social de la naturaleza humanizada, de los ecosistemas

humanos o paisajes culturales, como la expresión de los distintos modos de la presencia humana en la Tierra. El hombre entra a la escena ecológica, como lo señala Steward, no como otro organismo relacionado con otros organismos, en términos de sus características físicas. Él introduce el factor superorgánico de la cultura, la cual también afecta y es afectada por la trama total de la vida (Steward 1955: 31). La construcción de los paisajes culturales es el producto de la confluencia de dos grandes clases de procesos en la historia humana de la naturaleza: ecológicos, en términos de las adaptaciones de cada cultura humana a los ecosistemas y a la base material que la sustenta; y sociales, a través de las transacciones y prácticas tecnoambientales utilizadas por las sociedades humanas en diferentes contextos ecológicos para obtener, transformar y distribuir la energía necesaria para satisfacer sus diferentes necesidades y objetivos materiales e inmateriales; y de las normas e instituciones creadas por las sociedades humanas para regular sus relaciones con sus hábitats (Harris 1975: 156 y 1985: 67).

En esta historia hay rasgos que distinguen al género *Homo* de los seres vivos con los que ha compartido el planeta, entre los que destaca el hecho de que es un animal cultural. Requiere para sobrevivir de una niñez prolongada y de los cuidados necesarios para aprender todas las destrezas y las ideas necesarias para su vida de adulto y para relacionarse con los demás hombres y con su entorno. Para adaptarse a sus diferentes hábitats el hombre necesitó aprender a utilizar no solamente sus capacidades físicas y mentales, sino también a fabricar sus herramientas. Y aún la construcción del más sencillo de los utensilios, fue el producto de un prolongado esfuerzo de observación, memoria y práctica. Fue

la expresión y el resultado de un conocimiento científico: la aplicación y el resumen de miles de experiencias memorizadas. Fue, en suma, un proceso cultural. Su vida social, en el ámbito doméstico y de sus actividades de sobrevivencia, le exigieron el desarrollo de otra poderosa herramienta plenamente cultural: el lenguaje. Este supremo instrumento que, según palabras de Huizinga, le permitió comunicarse, nombrar, enseñar, mandar, distinguir, determinar y constatar (Huizinga 2004: 16). Pero el lenguaje también le permitió al hombre no solamente responder a necesidades prácticas, pero sobre todo, le hizo posible responder a necesidades afectivas, a hablar por hablar, a experimentar el placer de comunicarse con otros (Morin 1997: 60). Accedió, así, a una nueva dimensión, un nuevo reino: el de las ideas, los mitos y el espíritu. El desarrollo de su cerebro, de sus herramientas y del lenguaje se convirtió en el trípode de su cultura. Estas características singulares le permitieron, desde los albores de la humanidad, adaptar a sus necesidades los ambientes en que ha vivido. Esto es, modelar sus paisajes. La naturaleza cambió profundamente en cuanto el hombre varió sus formas de adaptación a ella a partir de su bagaje tecnológico, su organización social y su visión del mundo. Con cada cambio, la naturaleza adquirió una nueva función y asumió también un nuevo aspecto. Pero al adaptarse a la naturaleza, el hombre se cambió a sí mismo (Childe 1936: 76, Wittfogel 1966: 29 y 30).

¿Qué combinaciones del azar genético y las necesidades ambientales lo convirtieron, en el corto tiempo de su historia en la Tierra, en un ser especial, autonombrado *Homo sapiens sapiens*, capaz de alterar los fundamentos de la evolución natural y los mismos ciclos biogeoquímicos globales?

Una maravillosa plasticidad mental lo llevó primero a superar las dificultades extremas, a explorar el macro y el microcosmos, a competir e imponerse sobre los demás seres con los que ha compartido el planeta y a modelar todos los paisajes de la Tierra. La conjunción entre su cerebro, su mano y el lenguaje lo convirtieron en una prodigiosa máquina de aprender. Cuando hace unos dos millones de años, sus antepasados, tal vez presionados por una brusca retracción de las superficies boscosas, se decidieron a correr la azarosa aventura de competir con los moradores más ágiles del suelo, en realidad tenían muy pocas probabilidades de sobrevivir: poseían un equipo sensorial infinitamente menos adecuado para la vida al ras del suelo, su olfato era débil y su oído estaba bastante del refinamiento y la agudeza con la que estaban dotados otros competidores; su visión no podía compararse con los órganos delicadamente perfeccionados de los grandes carnívoros, increíblemente sensibles a los movimientos a grandes distancias; sus manos no contaban con la fuerza ni con las afiladas uñas de otros mamíferos y sus miembros inferiores eran torpes e incapaces de desplazarse a grandes velocidades. Era, pues, una aventura demasiado riesgosa y llena de incertidumbres (Dart y Craig 1962: 302, Barnett 1977: 126, Bronowski 1979: 41, Wilson 1980: 13).

El hombre tuvo que volverse más erecto, más veloz, más resistente para los desplazamientos a grandes distancias. Dejó de utilizar sus manos para la locomoción y las empleó para el manejo de armas y herramientas. Se volvió un ser comunicativo (inventó el lenguaje) y altamente cooperativo (diseñó y puso en ejecución elaboradas estrategias para la cacería) y perfeccionó su vida social (creó su vida familiar y organizó tareas comunitarias). Su cerebro se hizo cada vez

más complejo, más lúcido, más rápido para la toma de decisiones. Necesitado de una infancia prolongada, organizó su vida familiar de tal modo que creó las condiciones para el perfecto desarrollo y maduración de su cerebro. Su curiosidad exploratoria no tuvo límites para conocer al detalle su entorno. Esta tendencia básica a la exploración lo llevó de una pregunta a otra. Una respuesta desencadenó cientos de interrogantes en su cerebro. Cuando no encontró respuestas inventó la religión. Cuando el lenguaje hablado no le fue suficiente inventó nuevas formas de expresión como la pintura. No le bastó con explorar y conocer su ambiente, su curiosidad, su imaginación, sus emociones cada día más complejas, lo llevaron a transformarlo. No se integró al paisaje, como los demás seres vivos: lo modeló (Washburn 1960: 165, Morris, 1967: 32 y 1969: 31, Binford y Binford 1969: 174, Leakey 1982, Simmons 1989: 378 y 1993: 1, Carroll 2003: 849).

LOS PAISAJES DEL *HOMO HABILIS* Y DEL *HOMO ERECTUS*

Hace millones de años, las fuerzas geológicas que han configurado la faz de la Tierra operaron en el continente africano estableciendo una línea de separación de placas tectónicas desde el Mar Rojo, en el norte, hasta Mozambique, en el sur (Leakey y Lewin 1997: 98). Esta Gran Falla, como se la conoce, dio lugar a la formación de un valle largo y profundo, salpicado de lagos y volcanes, conocido como el Valle de Rift. Hace unos 10 o 12 millones de años, las erupciones de magma en el área formaron el macizo Etiópico y el macizo de Kenia, los dos a más de dos mil metros de altitud. Cuarteaduras y otros fenómenos tectónicos dieron lugar a ríos que

transportaron suelos y materiales rocosos de las montañas recientemente emergidas hasta las llanuras aluviales, lagos y deltas. Estos cambios físicos alteraron profundamente el clima y la cobertura vegetal del área. Los vientos dominantes, procedentes del Atlántico, que mantenían la humedad de los bosques transcontinentales, tropezaron con la barrera que había formado el Valle de Rift, alterando el régimen de humedad de la cara este del valle. Este cambio climático provocó que los bosques empezaran a reducirse y a fragmentarse, convirtiéndose en bosques más abiertos y, finalmente, en sabanas. Se configuraron así, tres zonas ecológicas, paisajísticamente diferentes: los bosques cerrados del oeste, el mosaico de vegetación del este y los sistemas fluviales que atravesaron montañas y valles. Este variado conjunto de paisajes, dotado de una alta biodiversidad, actuó como un potente motor evolutivo que preparó el escenario para la aventura humana que tuvo lugar en el oriente africano, una de las cunas de la familia humana (Leakey 1982: 15).

Los análisis de los sitios donde se han encontrado los más antiguos fósiles de homínidos en el África oriental, permiten especular sobre los paisajes que habitó *Homo* hace unos 2 o 1.5 millones de años. Los registros arqueológicos muestran que estos primeros hombres compartían un amplio rango de paisajes dentro de la Gran Falla del continente africano: cuencas fluviales tectónicamente aisladas, lagos, planicies de inundación, lechos de ríos estacionales, deltas, meandros, zonas boscosas con aperturas hacia paisajes de sabana e interfases entre vegetación abierta y cerrada, a lo largo de ríos o cenotes. Todos, lugares que le aseguraban un fácil acceso a los abastecimientos de agua y alimentos. La mano fue su primera herramienta, con ella recogió el agua,

y, como dice Canetti, fue también su primer recipiente; sus dedos, que aprendieron a formar una concavidad, hicieron realidad la primera fuente. Sus pies y su postura bípeda desencadenaron su poder y su pasión por sobrevivir; haciéndolo más ágil y rápido, lo alejaron del peligro y le permitieron explorar paisajes más allá de los arborícolas.

Al alcanzar su postura bípeda, al estar de pie, afirmó su júbilo de estar libre. Y sobre todo, pies y manos le permitieron dar alcance y agarrar. Sus maestros fueron entonces el lobo, en el alcance; los felinos, el león y el tigre, le enseñaron a atrapar; y las aves de rapiña, a afinar su vista (Canetti 1999: 257 y 267). Transformando las especies vegetales y animales en recursos alimenticios, estos homínidos agregaron una dimensión suplementaria a sus paisajes y, apropiándose los, los diferenciaron. Ocupándolos para su alimentación, incorporando sus frutos y presas a sus agasajos, dieron a los paisajes una configuración nueva (Moscovici 1972: 131). Los paisajes de los recolectores y cazadores fueron los primeros en la historia humana de la naturaleza. ¿Cómo eran estos paisajes preferidos por *Homo habilis*? Las orillas de los ríos y las playas de los lagos fueron sus primeros talleres. Allí la naturaleza y el hombre trabajaron juntos para fabricar las primeras herramientas, piedras modeladas por los flujos de los ríos y por las manos del hombre. Se combinaron de tal forma que resulta difícil identificar si el artesano fue el río, el hombre o, simplemente, la acción combinada del frío, el calor y el agua la que modelaba las piedras (Ilin y Segal 1983: 50). Los millares de herramientas y huesos encontrados muestran que *Homo* elegía cuidadosamente sus campamentos junto a sistemas acuáticos rodeados de arboledas abiertas y de bosques más cerrados, que muchas veces hervían de

animales vivos: gran variedad de peces y cocodrilos; mamíferos que ramoneaban las plantas de los pantanos y las hojas de los bosques, como los hipopótamos, rinocerontes, elefantes y jirafas; y otros que preferían pastar a campo abierto, como gacelas, antílopes y cerdos; los registros de aves fósiles muestran que había una gran abundancia de patos, pelícanos, flamencos y cormoranes. (Simmons 1989: 34, Leakey 1982: 35, Semaw *et al.* 1997: 333).

Con la domesticación del fuego, la especie *Homo* pudo emprender la gran aventura de la ocupación humana del planeta, abandonando las cálidas praderas y sabanas africanas, para aventurarse a la conquista y ocupación de nuevos territorios, las tierras templadas y más frías de Europa y las más lejanas del este y el sudeste asiáticos. Antes de la última glaciación, *Homo* se distribuyó por el sur y el norte de África, y fuera del continente africano, por el Levante; muy probablemente, a mitad de esta glaciación, *Homo* llegó al interior del continente asiático, al norte del mar Caspio, cruzó la planicie tibetana y llegó al sudeste de Asia. Hace unos 20,000 años ya se encontraba también instalado en el extremo norte de Europa y en América (Cox y Moore 2005: 301).

Gracias al fuego, el hombre pudo ocupar estos territorios sobreponiéndose a las variaciones climáticas que imponían los períodos cíclicos de enfriamientos de las glaciaciones. La era de la expansión humana ha estado estrechamente ligada a los cambios climáticos de la Tierra. Su desarrollo y distribución sobre los distintos ambientes del sistema terrestre tuvo lugar en períodos de extrema inestabilidad climática y de altas tensiones ambientales (Sauer 1956: 51). Estos períodos de cambios recurrentes en la atmósfera, en los continentes y en el mar dieron oportunidades únicas a especies de plan-

tas y animales para su expansión y colonización, y con ellas, a *Homo* para la conquista de nuevos territorios. *Sinanthropus pekinensis* fue probablemente el primer hombre que controló el fuego, unos 500 o 250 mil años antes de nuestra era, convirtiéndolo en un poderoso instrumento capaz de alterar profundamente su ambiente (Stewart 1956: 117). Desde entonces el hombre fue capaz de construir sus propios habitáculos. Su vida cazadora le proporcionó pieles para abrigarse y resistir los crudos inviernos, pero sobre todo, el fuego le permitió dar pasos decisivos en su vida social: en torno al fuego, el hombre incrementó su convivencialidad, organizando su vida al interior de viviendas y campamentos permanentes y dividiendo las actividades entre los miembros del grupo. Por primera vez en la historia humana de la naturaleza, un agente natural, el hombre, pudo controlar una de las grandes fuerzas naturales. Al controlar el fuego, *Homo* se desvió revolucionariamente de la conducta de otros seres vivos.

El conocimiento del hombre paleolítico de los usos del fuego le permitió una exitosa manipulación de los paisajes terrestres e introducir cambios en la estructura y la composición de las especies de algunos ecosistemas. Con el empleo selectivo del fuego *Homo* acumuló conocimientos sobre procesos clave como la distribución relativa de ciertas especies útiles y el significado de procesos fisicoquímicos como el reciclamiento de nutrientes, que le hicieron posible introducir las primeras grandes modificaciones en todos los paisajes de la Tierra, especialmente sabanas y áreas boscosas. Aprendió a fertilizar los suelos, a propiciar la germinación de las plantas, a controlar insectos, parásitos y hongos, a estimular el florecimiento de las plantas comestibles y a modificar el ambiente fisicoquímico de las comunidades vegetales. Termi-

nó, así, por crear un mosaico de paisajes que imprimieron las huellas de su presencia en diferentes escenarios de la superficie terrestre. Es imposible comprender la distribución de las especies sobre el manto vegetal de la Tierra sin el empleo del fuego como un factor humano en la geografía de las plantas (Stewart 1956: 129).

LOS PAISAJES DEL *HOMO SAPIENS*

En el Paleolítico superior, hace unos 35 mil años, *Homo sapiens* ya se encontraba provisto de un rico patrimonio heredado de su evolución biológica y cultural. De *Homo habilis*, un pleno ser humano, bípedo, dotado de una masa cerebral de 775 cm³, que se había decidido a abandonar para siempre su vida arborícola, heredó el lenguaje articulado, la invención de los útiles y los primeros campamentos de base: los pilares de su vida social. El lenguaje permitió la emergencia del espíritu humano. La capacidad para hacer útiles, herramientas, objetos manufacturados, marcó el inicio del diálogo entre el cerebro, que conceptualiza y ordena, y la mano, que ejecuta, y la emergencia de un pensamiento conceptual y un desarrollo tecnológico, dándole una nueva dimensión a la prodigiosa historia de su evolución: la dimensión cultural. De *Homo erectus* heredó su habilidad para usar el fuego, la manufactura de herramientas de piedra, la noción de simetría y la expresión de un sentido de la estética. De *Homo sapiens neandertalensis*, su capacidad para adaptarse a ambientes rigurosos adoptando diferentes modos de vida basados en el perfeccionamiento y la especialización de sus actividades de cazadores y recolectores, y los primeros ritos funerarios, la sepultura y

ofrendas, que marcaron el nacimiento de una nueva etapa de su desarrollo cultural: el pensamiento religioso. De Neandertal heredó también su preocupación y su angustia metafísica por la muerte, la nada. En todas estas etapas, el cerebro, el lenguaje, los utensilios, la caza, el fuego y la vida social compleja, evolucionaron juntos.

Homo sapiens sapiens, del Paleolítico superior, entre los 30 mil y los 10 mil años antes de nuestra era, dotado ya de un cerebro de 1,400 cm³, estaba en condiciones de aportar al patrimonio cultural de la humanidad la obra suprema del pensamiento simbólico: el arte. La pintura, la escultura y el grabado, así como sus útiles, herramientas y enseres domésticos, alcanzaron niveles de un refinamiento sorprendente. Sus pinturas murales prehistóricas, un arte realista extraído de las entrañas mismas de su vida cazadora, fechadas entre los 30 mil y 20 mil años anteriores a nuestra era, revelan un dominio de la técnica, con colores naturales e indelebles de ocre y óxido de manganeso, y, sobre todo, un lenguaje simbólico plagado de misterios indescifrables (Casteret 2002: 153, De Lumley 1998: 112).

Por primera vez, a fines del Paleolítico, el hombre vive esencialmente de los productos de sus territorios circundantes, de la recolección intensiva de cereales silvestres, tiene hábitats permanentes, situados las más de las veces en la encrucijada de territorios que les proporcionan productos complementarios. Los regímenes especializados de subsistencia, en áreas boscosas abiertas o cerradas junto a lagos, ríos y costas, le permitieron una vida en campamentos que marcaron la transición hacia su sedentarización.

Hasta hace unos 12,000, la población humana era en su totalidad de cazadores-recolectores. Hasta entonces, un

buen número de evidencias etnográficas sobre sus adaptaciones a los diferentes paisajes terrestres, permite afirmar que cazadores, recolectores y pescadores, ocupaban ya todas las clases de los ambientes naturales de la Tierra. No había ningún paisaje, salvo los grandes cuerpos de agua y los inhóspitos círculos polares, que no hubiera sido ocupado por nuestra especie. En las altas latitudes (por encima de los 60°), la caza fue la actividad dominante; en las latitudes frías a frescas (entre los 59°-40°), la pesca fue la tarea principal; en las zonas cálido-húmedas (entre 39°-0°), la recolección de plantas fue la actividad más común, sin que en todas ellas la caza dejara de ser un complemento indispensable para la satisfacción de las necesidades humanas. Los flujos de energía en estas sociedades, su total dependencia de los productos vegetales y animales que no podían almacenarse por mucho tiempo, muestran una relación estable y sostenible con sus paisajes, que nunca fue estática (Simmons 1989: 58 y 1994: 80).

Este periodo culminó en una segunda clase de paisajes humanizados, basados enteramente en la habilidad humana para alterar poblaciones de plantas y animales, mediante la recolección, diferentes actividades preagrícolas y la caza, con herramientas y armas cada vez más perfeccionadas, y con el apoyo un instrumento esencial: el fuego. En realidad, su tecnología no era tan sofisticada, concentrada en su energía muscular y en el perfeccionamiento de sus herramientas y armas para la caza, y sus estrategias para sobrevivir dependían en un alto grado de sus movimientos estacionales (Harris 1972: 184). A fines del Pleistoceno, hace 12 o 10 mil años antes de nuestra era, *Homo* era ya un cazador consumado, especialista en la captura de grandes animales, como

el bisonte y el guanaco, en las latitudes medias de Norte y Sudamérica; el caribú y varias especies de mamíferos marinos en las regiones neárticas. Su gusto por la carne, que se inicia con el arranque de la hominización, no desaparecerá más y marcará uno de los grandes rumbos del destino alimentario de la humanidad: la pasión por las proteínas animales. Cambios climáticos que se combinaron con las adaptaciones humanas a sus múltiples paisajes, dejaron por doquier huellas de su extraordinaria habilidad predatora. Parece bastante probable que la combinación de causas naturales y antropogénicas se encuentra en las denominadas extinciones del Pleistoceno. Este impacto de la combinación mortal del cambio climático y la caza, se repetirá en este mismo periodo en todas partes: Europa, América, Nueva Zelanda, Australia y Hawai, donde la extinción de especies, mamíferos y aves, coincidirá de un modo recurrente.

El arribo del *Homo sapiens* a la agricultura y al pastoralismo consumió, sin duda, miles de años de una laboriosa tarea de perfeccionamiento de sus utensilios y de observación de plantas y animales (Hawkes 1970: 132). Hace unos 75 mil años antes de nuestra era, los instrumentos fabricados por *Homo* fueron lo suficientemente especializados como para permitirle recolectar sus alimentos en diferentes ambientes terrestres. Las evidencias arqueológicas muestran que entre los 50 mil y los 30 mil años, su evolución tecnológica le permitió ocupar nichos ecológicos tan diversos como las selvas tropicales y las tundras árticas. En el Mesolítico, con inviernos más benignos y primaveras lluviosas, acumuló experiencias clave en la recolección de plantas silvestres, como el trigo y la cebada. Existen evidencias de que el sureste asiático la recolección de cereales silvestres era una actividad común

hace unos 11 mil años antes de nuestra era. Hacia el año 10 mil antes de nuestra era, *Homo sapiens* ya había aprendido a convivir con sus ambientes en forma permanente y en una relación orgánica con sus paisajes. Estaba preparado para emprender una nueva etapa en su evolución cultural y para la construcción de nuevos paisajes terrestres: el cultivo de sus alimentos, la agricultura (Adams 1955: 9).

Hacia el año 10000 de nuestra era se opera este cambio fundamental en los estilos de vida del hombre. Abandona su vida de simple recolector, pescador y cazador, para convertirse en productor de alimentos. Por primera vez no es más un nómada, se establece en un territorio y se vuelve sedentario. A partir de ese momento, después de haber realizado la hazaña de dominar el fuego, adquiere la capacidad para producir sus alimentos, cultivándolos o por medio de la domesticación de los animales. Inicia, con ello, la revolución más espectacular en la historia de la humanización de la naturaleza. Con la agricultura *Homo* introdujo un cambio revolucionario en su relación con su entorno: alteró los ritmos de los procesos naturales. Con el cultivo de sus alimentos modificó el patrón básico de estacionalidad de las plantas, reduciendo las restricciones impuestas por los ciclos climáticos de la Tierra. Y con ello, al paso del tiempo, cambiará drásticamente la ecología del planeta entero (Foreman 1986: 277).

Entre los años 9,000 y 6,750 antes de nuestra era, tuvo lugar en el Próximo y Medio Oriente este cambio decisivo en la vida de los cazadores y recolectores. En este periodo el hombre dio el paso crucial hacia la producción de sus alimentos. Los escenarios fueron los lugares donde ya existían las plantas silvestres y los animales domesti-

cables: los valles, las montañas y las zonas periféricas de pastos de Irán, Iraq, Turquía, Siria y Palestina (Cassin *et al.* 1974: 12 y 13).

La domesticación requirió de los conocimientos necesarios para alterar la composición genética de plantas y animales, el reemplazo de la selección natural por la selección humana directa y el desarrollo de procesos de cultivo para obtener cosechas y productos animales en tiempos programados. En este proceso las plantas perdieron la capacidad para diseminarse por sí mismas y de relativamente perennes se transformaron en anuales. De igual modo, perdieron algunas de sus defensas naturales para volverse más frágiles y completamente dependientes del trabajo humano. Algunos animales dejaron de valerse por sí mismos y también se volvieron estrechamente dependientes del hombre. La domesticación requirió de un conocimiento sofisticado de la energía física de animales y hombres, de la dinámica de los ecosistemas, de sus capacidades de resiliencia, de sus respuestas a las acciones combinadas de factores biofísicos y humanos, que hicieron de la ganadería no solamente otra fuente vital de proteínas, como la carne y la leche, sino también de otros materiales, tales como abono para la agricultura y pieles para el abrigo. Desde entonces esta interdependencia marcó el destino de la relación entre la humanidad con las plantas y animales domesticados. En este largo proceso de domesticación, los cazadores y recolectores fueron tanto domesticadores como domesticados. Ambos fueron parte de un solo ecosistema humanizado. La domesticación y la sedentarización se llevaron a cabo como un proceso sincrónico de construcción ecológica y cultural de nuevos paisajes terrestres (Simmons 1989: 43, Harris 1975: 193).

La gradual transición hacia la vida sedentaria fue acompañada de la emergencia de comunidades rurales, como una nueva forma de asociación y coordinación humanas para la creación y modelación de nuevos ambientes naturales humanizados. La construcción de viviendas, sitios para el almacenaje de las cosechas y áreas para ceremonias religiosas significó la creación de paisajes diferentes. La aldea se transformó en una forma permanente de ecología cultural que proporcionó una cierta autonomía a la población humana sin desligarla de su entorno natural. *Homo sapiens* culminó esta fase con la creación de nuevos sistemas ecológicos, inéditos en la historia de la Tierra: los paisajes agrosilvopastoriles (Bennett y Dahlberg 2003:70, Naveh 1995: 47).

La creación de los nuevos paisajes culturales promovidos por la agricultura fue un proceso complejo. Las primeras experiencias agrícolas fueron realizadas en paisajes áridos, esteparios semiáridos y en las zonas húmedas de diferentes regiones del mundo. Estos tres paisajes cubren los dos tercios de la superficie del globo y sin duda desempeñaron papeles específicos en el desarrollo de una fase nueva, dominada por la agricultura. Hacia los 8,500 años antes de nuestra era se establecen las primeras comunidades campesinas en Grecia. En el milenio siguiente la agricultura avanza hasta alcanzar las planicies del Danubio. Grandes incendios forestales en la Europa central y nororiental acompañaron estas expansiones. Para el 6,000 la agricultura llega a España, el Mar del Norte y el suroriente de Inglaterra. En centros de difusión, como China y el sudeste asiático, los principios de la agricultura se sitúan hacia el 9,000 antes de nuestra era. Varios cultivos alimenticios tuvieron sus centros de origen en el continente africano.

Entre los 6,750 y los 2,000 años anteriores a nuestra era, los grupos humanos productores de alimentos extendieron las transformaciones de sus paisajes a grandes componentes abióticos como el agua y los suelos. Bajo el impulso de la agricultura de regadío surgieron en diferentes partes del mundo, las primeras civilizaciones hidráulicas, en los valles del Nilo, en Egipto, y del Tigris-Éufrates, en la Mesopotamia, en el Ganghes-Bramaputra, en la India, en los valles centrales de China, en las inmensas planicies del río Amarillo, y en distintas regiones del continente americano (Wittfogel 1966: 38, Childe (1936) 2002: 151).

Hacia el año 4000 antes de nuestra era, una gran extensión de tierras áridas y semiáridas que bordean el Mediterráneo oriental y que se extiende hasta la India, en una amplia faja comprendida entre los paralelos 25 y 35, que delimitan a una de las zonas climáticas más secas y cálidas del mundo, se convirtió en uno de los escenarios de las revoluciones agrícola y urbana que cambiaron la faz de la Tierra en unos cuantos milenios. Es el área nuclear o centro de origen y de domesticación de una amplia variedad de plantas y animales que revolucionaron la cultura alimentaria mundial (Harlan 1976: 468). En estos tiempos, esta región estaba ya habitada por numerosas comunidades rurales que vivían de una economía mixta basada en la caza y la pesca, el pastoralismo nómada y la agricultura sedentaria (Childe 2002: 198). Estas poblaciones ya estaban pertrechadas con un rico bagaje cultural: conocimientos científicos, topográficos, geológicos, astronómicos, químicos, zoológicos y botánicos, de saberes y destrezas prácticos aplicables a la agricultura, especialmente la mecánica y la metalurgia. Las grandes depresiones de los ríos, en el delta del Nilo, y las grandes llanuras aluviales, en

la enorme franja comprendida entre el Tigris y el Éufrates, en la Mesopotamia, y en los bordes del Indo y sus afluentes, en la parte meridional, especialmente en el Penjab, contaban con una generosa dotación de agua y tierras fértiles. Allí, en menos de un milenio, los pobladores de estas áreas establecieron los fundamentos de una agricultura, de una economía y una sociedad hidráulicas, basadas por entero en el manejo del agua, que transformaron de un modo radical los distintos paisajes de la región. En esencia esta civilización requirió de sustanciales y centralizadas obras de manejo de agua; de estructuras de gobierno capaces de conjuntar el poder político y el liderazgo de la sociedad, y del dominio total de la economía. Esta combinación de agricultura y gobierno hidráulicos y de instituciones sociales centralizadas sólo podía darse en el ámbito de paisajes nuevos dominados desde las ciudades (Wittfogel 1956: 153 y 1966: 29).

Una conjunción especial de factores ambientales y culturales hizo de Mesoamérica otro centro de creación de sistemas complejos de agricultura de riego y de formas intensivas de cultivo (Palerm 1955: 35). Las huellas del hombre paleolítico en el continente americano se remontan más allá de los 25,000 años anteriores a nuestra era (Cox y Moore 2005: 302). Su probable origen asiático, a través de migraciones por el estrecho de Bering, entre el último Pleistoceno y el Paleolítico Superior, ha dejado las marcas de estos flujos migratorios en múltiples paisajes a lo largo del continente americano. Después de unas 600 generaciones, unos 18,000 años más tarde, alcanzaron el extremo sur del continente, a unos 20,000 km de su punto de penetración. Restos arqueológicos dan cuenta de su vida cazadora de grandes mamíferos hacia el año 7,000 de nuestra era.

Pero la domesticación de plantas y animales y, sobre todo, la invención de la agricultura, no fue el producto de la difusión desde los centros de origen asiáticos (Wolf 1967:57, Warman 1993: 41). El maíz, el amaranto, el frijol, el chile, el tomate, la calabaza, la papa, el camote, la yuca y el cacahuete, entre las especies comestibles; el cacao, la vainilla y el pulque, entre las bebidas; el tabaco y la coca, entre los narcóticos; y el henequén, el algodón y el maguey, entre las fibras, tuvieron sus propios centros de origen americanos (Harris 1975: 212). De los siete cultivos más importantes en la alimentación del mundo moderno: el trigo, el arroz, el maíz, la papa, la cebada, el camote y la yuca, cuatro son de origen americano (Harlan 1976: 472).

Sus sistemas montañosos y altiplanos, sus amplios valles y sistemas lacustres, especialmente en la cuenca del Valle de México, una cuenca cerrada de unos 8,000 km², con unos 1,000 km² de lagos, lagunas y pantanos (mayor que algunos centros tempranos de la agricultura hidráulica de Mesopotamia y el sureste asiático) hicieron posible la organización de sistemas de regadío, basados en estructuras de captación y retención de agua de lluvia, en la construcción de terrazas y bancales, en grandes obras de canalización y conducción, que permitieron la creación de uno de los más ingeniosos y eficientes sistemas de cultivo de alimentos que haya creado el hombre en toda su historia: las chinampas. De acuerdo con los cálculos de Sanders y colaboradores (1979) este sistema pudo haber sustentado a una población cercana a los 200,000 habitantes, lo que enfatiza la altísima eficiencia de esta agricultura hidráulica (Armillas (1971), 1993: 198; Sanders (1957) 1993: 130 y Sanders *et al.* 1979: 390, Rojas Rabiela 1998: 15).

Palerm (1955) distingue cuatro tipos fundamentales de organización hidráulica de la agricultura mesoamericana: a) los pequeños sistemas de irrigación originados en los manantiales permanentes, por lo general al pie de las montañas altas; b) los sistemas mayores, empleando los ríos permanentes y semipermanentes de la cuenca, mediante presas y grandes canales de desviación y redes muy extensas de acequias; c) y d) los sistemas lacustres, denominados “lagunas de adentro” o de “tierra adentro”, basadas en grandes calzadas-diques, obras de defensa contra inundaciones, construcción de suelos y campos de cultivo y formación de lagunas artificiales de agua dulce. Esta clase de sistemas complejos de manejo del agua, hizo de Mesoamérica uno de los grandes centros de origen de las civilizaciones hidráulicas en el mundo (Palerm 1952: 186, 1972: 153).

Algunas evidencias arqueológicas muestran que las tierras bajas del sureste mexicano, en Campeche y Quintana Roo, especialmente en la región del río Bec, en México, y del río Motagua en el Alto Petén, en Guatemala, fueron los escenarios donde sofisticados agricultores utilizaron complejos sistemas de manejo del agua (Turner II 1974: 121). Más al sur, en los altiplanos de Bolivia y en los sistemas montañosos y costeros del Perú, existen numerosos testimonios de grandes sistemas de manejo del agua.

Por segunda vez, después del uso del fuego, el hombre alteraba a gran escala sus paisajes. En esta gran transformación, fueron los paisajes fluviales, (otra vez, como en sus borrosos inicios en las cuencas cerradas, a las riberas de los ríos y las orillas de los lagos africanos, *Homo* marcará su preferencia por lugares cercanos a las fuentes del agua) los que en primer lugar se modificaron mediante el control de flu-

jos, el aclareo y el drenaje. La violencia de las descargas estacionales desde las cuencas altas de los ríos fue contenida por medio de diques; los pantanos de las planicies de inundación fueron avenados para abrir nuevas tierras al cultivo; los matorrales y otras asociaciones vegetales fueron despejados; la fauna que los habitaba fue exterminada. Así se transformaron los paisajes de los deltas del Nilo, del Tigris-Éufrates, del Indo-Bramaputra, y quedaron aptos para el cultivo y para ser habitados.

Desde las sociedades prehistóricas y protohistóricas de bajos consumos energéticos hasta las grandes civilizaciones hidráulicas, el uso del agua se basó en diferentes tecnologías de manejo: 1) obras de desviación de cauces de ríos hacia campos de cultivos; 2) obras de almacenamientos de agua para usos a lo largo del año; 3) aprovechamientos del agua de lluvia; 4) desarrollo de pendientes para incrementar la recarga de acuíferos, mediante la retención del agua por medio de terrazas; 5) diques, canales y presas para usos domésticos y agrícolas a lo largo del año; 6) grandes sistemas de distribución en valles y campos de cultivos; 7) grandes sistemas de almacenamientos para varias temporadas de cultivos; 8) dispositivos para explotar acuíferos; 9) islas artificiales en áreas lacustres; 10) acueductos y túneles para transportar agua a grandes distancias; 11) dispositivos mecánicos para llevar el agua a diferentes pisos altitudinales; y 12) sistemas para drenar los excesos de humedades del suelo (Bennett 1973: 37).

Estas obras hidráulicas en el contexto de los paisajes áridos, semiáridos y húmedos donde se originaron las civilizaciones de regadío, exigieron la creación de nuevas instituciones que cambiaron de un modo radical la vida social de

estos primeros agricultores. Bajo las condiciones impuestas por los sistemas productivos hidráulicos surgieron nuevas formas de división del trabajo y de la organización de la vida social. Los grandes volúmenes de agua que se requerían sólo podían manejarse con el concurso de una mano de obra masiva, que tenía que desarrollar obras de acondicionamiento, construcción y mantenimiento previamente planificadas, perfectamente organizadas y dirigidas. Se requerían por consiguiente de constructores, planificadores y administradores, que funcionaran con una disciplina militar. Esto es, estructuras de poder capaces de soportar las gigantescas empresas hidráulicas. Sobre estas bases de control total se edificó el poder autoritario de los Estados e imperios hidráulicos, lo mismo en el Cercano, en el Medio y en el Extremo Oriente, que en América (Wittfogel 1956: 45 y 1966: 72, Steward 1955: 1).

Las grandes masas de agricultores participantes tuvieron que aprender a manejar toda clase de materiales de construcción: tierra, piedra, madera, metales, etc. Los constructores de diques y canales tuvieron que adiestrarse también para realizar otras clases de tareas complementarias: trincheras, torres, grandes almacenes, templos, palacios, tumbas, muros defensivos, caminos, etc. Los requerimientos de grandes volúmenes de materias primas, minerales, madera y metales, abastecimientos para el sostén de los trabajadores, para la construcción de obras hidráulicas, y para la producción a gran escala de herramientas necesarias para los cultivos intensivos, desvió excedentes y aceleró los intercambios comerciales entre regiones distantes.

Ninguna de estas monumentales obras habría sido posible sin una revolución del conocimiento que la apoyara. De-

bía medirse con precisión los volúmenes y la estacionalidad de los flujos a controlar, calcularse con exactitud los contenidos volumétricos de los diques y canales, estimarse con anticipación las cantidades de los materiales y la temporalidad de la mano de obra requerida y, finalmente, controlar los volúmenes producidos y su distribución. Bajo estas presiones, surgió una organización de los conocimientos basada en sus aplicaciones concretas. Las matemáticas, la astronomía, la química y la metalurgia se orientaron a resolver problemas planteados por los requerimientos de la vida material. Sus contribuciones fueron decisivas: se inventó el arado, la rueda, el torno, los transportes terrestres y acuáticos, carros con ruedas y botes de vela, la fermentación, la vidriería, la escritura y los sistemas de medición. El resultado tuvo su expresión en una nueva clase de paisajes culturales: los paisajes rurales-urbanos y, en la cresta, los paisajes urbanos, plenamente artificiales.

El éxito de la agricultura se reflejó en dos hechos cruciales: por un lado, permitió el crecimiento de la población que para principios de nuestra era llegó a 170 millones y para fines del siglo XVII, ya cifraba los 957 millones de seres humanos; pero, por otro lado, también implicó la alteración profunda de los paisajes, primero donde se habían llevado a cabo las grandes experiencias hidráulicas en la Antigüedad; y después en la fase de su expansión, especialmente en Europa y en las nuevas colonias de África y América.

Donde floreció la agricultura, especialmente la hidráulica, pero también la de secano, extensas masas de vegetación fueron eliminadas en las áreas boscosas de las cuencas hidrológicas, las terrazas y estructuras de conducción y almacenamientos del agua alteraron patrones de flujos, y en

las áreas bajas y valles aluviales, la eliminación y alteración de los humedales, por canales, diques y presas de almacenamiento marcaron la configuración de los paisajes en distintas regiones de la Tierra.

LOS PAISAJES URBANOS

En el periodo entre la creación de Jericó y Katal Juyuk, dos de las primeras ciudades fundadas en el Asia Menor, entre los milenios X a VI antes de nuestra era, y las ciudades europeas del siglo XVI, se encuentran numerosos testimonios de una relación orgánica e ininterrumpida entre el campo y la ciudad (Braudel 1979: 423). Desde sus inicios, las ciudades crearon nuevos tipos de actividades para su entorno rural y, al hacerlo, inventaron y reinventaron nuevas economías rurales. Sin las ciudades no habrían sido posibles el desarrollo tecnológico que implica la invención, la construcción y el mantenimiento de complejas obras hidráulicas; ni la construcción de grandes sistemas de almacenamientos de alimentos; ni mucho menos, el establecimiento de complejas y extensas redes de intercambios, en los que se basó durante miles de años la expansión la agricultura (Munford 1956: 383). Todo los conocimientos pacientemente acumulados por los agricultores, en sus miles de años de observación y aprovechamiento de sus paisajes, que los hicieron domesticadores diestros de plantas y animales y agudos conocedores de los ecosistemas de los que dependían; las experiencias obtenidas en el tránsito de la Edad de Piedra a la de la metalurgia, en la confección de armas y utensilios cada vez más perfeccionados; así como los profundos cambios introducidos en la vida productiva y familiar de las comunidades aldeanas, a medida que se

transformaron de nómadas a sedentarias, establecieron las bases sociales de la construcción de una realidad que, a partir de la invención de la agricultura, se expresó en un diálogo que se mantuvo ininterrumpido por varios milenios, entre la ciudad y el campo. La cultura urbana fue desde el principio una característica inherente de los pueblos agricultores que practicaron y desarrollaron la agricultura de regadío (Palerm 1952: 187).

Esta simbiosis entre el campo y la ciudad, que culminó con el surgimiento de las civilizaciones urbanas, transformaron profundamente los paisajes de la Tierra en unos cuantos miles de años, entre el nacimiento de la agricultura y el siglo XV de nuestra era, y lo hicieron de un modo más drástico que durante los dos millones de años de historia humana que la antecedieron.

Entre los milenios IV y III antes de nuestra era, se llevó a cabo lo que Gordon Childe ha llamado la Revolución urbana, y que Redfield (1954: 1), señala como una revolución cultural que marcó el principio de la civilización. Es el periodo en el que surgen en la historia humana las primeras experiencias urbanas y se difunden por todo el mundo antiguo. Convertidas en centros de poder religioso, militar, político y económico, estas ciudades cambiaron los paisajes de la Tierra entre la aparición de estas ciudades primitivas y los grandes complejos urbanos que se construyeron en diferentes regiones hasta los siglos XV de nuestra era. La evolución de estos paisajes fue un proceso paralelo al de la agricultura hidráulica, la división del trabajo, el desarrollo de una comunidad estratificada, el surgimiento del Estado, el incremento de los excedentes de alimentos y la aceleración de los intercambios regionales de materias primas por alimentos.

Este profundo cambio abarcó la Mesopotamia y el Mediterráneo Medio-Oriental (Ur, Nínive, Babilonia, Persépolis, Palmira, Baalbek, Gerasa y Efeso); el Extremo Oriente (Hampi, Angkor, Pagán y Ayutthaya), África (Tebas, Leptis Magna, Sabratha, Dugga y Volubilis) Europa (Cnosos, Micenas, Atenas, Roma y Pompeya), Mesoamérica (Teotihuacán, México-Technotitlán, Cholula, Palenque, Monte Albán, Chichén Itzá, Tikal) y Sudamérica (Tiwanaku, Chanchán y Machu Picchu).

Como ejes caracterizadores de nuevos tipos de paisajes culturales, estas grandes metrópolis del mundo antiguo constituyeron la expresión de las culturas que las crearon. Fueron las respuestas humanas a las necesidades de su adaptación a diferentes contextos ecológicos, auténticos catalizadores de las diversas actividades que se realizaban en su entorno e instrumentos indispensables del control político del territorio. Desde las ciudades-Estado edificadas por los imperios orientales en el Cercano, Medio y Extremo Oriente, hasta las ciudades europeas, africanas y americanas, fueron complejos monumentales que representaron centros de poder político o religioso, cuya distribución, articulación y funcionalidad espaciales dieron un orden a sus sociedades estratificadas y altamente jerarquizadas (Guitoli y Rambaldi 2002: 20).

Pero más allá de estas funciones, las ciudades antiguas fueron obras maestras de la integración del hombre con sus paisajes. Sus construcciones monumentales, templos o palacios, fueron ecos plásticos de sus entornos. La colosal monumentalidad de los zigurats, en los semidesiertos mesopotámicos; las delicadas armonías y proporciones de los templos, del Medio y Extremo Oriente; el equilibrio y la racionalidad

de la acrópolis ateniense y de las ciudades mediterráneas; la perfecta integración a su entorno de las pirámides teotihuacanas; la prodigiosa adecuación de México-Tenochtitlán a su maravilloso valle y lagunas; la delicada armonización de las ciudades mayas con sus llanuras y selvas; y la asombrosa conjunción de estructuras monumentales, terrazas de cultivos y montañas, de Machu Picchu, dan cuenta de los elevados niveles de adaptación del hombre a sus paisajes que se alcanzaron en las ciudades de la Antigüedad.

LOS CEREALES: PLANTAS DE CIVILIZACIÓN

Las revoluciones agrícola y urbana de la Antigüedad imprimieron otra huella al destino alimentario de la humanidad: los cereales. Tres de ellos, como lo señala Braudel, marcaron este destino y se constituyeron en auténticas plantas de civilización, alrededor de las cuales se organizó la vida material y espiritual de la humanidad: el trigo, el arroz y el maíz.

Procedente del Oriente, Palestina y Siria, domesticado en la India y China, el trigo se convirtió en un patrimonio de Occidente. Junto con la carne, se transformó en la base de su cultura alimentaria. El trigo y la ganadería determinaron la ecología agrícola de dicha porción del mundo. Entre los siglos VI y IX de nuestra era, Europa creó un sistema de agricultura totalmente nuevo. Se apropió de algunas herramientas y técnicas aportadas por los pueblos antiguos en su invención de la agricultura: el arado, los vehículos de ruedas, los sistemas de rotación de los campos, la combinación de la agricultura y la ganadería, y la utilización de los animales domésticos en las tareas agrícolas. Con ellas creó un sistema productivo que incrementó rápidamente la pro-

ducción de alimentos. En el interludio de la Edad Media, a partir de la época de Carlomagno y hasta el siglo XV, Europa empieza un periodo de transformación de sus campos. Bajo la presión del cultivo de cereales (el régimen alimenticio de los europeos determinará toda su economía rural) Europa transformará sus paisajes rurales a expensas de sus praderas, sus pantanos e incluso sus mares (Duby 1999: 96). Entre los siglos XI y XII, Europa vive un periodo decisivo de sus conquistas agrarias, de roturación de nuevos terrenos y de la expansión de los cultivos de cereales. Hizo del trigo y del ganado bovino la base de su cultura alimentaria. Hacia los siglos XV y XVI, el trigo era ya el foco central de la estructura productiva y del comercio en Europa (Wallerstein 1979: 60). Sin embargo, su cultivo planteaba un cierto número de restricciones: en primer lugar, no podía cultivarse dos años consecutivos en un mismo terreno sin agotar los contenidos nutritivos del suelo; de igual modo, se necesitaba de labores de preparación, que exigían de animales de tiro. Para recuperar su productividad, el suelo requería necesariamente de un período de descanso, lo que en las condiciones tecnológicas de Europa significaba la expansión de la superficie bajo cultivo como condición para elevar la producción; y también de una suficiente y cuidadosa aplicación de fertilizantes, como insumos indispensables para nutrir los suelos, lo que también requirió, como complemento indispensable, de la ganadería. Trigo y ganado se asociaron para crear este sistema de agricultura que dominó, primero, el paisaje y la cultura europeas, y más tarde se expandió a otros lugares del mundo.

El arroz tiene probablemente su centro de origen en las regiones semiáridas del Cercano y Medio Oriente, donde se

colectó en forma silvestre y se le domesticó. Se le conoció ya bajo cultivo en la India, hacia mediados del III milenio antes de nuestra era. Llegó al sureste asiático, al delta del Mekong, gracias a comerciantes hindúes que se establecieron en la costa meridional de Indochina (Stierlin 1985: 48). El arroz necesita de grandes volúmenes de agua: sus raíces deben estar sumergidas de un modo permanente en una capa de este vital líquido, pero requiere además de una oxigenación adecuada, que sólo puede obtenerse por la renovación constante del agua. Sólo las técnicas hidráulicas podrían garantizar esta circulación continua. Y los agricultores del delta del Mekong lograron desarrollar una revolución tecnológica que les permitió el manejo de enormes volúmenes de agua, captados en las épocas de las inundaciones, mediante un sistema de depósitos contruidos por encima del suelo, a diferentes niveles, controlados por diques mediante los cuales garantizaban los flujos continuos requeridos por los arrozales. Esta revolución tecnológica hizo posible irrigar arrozales sin interrupción durante los siete u ocho meses del año durante la estación seca, mediante un sistema de almacenamientos y canales, conocidos como barays, que convirtieron al sudeste asiático en una verdadera fábrica de arroz, entre los siglos IX y XIII de nuestra era. Esta revolución de la agricultura hidráulica convirtió a ciudades como Angkor en un formidable complejo de depósitos de agua y canales totalmente consagrados al cultivo de dicho cereal. A nivel del paisaje, de la relación entre ciudad y su entorno natural, Angkor ofreció un ejemplo perfecto del acondicionamiento de los recursos acuáticos a los fines de la producción de alimentos. Como uno de los logros culminantes de las civilizaciones hidráulicas de la Antigüedad, Angkor es un ejemplo acabado de la re-

lación entre la tierra, el agua y los hombres en la tarea de la construcción de sus paisajes culturales (Stierlin 1985: 53).

Los altiplanos mesoamericanos fueron los escenarios donde se llevó a cabo una de las mayores aportaciones culturales al patrimonio alimentario de la humanidad: la domesticación y el cultivo del maíz (MacNeish 1964: 531, Mangelsdorf 1958: 1319 y Mangelsdorf *et al.* 1964: 545, FAO 1993: 2). Para los complejos culturales del continente, el maíz, como un lento y dilatado invento del hombre americano, ha jugado un papel de criatura humana y pariente vegetal. En estos paisajes del mundo, hombre y maíz han dependido uno del otro para subsistir, reproducirse y conservarse como especies (Warman 1993: 40).

La domesticación de este cereal fue un proceso largo y disperso que abarcó a diferentes pueblos del continente americano (Wellhausen *et al.* 1951: 19). Su enorme flexibilidad lo hace viable desde los 45° de latitud Norte hasta los 40° de latitud Sur (desde Canadá hasta Chile). Su gran resistencia a la sequía, le permite soportar un amplio rango de condiciones climáticas, desde los 250 hasta los 5,000 mm de precipitación anual promedio. Esta vasta geografía hace del maíz la base de la alimentación de los pueblos americanos. Y no sólo eso. Las brácteas, las hojas que envuelven a la mazorca, sirven de envoltura de alimentos y otros productos. La caña o tallo, se usa como material de construcción, en cercas o paredes. El olote o raquis de la mazorca es un combustible imprescindible en la vida de las poblaciones rurales. Los pistilos de la flor femenina, son diuréticos y tranquilizantes; y su masa, para cubrir heridas. Hasta sus plagas, como el huitlacoche, son alimentos exquisitos (Warman 1993: 34). A algunos de estos usos tradicionales, la ciencia y la tecnolo-

gía de nuestros días le han agregado otra amplia gama, como materias primas industriales.

Es imposible desvincular al maíz de otra aportación de las culturas prehispánicas al desarrollo humano: la maravilla de la ciudad hidráulica de México-Tenochtitlán. Urbe que emerge del agua, depósito cósmico del agua, según la mitología náhuatl, México-Tenochtitlán fue un producto acabado de su agricultura hidráulica maicera y hortícola (Tibón 1993: 130). Con la rotación del cultivo en sus camellones y en sus terrazas, los agricultores prehispánicos aseguraron la alimentación de la población que creó, en medio de un enorme sistema lagunar, encerrado en uno de los valles más altos y bellos de la Tierra, uno de los centros urbanos más prodigiosos jamás diseñados. La integración de la urbe azteca a su paisaje acuático y montañoso quedará como una obra maestra de los paisajes culturales en la historia humana.



Antes de las etapas de las economías-mundo y de la formación de la economía mundial capitalista, en el siglo XV de nuestra era, cuando algunos cálculos estimaban la población mundial en unos 250 millones de habitantes, el etnógrafo Gordon W. Hewes clasificaba en un mapamundi de la época, 76 civilizaciones y culturas que se repartían los paisajes de los continentes. Este mapa reconocía y ubicada a las poblaciones de cazadores, pescadores y recolectores; a nómadas y pastores; culturas avanzadas y civilizaciones densas (Braudel 1979: 38 y 1993: 86).

En el periodo comprendido entre los siglos XV al XVII, el hombre europeo dispuso de su propia fuerza, de la de sus

animales domésticos, especialmente el caballo, la mula, el asno y el buey; del agua corriente y del viento; de la madera; del carbón vegetal y mineral. Con la multiplicación de sus motores primarios, los molinos de agua y de viento, durante los siglos XI, XII y XIII, Europa vivió su primera gran revolución mecánica. Hacia fines del siglo XVIII, en los inicios de la revolución industrial, unos 600,000 molinos de agua y viento destacaban entre los rasgos más característicos del paisaje europeo. Cada asentamiento humano, por pequeño que fuese, tenía su molino. Las civilizaciones anteriores al siglo XVIII, fueron civilizaciones de la madera en tanto recurso energético. La omnipresencia de la madera tenía un peso enorme en la vida cotidiana. Los bosques representaban las fuentes de materias primas para la fabricación de todos los instrumentos necesarios para aprovechar la energía del agua y del viento, para la calefacción de las viviendas, la cocina, la construcción de muebles, la fabricación de transportes terrestres y barcos. Hacia 1789 se estimaba que se consumían en Europa unas 20 millones de toneladas de madera. Esto significó la destrucción de masas forestales, lo que cambió profundamente el paisaje europeo. A partir del siglo XVII, con la utilización del carbón mineral se efectúa otro salto más en la transformación de estos paisajes. El empleo del carbón mineral para la fundición del hierro produjo una completa revolución en las relaciones humanas con el medio ambiente, y de paso, atenuó en un grado considerable las presiones sobre los bosques. Culminó este periodo con la invención y la aplicación de la máquina de vapor en las tareas productivas, lo que aceleró la modernización de Occidente como por arte de magia (Braudel 1979: 294, Simmons 1997: 150).

Sin embargo, el acontecimiento más espectacular sobre los paisajes europeos a principios del siglo XVI fue un factor externo: el descubrimiento y la colonización de América. Este hecho alteró drásticamente el balance entre población y recursos en Europa y cambió de tajo la propia ecología mundial (White 2002: 62). Fueron sobre todo las necesidades alimentarias y la presión que éstas ejercían sobre sus recursos naturales, las que determinaron la expansión geográfica de Europa (Wallerstein 1979: 63). El mito de una América prístina se extendió a lo largo de los siglos XVII y XVIII entre los colonizadores europeos, especialmente cuando las poblaciones nativas habían sido drásticamente reducidas por las batallas y las enfermedades. A la llegada de los europeos, se estimaba una población continental total entre 45 y 60 millones de habitantes. El Caribe vio disminuir su población 99% entre 1492 y 1550. El Perú, 92% entre 1520 y 1620, y Norteamérica 75% entre 1492 y 1800 (White 2002: 64).

Hacia el siglo XVII, Europa ya había realizado grandes modificaciones de sus paisajes. En este siglo, la utilización de las aguas interiores para satisfacer las crecientes necesidades energéticas se incrementó drásticamente. Entre 1600 y 1625 se pusieron en marchas las primeras grandes obras de drenaje y canalizaciones en Holanda, que coinciden con la edad de oro de la economía de esa nación. Por estas fechas también se emprendieron obras para desecar pantanos en Inglaterra, y para contención y canalización en el Vístula, que alentaron a drenar los pantanos y las aguas interiores cercanas a Varsovia. En 1618 se comenzaron obras de drenaje de las marismas de Göteborg, en Suecia y también en las costas occidentales y nororientales de Francia y en el Va-

lle del río Po, en Italia. La tensión sobre las áreas boscosas se incrementó a partir del siglo XVII. Los bosques del Mediterráneo sufrieron intensamente la presión de la incesante demanda de combustibles domésticos y de materiales para la construcción. El aclareo de las superficies boscosas para abrir tierras a la agricultura y la ganadería fue, sin duda, otro factor importante de la deforestación (Darby 1956: 183). Nuevas industrias, como las del hierro y el acero, también aportaron sus cuotas a la intensa modificación de los paisajes europeos.

Con la utilización del carbón mineral, en el siglo XVIII, inicia la era de los recursos energéticos no renovables. Por primera vez el hombre es capaz de valerse de una energía acumulada en el subsuelo durante millones de años. El resultado inmediato es una revolución en la producción de los metales, el hierro y el acero, lo que redundó en el desarrollo de las tecnologías y procesos químicos que permitieron la fabricación de una gama enorme de productos industriales y de consumo. Para 1870, el paisaje europeo se caracterizaba ya por distintas regiones industriales en Inglaterra, Francia, Bélgica y Alemania, todas ellas basadas en el carbón mineral como su principal fuente energética. Y el mismo modelo industrial empezaba a reproducirse en Rusia, los Estados Unidos de América y Japón. Las crecientes poblaciones urbanizadas de los centros industriales demandaron mayores cantidades de alimentos que, en principio, fueron satisfechas con los sistemas agrícolas locales, que pronto resultaron insuficientes.

LOS TECNOPAISAJES DEL CAPITALISMO INDUSTRIAL

Los siglos XIX y XX representan la era de la civilización industrial bajo la hegemonía del sistema capitalista de producción con base en la utilización de los combustibles fósiles. La esencia de este cambio, que revolucionó la relación del hombre con sus paisajes, fue el acceso a las grandes concentraciones de energía almacenadas en la corteza terrestre: el carbón mineral, el petróleo y el gas natural. Estas nuevas fuentes energéticas difieren de las empleadas hasta entonces por el ser humano, en dos aspectos fundamentales: la magnitud de sus concentraciones y su carácter no renovable (Simmons 1997: 166). El acceso a la energía almacenada en los mantos terrestres por millones de años, hizo posible el desarrollo de nuevas tecnologías para manipular ecosistemas terrestres y acuáticos a escalas sin precedentes. Ciencia y tecnología se convirtieron en los instrumentos del sistema capitalista para acumular y concentrar riquezas, mediante la explotación intensiva de los recursos del planeta: bosques, agua y suelos. Con la creación y expansión de dicho sistema, se sentaron las bases de un auténtico imperialismo económico y ecológico, centrado en las sociedades industriales y en la degradación de los ecosistemas de las sociedades rurales del mundo (Rappaport 1971: 80).

La expansión del sistema capitalista a escala mundial, como lo señala Hobsbawm (1998), llegó a ser espacialmente masiva hacia el tercer cuarto del siglo XIX. Desde entonces la difusión de la agricultura se planteó bajo los principios inflexibles del sistema capitalista: era una “industria más” como cualquiera otra, susceptible de guiarse por el principio del máximo beneficio. El mundo rural era, en su conjunto,

un mercado, una fuerza de trabajo y una fuente de capital (Hobsbawm 1998: 184 y 190). Bajo estos principios, los paisajes y la vida rural de diferentes regiones en el mundo, cambiaron de un modo mucho más profundo que durante cualquiera otra etapa de la historia humana de la naturaleza. La tecnología de los transportes (ferrocarriles y navíos) hizo posible la ocupación de zonas geográficamente remotas e inaccesibles. El elemento dinámico de la expansión del modelo agrícola occidental fue la creciente demanda de alimentos, apartada de los centros industriales y urbanos del mundo. Entre 1840 y 1880, la superficie cultivada en el mundo pasó de 200 a 300 millones de hectáreas. La mitad de este aumento se llevó a cabo en Norteamérica donde se triplicó la superficie empleada; en Australia se quintuplicó; en Canadá aumentó dos y media veces; en Suecia aumentó más del doble; en Italia y Dinamarca el crecimiento fue de más de la mitad, y en Rusia, Alemania y Hungría, aproximadamente un tercio. Todo a expensas de pantanos, páramos y, especialmente, de los bosques. Geográficamente, las praderas norteamericanas, las pampas sudamericanas y las estepas del sur de Rusia y de Hungría eran paisajes similares: grandes planicies en zonas templadas, ideales para el cultivo de cereales a gran escala y para la expansión de la ganadería.

Se consolidaron así las bases sobre las que se edificó un nuevo tipo de imperio, el colonial, bajo la hegemonía del sistema capitalista. Entre 1880 y 1914, la mayor parte del mundo, fuera de los países industriales europeos, americanos y asiáticos, quedaron divididos en territorios dominados formal, económica y políticamente, por un número reducido de las nuevas potencias industriales: el Reino Unido, Francia, Alemania, Italia, los Países Bajos, Estados Unidos y

Japón. Continentes enteros, como África, se repartieron en su totalidad entre estas potencias imperiales.

La gran expansión de este sistema imperial se dio después de las dos grandes conflagraciones mundiales del siglo XX y con la Revolución Verde de mediados de los años 1960. Ciencia y tecnología apuntalaron la agricultura industrial basada en semillas mejoradas, agroquímicos y mecanización a base de altos consumos de hidrocarburos. La era del petróleo reforzó la flexibilidad y el potencial de las tecnologías de bombeo de los mantos acuíferos y los pozos proliferaron por todos los ámbitos de la Tierra. El 70% de las grandes presas que hoy existen en el mundo se construyeron después de la Segunda guerra mundial. Entre 1950 y los últimos años de la década de los setentas, las áreas irrigadas se duplicaron (Postel 1989: 6).

Entre 1950 y 1990, la Revolución Verde transformó los fundamentos de la agricultura en todo el planeta. El motor energético no lo constituyeron más la fotosíntesis ni la expansión de tierras. La energía fue la de los combustibles fósiles: gas natural, en forma de fertilizantes químicos; plaguicidas, a base de petróleo; la mecanización, con tecnologías de altos insumos de hidrocarburos, y, finalmente, la irrigación, mediante el control de inmensos volúmenes de las aguas dulces de la Tierra, captadas de fuentes superficiales y extraídas de los acuíferos del subsuelo. Ello significó el aumento de flujos energéticos hacia la agricultura que, en promedio, fueron 50 y hasta 100 veces la energía invertida en la agricultura tradicional. Entre 1945 y 1995 la inversión energética en la agricultura aumentó 120 veces, mientras que los rendimientos de las cosechas sólo 90 veces. Claramente, los costos energéticos de esta clase de agricultura excedieron a

sus ganancias en términos de alimentos (Giampietro y Pimentel 1993: 1).

Sus costos ecológicos, en términos de pérdidas de suelos, agua y la contaminación por agroquímicos, han vuelto a la agricultura intensiva moderna insostenible. Las praderas estadounidenses, uno de los graneros del mundo, han perdido la mitad de su capa superficial tras 100 años de cultivos intensivos. Estas tierras se han erosionado 30 veces más rápido que los ritmos de formación natural de los suelos. Cada año el territorio norteamericano pierde 800,000 hectáreas de cultivos por la erosión, la salinización y la sobreexplotación de sus acuíferos. La erosión de la tierra y el agotamiento de sus sustancias nutritivas han hecho de las grandes llanuras una esponja que requiere cantidades masivas de fertilizantes cuyos costos se estiman en 20 mil millones de dólares anuales invertidos en nutrientes producidos por la industria de agroquímicos. La agricultura norteamericana consume 80% de todos los recursos de agua dulce de los Estados Unidos. La explotación intensiva de los acuíferos significa que menos del 0.1% de los acuíferos subterráneos almacenados que se explotan en la actualidad en territorio estadounidense se reemplazan por la lluvia (Pfeiffer 2003: 6).

A fines del siglo pasado, especialmente en la década de 1990, dio inicio una nueva fase de la agricultura impulsada por el capitalismo posindustrial y conocida como la Revolución Genética. Se trata de una nueva tendencia de las empresas multinacionales que controlan la biotecnología y el mercado mundial de alimentos, que consiste en “promover amplios mercados internacionales para un solo producto y de crear, por lo tanto, las condiciones para la uniformidad genética en los paisajes rurales”, como la caracteriza

el agroecólogo de la Universidad de Berkeley, Miguel Altieri (1998: 2). La homogeneización a gran escala de los paisajes agrícolas del mundo, afirma este autor, con cultivos transgénicos, va a exacerbar los problemas ambientales asociados a la agricultura de monocultivos promovidos por la Revolución Verde (Altieri 2001: 4). El alto potencial de sus riesgos ecológicos no solamente se refleja en sus efectos sobre la biodiversidad, de la que dependen miles de pequeños agricultores en el mundo, sino también porque estos cultivos pueden producir toxinas ambientales que a través de las cadenas tróficas pueden afectar al agua y al suelo, a los organismos que mantienen estas cadenas y a los propios ciclos de nutrientes. En efecto, la fertilidad del suelo puede eliminarse drásticamente si los lixiviados de un cultivo transgénico inhiben la actividad de la biota del suelo o disminuyen la tasa natural de descomposición y liberación de nutrientes (Altieri 2001: 4).

Conforme avanza esta estrategia de uniformar la producción de alimentos, sus resultados se ven reflejados directamente en la biodiversidad del planeta. Según la FAO (1998b), el planeta ha perdido 75% de la diversidad genética de la agricultura existente a principios del siglo XX, como resultado de las prácticas agrícolas industriales. Myers (1994: 79) calcula que la deforestación, la contaminación y la destrucción de hábitats han causado la extinción de 30,000 especies en todo el mundo cada año. Pero hay ejemplos más dramáticos que afectan a cultivos directamente vinculados a nuestra supervivencia, como es el caso del arroz: hace una cuantas décadas los agricultores asiáticos en la India cultivaban una 50,000 variedades diferentes de arroz; hace diez años, este número había descendido a sólo 17,000; y hoy, la

mayoría cultiva apenas un docena (*The Ecologist* citado por Anderson 2004: 50).

Rápidamente y de un modo sistemático, los cultivos transgénicos (o genéticamente modificados) están transformado los paisajes agrícolas en el mundo, especialmente en los Estados Unidos, Canadá, China, México y Argentina, según señala Altieri (2001: 1). A lo largo del mundo, el área plantada con cultivos transgénicos aumentó más de 20 veces en los últimos seis años, de 3 millones de hectáreas en 1996 a casi 44.2 millones de hectáreas en el año 2000. En los Estados Unidos, Argentina y Canadá, más de la mitad de los cultivos principales, tales como la soya y el maíz, son cultivados a base de variedades transgénicas.

Es en este escenario donde surgieron nuevos paisajes: los tecnopaisajes monofuncionales que caracterizan a las sociedades industriales de la era del capitalismo avanzado. Se trata de “tecnopaisajes económicos”, como los caracteriza Farina (2000), que se expanden a una escala global y que se estructuran en mosaicos que van de macroregiones a subcontinentes hasta el nivel mundial, bajo el control de los mecanismos del mercado. Estos nuevos paisajes, creados para optimizar la productividad económica, con una bajísima eficiencia en el uso del agua y la energía y con descensos drásticos de la biodiversidad terrestre, se caracterizan por grandes espacios monofuncionales en los cuales los patrones naturales, tales como morfología, redes de drenaje, mosaicos forestales, zonas de amortiguamiento y procesos ecológicos, se simplifican al extremo. Estas nuevas configuraciones del territorio se caracterizan por su inestabilidad y vulnerabilidad ecológica y sus bajos índices de biodiversidad. Estructural y funcionalmente son regulados por decisiones económicas

sin ninguna retroalimentación con los procesos naturales (Farina 2000: 316).

En esta etapa, las alteraciones humanas de los paisajes terrestres se han intensificado radicalmente y a escalas sin precedente. Los cambios en la cobertura vegetal por los usos del suelo han afectado a 12 millones de km² de los biomas terrestres (6 millones km² de bosques y selvas y 4.7 km² sabanas, praderas y estepas más 1.5 millón de km² de tierras de cultivo abandonadas), de las que 2 millones de km² son tierras irrigadas que se incrementaron 24 veces en este periodo (Turner *et al.* 1993: 9, Lambin *et al.* 2001: 262). La mitad de los aumentos de las tierras agrícolas ha ocurrido durante los últimos 100 años. La pérdida de bosques y selvas en África tropical, Latinoamérica y Asia tropical se estima en 38%, 38% y 67%, respectivamente, a favor de los cultivos y la ganadería (Houghton 1994: 308).

Este gran proceso de simplificación de la cobertura vegetal fue causado principalmente por la deforestación de los bosques y selvas tropicales, la expansión de las superficies ganaderas y de monocultivos en las montañas templadas y la construcción de obras de infraestructura (especialmente hidroeléctricas e hidroagrícolas). Aproximadamente 28% de las áreas forestales de América Latina se perdieron entre 1850 y 1985; las áreas de cultivo y los pastizales crecieron 357 X 10⁶ ha a 918 X 10⁶ en los últimos 100 años. En el sur y en el sureste asiáticos 40% de los bosques fueron eliminados durante los últimos 150 años, mientras que las áreas bajo cultivos se duplicaron entre 1850 y 1990. La mitad de estas nuevas zonas se agregaron en el último siglo, pero en los trópicos esta duplicación ha ocurrido durante los últimos 50 años (Houghton 1994: 309).

Hoy es claro que la intensificación de la agricultura, especialmente los monocultivos promovidos por la revolución agrícola de los años 60 del siglo pasado, a base de semillas mejoradas, el uso intensivo de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes), la mecanización y una costosísima infraestructura hidráulica (presas y canales financiados por agencias de créditos internacionales), ha tenido una amplia gama de impactos negativos sobre los ecosistemas terrestres, especialmente los fluviales. Entre los principales se cuentan la pérdida de la conectividad de los flujos de aguas dulces, el incremento de los procesos erosivos, la pérdida de la fertilidad de los suelos, la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y el descenso drástico de la biodiversidad.

La urbanización de la población humana en esta última fase ha señalado una nueva y fundamental etapa en la evolución del *Homo sapiens* y de la construcción social de su realidad. Hasta 1850 ninguna sociedad podría describirse como predominantemente urbanizada y para 1900 solamente la Gran Bretaña era identificada como una sociedad plenamente urbana. Este proceso es hoy un fenómeno social dominante y un componente importante de los procesos de transformación de los paisajes terrestres (Folke *et al.* 1997: 171). A principios del tercer milenio, alrededor del 50% de la población humana vive en las ciudades en todo el mundo, pero de acuerdo con las tendencias de la urbanización, esta cifra será mayor al 60% para mediados del siglo XXI y en las naciones industrializadas este porcentaje será superior al 80%. En el continente africano la población urbana prácticamente se duplicará, pasando de 27 al 54%. En nuestros días, las áreas urbanas ocupan menos del 2% de la superficie

terrestre, y sin embargo, la trivialidad de esta cifra no guarda relación con sus efectos sobre los ciclos biogeoquímicos globales y sobre el ciclo del agua. Los gases que producen el efecto de invernadero se concentran hoy en las áreas urbanas y suburbanas del planeta, donde se genera 78% de estas emisiones (Grimm *et al.* 2000: 572).

HOMO SAPIENS: UN BALANCE DEL CAMINO RECORRIDO

En su gran aventura de modelador de los paisajes terrestres, el hombre se introdujo en los ciclos energéticos y geoquímicos que regulan el sistema terrestre. Al inicio de esta aventura, todavía como protohombre habitante de los bosques del este de África, su consumo de energía dependía exclusivamente de su dieta alimenticia diaria, unas 2,000 kilocalorías. La domesticación del fuego elevó esta cifra hasta unas 4,000 kilocalorías, en su etapa de cazador paleolítico de Europa, Asia y África, hace unos 100 mil años. En las sociedades preagrícolas primitivas de recolectores y cazadores, cerca de 6,000 años antes de nuestra era, con el uso del fuego, la cifra aumentó hasta las 12,000 kilocalorías. Las sociedades agrícolas avanzadas de Europa oriental, en los siglos XIV a XVI, con el empleo del carbón y la hidroelectricidad, pudieron duplicar este consumo. En la etapa de la Revolución Industrial y hacia mediados del siglo XIX, el consumo diario per capita se elevó hasta las 70,000 kilocalorías en los países donde se llevó a cabo este espectacular cambio tecnológico (Inglaterra, Alemania y Estados Unidos) con la utilización del vapor, el viento y la energía eléctrica. El triunfo de la revolución tecnológica en la fase superior de la Revolución Industrial dio lugar al surgimiento de las sociedades in-

dustriales y posindustriales de nuestros días. Con el empleo generalizado de la energía hidroeléctrica y los combustibles fósiles, que hicieron posible el uso masivo de la energía en los hogares y en los sistemas de transportes y producción de mercancías, durante el siglo XX, el consumo per capita de energía subió de un modo espectacular más de 5 órdenes de magnitud desde 1750, hasta alcanzar las 230,000 kilocalorías en las últimas décadas de esta centuria. Para entonces, las naciones industrializadas, con el 30% de la población mundial, consumían ya 80% de los recursos energéticos del mundo. Los Estados Unidos, con el 16% de esta población, se apropia del 35% de los recursos energéticos del planeta (Cook 1979: 425, Starr 1971: 4, Bennett 1976: 43).

La transformación de los paisajes de la Tierra se dio en paralelo con el crecimiento de la población humana. En su etapa cazadora, recolectora y de domesticador del fuego, se alcanzó probablemente la cifra de 5 millones de seres humanos esparcidos por las diversas regiones del planeta. Esto representó un promedio de 0.04 personas por kilómetro cuadrado. Con la revolución agrícola, la población aumentó dos órdenes de magnitud en los 8 mil años de este periodo, multiplicándose 100 veces y alcanzado un promedio de un habitante por kilómetro cuadrado, al final de esta fase. En los últimos 300 años de revolución científica y tecnológica impulsada por el capitalismo la expansión de la población humana alcanzó la cifra de 6,270 millones de habitantes (Deevey 1960: 49).

En este balance, hay un hecho que debe mover a la reflexión. Ni en su etapa de gran productor de alimentos, durante la Revolución Neolítica, o durante la Revolución Verde, de los tiempos del capitalismo industrial y posindus-

trial, ni sus fases de expansiones demográficas motivadas por sus revoluciones urbanas, por sus conquistas territoriales y su apropiación de los recursos energéticos del planeta, los sistemas productivos creados por el hombre han logrado abatir el hambre y la pobreza. Cada una de estas fases se caracterizó por un reparto desigual de la riqueza generada. La concentración de los beneficios en manos de las minorías gobernantes, reyes, sacerdotes, nobles, burócratas, empresarios, significó siempre la degradación económica y social de las grandes masas de población. Con la introducción del regadío, la situación de los productores primarios, recolectores, pastores y cazadores sin duda mejoró, pero su participación en la nueva riqueza sólo fue marginal y desde el punto de vista social los productores de alimentos se vieron sometidos al poder autoritario del Estado hidráulico (Wittfogel 1966: 171). Con la vida urbana, los artesanos y trabajadores especializados sólo lograron una ínfima participación de los excedentes generados por la agricultura, el mínimo para subsistir. Con la expansión capitalista, la conquista y la ocupación de nuevos territorios, los nuevos sistemas de explotación de los recursos naturales y de ocupación de los espacios productivos significaron un deterioro sistemático de las condiciones de vida para las grandes masas de la población humana. Los sistemas-mundo y la economía mundial creados por el capitalismo se asentaron bajo el signo de la desigualdad (Braudel 1993: 85). Sobre la base del control rígido del mercado de alimentos, de la manipulación genética de las especies, y de las guerras por el dominio sobre los recursos energéticos y la biodiversidad del planeta, el capitalismo en su fase posindustrial ha acelerado la apropiación humana de la biomasa terrestre, sin

que esto haya significado mayor bienestar para el género humano. Al contrario: el sistema neoliberal sólo ha puesto en mayor peligro las funciones y servicios ambientales de los ecosistemas de los que depende la vida sobre la Tierra, de una manera y a una escala tal que, en nuestros días, el signo distintivo del sistema dominante es la creciente desigualdad en el reparto de la riqueza social. En el propio corazón del imperio, en los Estados Unidos, según los datos censales de 2002, citados por Pfeiffer (2003), habían 34.6 millones de personas viviendo en la pobreza.

Contra lo que afirman las empresas multinacionales y los defensores de los monocultivos de exportación, los incrementos de la desnutrición y la pobreza en el mundo son cada vez mayores. Según el Programa de Naciones Unidas para la Alimentación Mundial, se produce en el mundo una y media veces más alimentos de los necesarios para proporcionar a todos los habitantes del planeta una dieta adecuada y nutritiva; sin embargo, una de cada siete personas padece hambre. En Etiopía, uno de los pueblos más devastados por las prolongadas sequías y las hambrunas, las mejores tierras del país se destinaban a cultivos de exportación. En Sudamérica, la producción de alimentos per capita aumentó 8% entre 1970 y 1990, pero el número de personas hambrientas creció 19%. Brasil se convirtió, por obra y gracia de las multinacionales, en el tercer exportador mundial de alimentos, y sin embargo, 70 millones de brasileños no tienen suficiente para comer (Anderson 2004: 53).

Los costos ecológicos de la transformación antropogénica de los paisajes de la Tierra presentan estos datos inquietantes:

1. La pérdida neta de las superficies forestales del mundo debido a las actividades humanas desde los tiempos preagrícolas hasta nuestros días es del orden de 8 millones de km². Los más ricos hábitats del mundo, las selvas tropicales, han sido destruidas en 55% y las tasas de pérdidas de estos inmensos reservorios de la biodiversidad de la Tierra, exceden los 168 mil km² al año. Diferentes cálculos estiman la pérdida irreversible de la biblioteca genética de la Tierra entre 5,000 y 150,000 especies al año. Las mayores transformaciones han ocurrido en la Era del Capitalismo como sistema hegemónico, esto es, durante los últimos 300 años (Kates, Turner II y Clark 2003: 1).
2. La contribución del sistema económico basada en altos consumos de combustibles fósiles es hoy la causa principal de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La liberación de 7 mil millones de toneladas de carbono por diferentes actividades humanas es un proceso irreversible a la escala de nuestros tiempos históricos. Otros contaminantes liberados por este sistema económico han excedido claramente la capacidad de absorción de la biosfera: son los casos del metano, los clorofluorocarbonos (CFC) y los óxidos de nitrógeno. Estos gases de fuentes antropogénicas eran prácticamente inexistentes a principios del siglo XX. Esto ha terminado por provocar en diferentes regiones del mundo la ruptura de la capa de ozono, con graves amenazas para la vida humana y la producción de alimentos (Costanza *et al.* 1997: 9).
3. Las transformaciones antropogénicas de los paisajes agrícolas en el último siglo han afectado tal vez de un modo irreversible a dos de sus mayores componentes vi-

tales: el agua y el suelo. La captación humana de agua dulce de los diferentes flujos del ciclo hidrológico es de aproximadamente 6,780 km³. En 1680, esta captación era menos de 100 km³. El 35% de las tierras cultivables en el mundo se encuentran ya degradadas. Y las tasas de erosión, generalmente estimadas de 10 a 100 toneladas por hectárea al año, exceden a la capacidad regenerativa de la biosfera (Postel 1996: 785).

Aunque las más fundamentales y más dramáticas alteraciones ambientales en los cuatro mil millones de años de historia de la Tierra hayan sido productos de fenómenos naturales y cósmicos, que incluyen la propia creación del planeta, la formación de océanos y continentes, la extinción de millones de plantas y animales, glaciaciones y cambios climáticos; y que tales fuerzas continuarán operando transformaciones en el sistema terrestre, es preciso reconocer que en los dos millones de años de la historia humana, el hombre ha emergido como el agente más importante de los cambios que hoy se llevan a cabo en el planeta. Y todo ello a tal punto que es a menudo difícil separar los factores naturales de las causas antropogénicas en la transformación de los paisajes terrestres (Kates, Turner II y Clark 2003: 13).

En esta carrera humana por la apropiación de la biomasa del planeta, el hombre ha modelado los paisajes de la Tierra de tal forma que no siempre es posible distinguir los resultados de sus acciones de las causas geológicas; pero la realidad es que la destrucción de bosques, el drenaje de lagos y pantanos, el desvío de ríos, los usos humanos del suelo, para la agricultura, la industria y para los asentamientos humanos, han significado grandes cambios en la hidrología, en la

temperatura y las condiciones químicas de la Tierra; y que, como lo señalara Marsh (1864), hace un siglo y medio, miles de formas de vida vegetal y animal que existían en la Tierra en la víspera de la aparición del hombre en el escenario de la naturaleza, han cambiado, algunas veces, modificándose en forma y producto, y, en muchos casos, extinguiéndose para siempre (Marsh (1864) 1965: 18).

El examen de las transformaciones antropogénicas de la biosfera permite establecer que los cambios ambientales a escala global han sido enormes. Los ecosistemas manipulados y transformados abarcan más de la mitad de la superficie terrestre, fuera de las partes ocupadas por los glaciares, y la movilización humana de los flujos biogeoquímicos supera a los procesos que se dan en la naturaleza.

EL FUTURO: ¿PAISAJES VIRTUALES O PAISAJES POÉTICOS?

En estas condiciones arribamos a una nueva fase de transformación de los paisajes terrestres marcada por la utopía neoliberal de un control y una explotación ilimitados de los paisajes de la Tierra. *Homo sapiens* entra a la era de los paisajes virtuales creados por la sociedad de la información y el capitalismo globalizado. La virtualidad, como principio fundamental de la creación de lo social y de lo biológico, se presenta como instrumento principal en la modelación de los paisajes. Con el apoyo de tecnologías de tiempo real, que operan a la velocidad de la luz y que erosionan los valores del *aquí* y el *ahora*, a favor del *en otra parte*, que no tiene nada que ver con el lugar y las presencias concretas, el sistema capitalista pretende marcar el declive del territorio a favor de la globalidad

deslocalizada de la actividad humana y en contra del tiempo local (Escobar 1999: 12). Se trata de un inmenso trabajo político de destrucción metódica de lo colectivo (Bourdieu 1998: 138). En tal programa, la destrucción o la subordinación de los paisajes orgánicos de las comunidades rurales del mundo, ocupa un lugar prominente. La estrategia de las monoculturas basadas en cultivos transgénicos, se ha declarado en contra de los cultivos a pequeña escala, la agricultura biológica, la producción local de alimentos y la autosuficiencia alimentaria basada en especies indígenas. La eliminación de estos modos de producción creados por las culturas locales es el objetivo fundamental de la estrategia de las multinacionales. Se trata de convertir al planeta en su propia realidad virtual: una bóveda geodésica de información y manipulación. Es la representación de la utopía de anexar naturaleza, razas humanas y culturas a un todo uniforme, bajo la jurisdicción del sistema capitalista hegemónico (Baudrillard 2002: 20).

Los paisajes posmodernos del neoliberalismo son complejos estructurados con diferentes tipos de funciones: fabricación a gran escala de productos industriales, tipificados por la intensificación y la escala creciente de los complejos agroindustriales monofuncionales, orientados y regulados por los mercados internacionales; producción a gran escala de artículos de consumo a la carta con un amplio espectro de funciones: alimentos, viviendas, lugares de esparcimiento, áreas naturales de conservación, áreas para la venta de servicios ambientales, etc. El paisaje, como un gran almacén de todos los artículos de consumo deseados por la sociedad (Vos y Meekes 1999: 6).

Su fiel representación, a nivel de los paisajes, son las meggranjas productoras de alimentos orgánicos creadas por el

capitalismo industrial, miles de hectáreas de un solo cultivo abarcando el horizonte, y que se enlazan a los grandes complejos comerciales dedicados a la venta de productos orgánicos, para satisfacer las demandas de consumidores dispuestos a pagar sobrepagos por alimentos sanos, en los Estados Unidos o en Europa, y que son a menudo propiedades de las mismas corporaciones que monopolizan la industria de los alimentos en el mundo.

Queda, sin embargo, una opción diferente a la que pretende imponer el sistema hegemónico por la vía de sus paisajes monofuncionales: la de la reversibilidad poética de los acontecimientos, la de la creación de un destino poético (Baudrillard 1992: 181). Esta opción se basa en la posibilidad de generar nuevos territorios existenciales, donde la biosfera, la sociosfera y la tecnosfera puedan ser constructivamente articulados (Naveh 1995: 53). Se trata de la posibilidad de dar lugar a nuevas combinaciones entre lo orgánico, lo cultural y lo tecnocientífico que se reflejen en paisajes autopoéticos (del griego autopoiesis: autoproducidos, autorenovados y autoorganizados). Tales paisajes constituyen una metáfora para diseñar nuevas maneras de alianzas entre lo orgánico y lo artificial, a partir de la construcción de nuevos paisajes que enfatizen las configuraciones bioculturales y que emerjan de las constelaciones de actores de las diferentes culturas del planeta.

Dos hechos permiten explorar sobre bases reales esta posibilidad. El primero es que en una porción todavía considerable de los paisajes orgánicos construidos por las diversas culturas en el mundo, desde las tundras árticas hasta los bosques tropicales, las adaptaciones humanas a los paisajes han logrado conservar sus capacidades de autoorganización

y autoestabilización. Estas interrelaciones han sido, en muchos casos, simbióticas y no antagónicas. Estos paisajes son sistemas dinámicos que cuentan todavía con los potenciales, estructuras y funciones, para transformarse en nuevas fuentes de orden y organización. Al contrario de los paisajes monofuncionales creados por las tecnoestructuras y el mercado capitalistas (en los cuales las escalas de tiempo de los cambios económicos son más cortas que las escalas de tiempo de las adaptaciones ecológicas y las de la recuperación del estrés) estos paisajes culturales son, todavía, capaces de reorganizarse a sí mismos y desarrollar e incrementar su complejidad estructural, su diversidad biológica y su productividad, son aún los almacenes de una proporción considerable de la biodiversidad de la Tierra. Algunos ejemplos, citados por Anderson (2004), bastan para apoyar la viabilidad de esta opción. En Brasil, unos 223,000 agricultores han empleado abonos verdes y cultivos de cobertura de legumbres junto con ganado. Han duplicado, así, los rendimientos del maíz y el trigo, hasta cuatro o cinco toneladas por hectárea. En Guatemala y Honduras, 45,000 agricultores han empleado tecnologías regeneradoras para triplicar los rendimientos del maíz y diversificar sus parcelas montañosas. Más de 300,000 agricultores en el sur y el oeste de la India, cultivan zonas áridas y usan tecnologías altamente eficientes en el uso del agua y el suelo. En Kenia, unos 200,000 agricultores desarrollan programas exitosos de agricultura sostenible y conservación del agua y el suelo. Más de un millón de agricultores en el este y el sureste asiático (Bangladesh, China, India, Indonesia, Malasia, Sri Lanka, Tailandia, Vietnam y Filipinas) están aumentando sus rendimientos en el cultivo de arroz sin la utilización de agroquímicos. En las enormes cordilleras mexicanas, en sus

semidesiertos, en sus desiertos, en sus selvas húmedas y subhúmedas y en sus mares e islas, se almacena todavía una alta proporción de nuestra megadiversidad: especies vegetales, técnicas y saberes de sus poblaciones. Estos tesoros biológicos y culturales, dan bases a las posibilidades de la creación de los paisajes autopoieticos, como sistemas autorregulados y altamente complejos, caracterizados por una creciente efectividad de la información, una alta eficiencia energética y un elevado nivel de orden y organización (Naveh 1987: 80 y 2001: 271).

El otro factor que puede invertir dramáticamente los acontecimientos es la aceleración del tránsito a una fase poscapitalista, ante la incapacidad del sistema hegemónico de afrontar los problemas que hoy amenazan la existencia de la vida en el planeta. El sistema-mundo capitalista se aproxima a su fin, si no fuera por otras razones, por su incapacidad para mantener los ecosistemas de la Tierra y para resolver los problemas de las desigualdades que hoy lo caracterizan (Wallerstein 2002: 63 y 64). Vivimos, en efecto, en el umbral de una nueva revolución de los acontecimientos, de una nueva fase de la historia de la naturaleza humanizada, una etapa poscapitalista, caracterizada por dos hechos de importancia crucial: la reinserción del hombre en la naturaleza (Moscovici 1977: 32) y la reconstrucción de sus paisajes culturales como sistemas autopoieticos (Naveh 2001: 272). Científica, tecnológica y culturalmente la humanidad está en condiciones de arribar ya a esta etapa. Hace falta, sin embargo, superar las barreras que hoy la amenazan con eliminar su ilusión de vivir y todo lo que ella atesora: un origen, un fin, un pasado, un futuro y un destino (Baudrillard 2002: 54).

El hombre como factor hidrológico

Desde el amanecer de su historia, cuando vagaba por las planicies africanas en busca de sus alimentos, hace unos dos millones de años, el hombre ha sido un factor hidrológico, un agente de la naturaleza que ha mantenido una estrecha relación con los sistemas acuáticos de los paisajes en los que ha habitado. Desde que se valió solamente de sus manos, convirtiéndolas en la primera fuente, hasta la construcción de las colosales presas para sustraer y almacenar los flujos de las lluvias y de las corrientes superficiales, en la era de la primera agricultura hidráulica y en las etapas moderna e industrial, el hombre ha intervenido en el ciclo del agua y lo ha logrado adaptar a la satisfacción de los objetivos marcados por su vida material. Las consecuencias de sus intervenciones se han magnificado, conforme sus conocimientos científicos y sus tecnologías han multiplicado y acelerado sus capacidades de apropiación de las aguas dulces del planeta, hasta el punto de cambiar de un modo drástico, durante los tres últimos siglos, los equilibrios gracias a los cuales se sostiene la vida en la Tierra.

Según Carl Sagan, la historia del hombre sobre la Tierra, ocupa en el calendario cósmico tan sólo los últimos minutos del 31 de diciembre, el último día de la creación, en la escala de la evolución de la vida en la Tierra, cuyo 1º de enero se remonta a unos 3,400 millones de años; y es apenas uno entre los aproximadamente 30 millones de especies que habitan y comparten con él la biosfera; sin embargo, se ha apropiado en los últimos 200 años de una parte sustancial del agua dulce, de los productos de la fotosíntesis y de los bienes y servicios de los ecosistemas del planeta. Y ha movilizad

en este breve periodo de su historia en la Tierra, merced a la evolución de sus conocimientos científicos y sus herramientas tecnológicas, montos de energía y materiales que han excedido ya las tasas de los grandes ciclos biogeoquímicos globales. Los efectos de este dominio humano se han reflejado en la alteración de dos componentes estrechamente interconectados de los paisajes de la Tierra: el sistema hidrológico y la cobertura vegetal (V. Vitousek *et al.* 1997: 494).

Hoy la humanidad se ha apropiado del 26% de la evapotranspiración de los ecosistemas terrestres, algo así como 18,200 km³ de un total estimado en 69,600 km³; y del 54% del total de los flujos de agua dulce geográficamente accesibles, aproximadamente unos 6,780 km³ de un volumen total estimado en 12,500 km³ (Postel *et al.* 1996: 786). Para el año 2025 esta apropiación, de acuerdo con las tendencias demográficas y las presiones para producir alimentos y satisfacer otras necesidades básicas, podrá elevarse hasta alcanzar 70%. Cada año, los seres humanos también se adueñan de un monto de materia orgánica equivalente al 40% de la Productividad Primaria Neta presente en los ecosistema terrestres (unos 40.6 billones de toneladas métricas); y los usos del suelo han ocasionado la transformación y, en muchos casos, la degradación y la pérdida del 39 al 50% de la cobertura vegetal del planeta (V. Vitousek *et al.* 1986: 368). Más del 80% de la vegetación de los corredores fluviales de Norteamérica y Europa han desaparecido en los últimos 200 años. Durante el último siglo, el mundo ha perdido la mitad de sus humedales. En los Estados Unidos desaparecen cada año un promedio de 185 mil ha de estos valiosísimos recursos. El 70% de los 139 mayores ríos ubicados en la porción septentrional de la Tierra han sido represados, priván-

dolos de sus funciones ecológicas vitales y de sus servicios ambientales críticos de acarreo de sedimentos, nutrientes y minerales a las planicies de inundación, las zonas costeras y el mar (V. Vitousek *et al.* 1986: 368 y 1997: 495).

Vivimos una época marcada por una crónica, global y extremadamente compleja interrelación entre procesos ecológicos y económicos (Stumm 1986: 206). Las actividades humanas han afectado a los ciclos biogeoquímicos globales produciendo una especie de bombas físicas y químicas de tiempo. Históricamente, estas alteraciones humanas en la calidad del agua pueden resumirse en tres fases que se traslapan: una primera, caracterizada por la contaminación industrial y doméstica, que produce condiciones inaceptables para la vida de los organismos acuáticos: ausencia de oxígeno y la presencia de sustancias tóxicas y microorganismos patógenos. Una segunda fase, tipificada por la introducción de sustancias químicas sintéticas a los cuerpos de agua. Su prolongada permanencia en el ambiente ha significado alteraciones en las funciones de soporte vitales de los ecosistemas acuáticos y una grave amenaza para la salud humana. Una tercera generación de problemas se refiere a las interferencias humanas sobre los ciclos hidrogeoquímicos. Las alteraciones humanas han terminado por afectar los ciclos de los que depende la vida en la Tierra. Estas tres fases resumen una historia marcada por el hidrocidio: el deterioro sistemático de la calidad del agua, y con ello, la pérdida de su capacidad para mantener la salud de los ecosistemas y sus servicios ambientales, indispensables para el sostenimiento de la vida en el planeta.

Las alteraciones antropogénicas del ciclo hidrológico

La apropiación humana de grandes montos de aguas dulces del planeta tiene implicaciones profundas para el mantenimiento de la vida, por sus impactos en los ciclos bioquímicos globales. Los ríos y sus cuencas de drenaje son componentes fundamentales de estos ciclos porque desempeñan una amplia gama de funciones ambientales necesarias para el mantenimiento del sistema terrestre. Especialmente los ríos actúan como lugares de reciclaje de elementos nutrientes y como sistemas de transportes a las zonas de mayor productividad biológica terrestre, costera y marina.

Los sistemas de almacenamiento de agua o cualquier otra obra de infraestructura hidráulica que altere los patrones de flujos, casi de un modo automático producen alteraciones sobre los ciclos biogeoquímicos, que son a menudo drásticas, dependiendo de las dimensiones de la obra de que se trate. Entre la amplia gama de sus efectos adversos para los sistemas fluviales se pueden enumerar: la pérdida de la continuidad fluvial, longitudinal, lateral, vertical y temporal, por las barreras que presentan a los flujos de agua, nutrientes y minerales; cambios drásticos de la estructura y diversidad biótica, por la alteración de los ciclos de nutrientes y de los ciclos de migración de las comunidades vegetales y animales; descensos bruscos de la calidad del agua, por eutrofización, acidificación y contaminación de los depósitos; pérdida de la productividad y diversidad bióticas a lo largo de las rutas de flujos, por los cambios en la temperatura del agua, cuyos incrementos aceleran el metabolismo de las plantas y animales causando desequilibrios en la mineralización y fijación de nutrientes; cambios en el régimen de sedimentación, por

las alteraciones del patrón natural de flujos, eliminación de los flujos de sedimentos, nutrientes y minerales a las zonas costeras, litorales y marinas.

La reducción de las velocidades de los flujos de los ríos por los sistemas de almacenamiento de agua y por obras de derivación, convierten a estas estructuras en trampas de sedimentos que, de otro modo, podrían continuar su ruta hacia las áreas naturales de depósitos del corredor fluvial, las planicies de inundación, las zonas costeras y marinas. De hecho, aguas abajo de estas obras, la carga de sedimentos puede ser tan reducida que el río reduce a cero su función de gran mecanismo de circulación energética (Stanford y Ward 1992: 95, CMR 2000: 11).

Junto con la reducción del volumen de sedimentos se producen cambios en la naturaleza de los sedimentos transportados. El tamaño de los sedimentos tiende a decrecer, cambiando su composición química y mineral. Los cambios en la composición química de los sedimentos también afectan a la composición de las especies. Esto es así porque los sedimentos ricos en nutrientes son necesarios para que las distintas comunidades vegetales se mantengan. Estos cambios alteran la composición de las comunidades vegetales que ocupan los distintos hábitats del sistema fluvial, y río abajo reducen o eliminan especies del corredor fluvial, y finalmente, disminuyen la productividad y la biodiversidad de todo el sistema (Naiman *et al.* 1998: 314).

Los desequilibrios entre masas de aguas fluviales y marinas, y en el régimen de sedimentación, han significado variaciones geomorfológicas importantes de ecosistemas altamente productivos como estuarios, lagunas costeras, deltas, manglares, esteros y planicies de inundación (Gutiérrez-

Estrada 1971: 3). Los cambios en el régimen de flujos han provocado retrocesos de la línea costera hasta en cientos de metros en unas cuantas décadas (Ortiz 1988: 43).

La alteración de los flujos del agua a menudo cambia drásticamente la cobertura vegetal, antes y después de una obra hidráulica. La perturbación de esta cobertura, sobre todo cuando se trata de cambios provocados por grandes obras hidroeléctricas o hidroagrícolas, ha significado a menudo la pérdida de uno de los servicios ambientales de importancia vital de los ríos: la capacidad de la cobertura vegetal de su cuenca de drenaje para asimilar dióxido de carbono (CO_2), eliminando, así, un sumidero natural para el carbono atmosférico. Las inundaciones en el área de las obras, comúnmente implican la inmersión de extensas zonas forestales. Cuando esta materia vegetal se descompone libera carbono y metano a la atmósfera. Adicionalmente, las bacterias que descomponen el carbono orgánico contenido en la carga de sedimentos de los ríos y retenido en los vasos de los almacenamientos, lo convierten a metano, liberándolo también a la atmósfera. Por esta razón, todos los almacenamientos de agua son emisores de estos gases a la atmósfera. Y por sus dimensiones y cantidad, ya se han convertido en una fuente importante de gases de invernadero que propician el calentamiento de la Tierra, ya que contribuyen con 7% del potencial global del calentamiento provocado por los gases de invernadero (Saint Louis *et al.* 2000: 766).

Además, las aguas estancadas y retenidas por las obras de almacenamientos se encuentran frecuentemente alteradas por la incorporación excesiva de nutrientes, producto del uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos, en las zonas que drenan a dichos cuerpos de agua, convirtiéndolo-

los en grandes sumideros de contaminantes. Este proceso, conocido como eutrofización, provoca la proliferación de algas y plantas acuáticas que limitan la oxigenación del cuerpo de agua e impiden el adecuado desarrollo de la fauna acuática (Pringle *et al.* 2000: 810). Pero los sedimentos también acumulan minerales y otros elementos altamente tóxicos, naturales o de origen antropogénico, transportados por las cargas de los ríos. Es el caso del metilmercurio, que se acumula en los tejidos de los peces que logran sobrevivir en las condiciones impuestas por las presas, y que constituyen una fuente importante de alimentación para las poblaciones locales.

La agricultura moderna requiere de altos rendimientos para mantener sus elevadas tasas de ganancias y para hacer rentables los cultivos comerciales en el mercado internacional. Estas presiones del mercado imponen la aplicación de dosis masivas de dichos fertilizantes. Bajo estas circunstancias, se estima que hacia el 2020, la producción global de fertilizantes nitrogenados se incrementará del nivel actual de 80 Tg a 134 Tg al año (1 teragramo = 10^{12} gramos o 1 millón de toneladas métricas). Las consecuencias globales de estos aumentos sobre el ciclo del nitrógeno son ya previsibles, tanto en la atmósfera como en los suelos y los ecosistemas acuáticos.

La vegetación acumula nutrientes de la atmósfera y de las fuentes geológicas, ofreciéndolos a los sistemas fluviales y movilizándolos hacia los hábitats del corredor fluvial y la zona de contacto entre flujos superficiales y los flujos subterráneos. El dosel desempeña funciones vitales de intercepción de los flujos atmosféricos, de retorno a la atmósfera por la vía de la evapotranspiración y de control de la

temperatura proporcionando sombra a los estratos inferiores y al suelo. Los troncos leñosos que caen al canal afectan significativamente a la dinámica de los flujos y con ello a la morfología fluvial, creando áreas de alimentación y refugio para la biota que puebla los distintos hábitats a lo largo del corredor fluvial. La eliminación de la cobertura vegetal perturba profundamente a todos estos procesos (Bisson y Bilby 1992: 388).

Con el establecimiento de la agricultura en sustitución de la cobertura vegetal original, las propiedades de los suelos, ciclaje de nutrientes, conductividad hidráulica, retención de agua y materia orgánica, sostenida por una comunidad de microbios e invertebrados cuya diversidad es más grande que la de la mayoría de las especies que habitan en los ecosistemas terrestres y acuáticos conocidos, se pierden o descienden bruscamente, lo que requiere de altos subsidios de fertilizantes químicos y plaguicidas para sustituir las funciones de su biota. Se elimina así la biodiversidad del suelo y se altera su función vital: el ciclaje de nutrientes. En ecosistemas no manejados, una alta proporción de la oferta de nutrientes resulta de la rotación de la materia orgánica por mediación de los organismos del suelo. Los insumos de nitrógeno se realizan por la vía atmosférica y la fijación biológica, y los productos por la vía de la emisión de gases, pérdidas de solutos y erosión. Con la agricultura, este ciclo es alterado debido a los insumos de los cultivos, la reducción de los nutrientes liberados por la materia orgánica y por las adiciones masivas a través de las prácticas de cultivo (Matson *et al.* 1997: 506).

La sustitución de la cobertura vegetal original por monocultivos comerciales o alimenticios requiere de la utilización masiva de agroquímicos, especialmente fertilizantes para

recuperar la fertilidad perdida por procesos de erosión, así como de herbicidas y plaguicidas para controlar las hierbas y las enfermedades. Los efectos de las descargas de estos contaminantes sobre los flujos superficiales y subterráneos han producido daños catastróficos y de largo alcance sobre los ciclos de nutrientes y la calidad del agua. La ocupación directa de los corredores fluviales por las actividades agropecuarias afectan profundamente el ciclo de nutrientes pero su influencia abarca a todas las áreas críticas de una cuenca: sus zonas de montaña, sus laderas, sus valles, sus corredores fluviales y sus planicies de inundación.

Los efectos de los plaguicidas utilizados en la agricultura sobre el sistema fluvial son de los más graves y persistentes. Cada año se utilizan cerca de 3 mil millones de kilos de plaguicidas en el mundo. En los Estados Unidos se aplican en la agricultura cerca de 500 millones de kg al año de más de 600 clases diferentes. A pesar de ello, la agricultura norteamericana pierde 37% del potencial de sus cultivos. los insectos destruyen 13%, las plantas patógenas el 12% y las hierbas se encargan de acabar con otro 12% (Pimentel 2004: 1).

Así, no obstante que entre mediados del siglo pasado y el presente (1945-2000), se han incrementado diez veces los insecticidas (organoclorados, organofosfatados y carbamatos) utilizados en la agricultura norteamericana, las pérdidas de las cosechas por los daños causados por los insectos se han duplicado en este mismo periodo, pasando de 7 al 13%. Tal es el caso del maíz, el grano en el que más insecticidas se emplean y donde las pérdidas atribuidas a las plagas, aumentaron de 3.5 al 12%, en el periodo que se comenta, muy a pesar del incremento en más de mil veces el monto de insecticidas utilizados (Pimentel 2004: 2).

Otro problema que presenta el uso masivo de plaguicidas es el deterioro de las redes tróficas. En los ecosistemas agrícolas, especies de depredadores y parásitos que atacan a insectos y otros artrópodos dañinos para los cultivos, protegen el crecimiento de las plantas. Estas especies benéficas hacen posible que los cultivos alcancen su madurez. Sin embargo, estas poblaciones de depredadores “benéficos” son eliminadas con la aplicación de los plaguicidas. Se destruye así una cadena esencial de control natural y desaparece un eslabón vital del mantenimiento de la biodiversidad de los ecosistemas. Lo que complica más la situación es que las plagas y otros agentes patógenos así como las malas hierbas parecen haber adquirido resistencias a los plaguicidas, por lo que requieren de dosis crecientes. De las investigaciones más recientes se derivan los datos siguientes: 520 especies de insectos, 150 especies de plantas patógenas y cerca de 273 malezas son ahora resistentes a los plaguicidas (Matson *et al.* 1997: 507, Stuart 2003, citado por Pimentel 2004).

Las enfermedades transmitidas por el agua representan, en nuestros días, 80% de las enfermedades infecciosas en el mundo, y de este total, 90% ocurren en los países pobres (Pimentel *et al.* 1998: 4). Según la información citada por Pimentel y colaboradores, la falta de condiciones sanitarias contribuye a que de aproximadamente 2 mil millones de seres humanos infectados de diarrea, cerca de 4 millones mueran cada año. Hay, sin embargo, otras enfermedades como el cólera, la malaria y la esquistosomiasis, íntimamente ligadas a las alteraciones hidrológicas. La malaria infecta a más de 500 millones de seres humanos al año en el mundo, de los que mueren 2.7 millones. Esta enfermedad asociada con el agua, donde prolifera el mosquito que la transmite,

es controlada con la aplicación de dosis masivas de plaguicidas, que se incrementan a medida que el insecto se vuelve resistente. La esquistosomiasis está asociada también con el agua contaminada y es la causante de un millón de muertes anuales en el mundo. Su origen se debe al incremento de condiciones ambientales favorables, con frecuencia presas, canales y otras obras hidráulicas, para el caracol que transmite esta enfermedad (Pimentel *et al.* 1998: 3).

El envenenamiento por plaguicidas y las enfermedades cancerosas causadas por sus utilizations masivas son los precios más altos pagados en el mundo por los logros de la revolución agrícola de la era de la agricultura industrializada y mecanizada capitalista a base del consumo masivo de agroquímicos. El número total de casos de enfermedades crónicas atribuibles a estas sustancias promedian 300 mil al año en los Estados Unidos, según los datos difundidos por EPA a principios de los años noventa (EPA 1992, citado por Pimentel 1998). En el mundo se reportan 26 millones de casos no fatales. De este total, 3 millones de casos han requerido hospitalización, 750 mil fueron declarados enfermos crónicos y 220 mil resultaron fatales (Richter y Hart 2002 citados por Pimentel 2004). Hay que señalar que un alto porcentaje se trata, probablemente, de trabajadores indocumentados, y de mano de obra infantil y femenina, que no gozan de ninguna clase de protección. En California, por ejemplo, 40% de la mano de obra es infantil, según cifras de Repetto y Baliga (1996). En esta población y en la de mujeres, la contaminación por plaguicidas (organofosfatados y carbamatos) se vuelve especialmente crítica. Estos plaguicidas afectan al sistema nervioso por la inhibición de la colinesterasa. Por su constitución física, los niños son más vulnerables. Y los es-

tudios que se han realizado, reportados por Repetto y Baliga (citados por Pimentel 1998), revelan niveles por abajo de lo normal de colinesterasa en la sangre de los niños examinados. La gravedad de esta situación se acentúa por el hecho de que la contaminación por plaguicidas se mimetiza con enfermedades como la sinusitis, asma, bronquitis, neuralgias, disfunción testicular y esterilidad y diversos tipos de enfermedades cancerígenas en la piel y la sangre.

Ni los efectos directos ni los indirectos de esta contaminación (especialmente la producida por nitratos y plaguicidas de los mantos de aguas subterráneas, utilizados para el consumo humano como agua potable) son identificados apropiadamente por las autoridades sanitarias, especialmente en los países pobres del mundo.

Otros efectos son comunes en las regiones áridas y semiáridas donde se ubican obras de infraestructura hidráulica. El más importante tal vez sea la contaminación por lixiviación de nitratos y plaguicidas organoclorados a los acuíferos. En las regiones donde este problema se ha analizado se han encontrado comúnmente aldicarb, alaclor y antrazina (Carroll 2003). Sin técnicas de manejo adecuadas, los plaguicidas fácilmente van a parar a los cuerpos de agua cercanos a los lugares donde se aplican. Debido a que en muchas áreas agrícolas, sobre todo en las situadas en las regiones desérticas y semidesérticas, los mantos acuíferos son relativamente superficiales, se producen procesos de lixiviación que los contaminan con los agroquímicos empleados en las labores agrícolas en las áreas de riego. El problema se agudiza porque en las aguas subterráneas hay relativamente pocos microbios capaces de degradar estos contaminantes, lo que hace que sus tiempos de residencia sean extremada-

mente largos. Las dimensiones de este problema se magnifican también porque las tasas de recarga de los acuíferos son sumamente lentas, menos de 1% al año, lo que expone a esta clase de contaminación a más de la mitad de la población humana, que vive en esas regiones y que hoy depende de las aguas de los pozos para satisfacer sus necesidades vitales.

El movimiento del nitrógeno disuelto en los flujos de los ríos y otros cuerpos de agua superficiales se ha incrementado unas 20 veces desde los tiempos preindustriales (Vitousek *et al.* 1997: 742). La información, citada por Vitousek y su equipo, así lo confirma. En 1,000 lagos de Noruega los niveles de nitratos se han duplicado en tan sólo una década. En el río Misisipi también se han multiplicado por dos desde 1965. En los mayores ríos de la costa nororiental de los Estados Unidos las concentraciones de nitratos crecieron de 3 a 10 veces en el último siglo. Y la evidencia sugiere una tendencia similar para los ríos europeos y las regiones rurales del mundo donde se practica la agricultura cuya base son los insumos industriales.

También se han detectado concentraciones crecientes de nitratos en los acuíferos subterráneos, especialmente en las regiones de alta intensidad de actividades agrícolas y zonas urbanas densamente pobladas. El mayor problema es el prolongado tiempo que requiere un acuífero para recargarse y de los cuales dependen más de 1,500 millones de seres humanos en el mundo para satisfacer sus necesidades de agua. Los riesgos son mayores para la población infantil porque los microbios en su estómago pueden convertir el nitrato en nitrito. Y cuando son absorbidos en la sangre, ésta se convierte en metaemoglobina. Se ha visto que altos niveles de ésta última producen una clase de anemia conocida como

metaemoglobinemia que puede causar daño cerebral o la muerte (Pimentel 2004: 3, Repetto y Baliga citado por Pimentel 1998: 10).

Las actividades humanas han alterado también el ciclo global del fósforo causando una sobreacumulación en los suelos, los ríos, los lagos, las zonas costeras y marinas en el mundo (Bennett *et al.* 2001: 227). Según las estimaciones de Bennett y colaboradores, los flujos de fósforo de los ecosistemas terrestres y acuáticos se estiman entre 33.5 y 38.5 Tg al año. El total acumulado en los ecosistemas terrestres y acuáticos se calcula entre 10.5 y 15.5 Tg al año, respectivamente, y resultan 75% más que el promedio anual acumulado en la era preindustrial. El monto de fósforo descargado anualmente por los ríos a los océanos del mundo se evalúa en alrededor de 22 Tg. Una alta proporción de esta descarga se debe a los procesos erosivos provocados por las prácticas de usos del suelo, que los hacen más vulnerables a eventos naturales como las tormentas. La contaminación de los ecosistemas acuáticos por fósforo es altamente influenciada por los usos del suelo en las cuencas y por las concentraciones de dicho mineral en estos suelos. A futuro, la demanda de alimentos y las prácticas intensivas de la producción agrícola elevarán sustancialmente el uso de fertilizantes con fósforo.

Así, no solamente se obstruye la función ecológica primordial de los ríos como grandes sistemas transportadores de nutrientes y materia orgánica a los sistemas costeros de vital importancia para el mantenimiento de la capacidad de sustentación del sistema terrestre, sino que los volúmenes de agua descargados al mar son de una pobre calidad y con altos contenidos de sustancias tóxicas que han degradado

ambientes costeros por eutrofización o ambientes marinos por hipoxia.

Las alteraciones humanas de los ciclos geoquímicos del nitrógeno y del fósforo han provocado la sobrefertilización de extensas zonas costeras por las descargas masivas provenientes de las cuencas hidrológicas, y por los descensos bruscos de la productividad de grandes extensiones de las regiones litorales y marinas frente a las desembocaduras de los grandes ríos por el florecimiento nocivo de grandes masas de algas y la falta de oxígeno (hipoxia). Tales efectos globales ya han sido documentados, como es el caso de la gran cuenca del río Misisipi, en los Estados Unidos, uno de los diez ríos más grandes del mundo en término de su capacidad de descarga de aguas dulces y sedimentos continentales. Las concentraciones de nitrato-nitrógeno en los flujos del Misisipi se incrementaron radicalmente a lo largo del siglo pasado y especialmente a partir de la década de los años 1950, conforme se intensificaron las actividades agrícolas en el Alto Misisipi y se incrementaron las descargas urbanas a lo largo del río. En esta última centuria se han cuadruplicado las concentraciones de nitrato descargados por el río al Golfo de México. Este aumento en la descarga de nutrientes ha degradado la calidad del agua y propiciado el crecimiento del fitoplancton y de microalgas, incluyendo alguna especies anóxicas y tóxicas. Esto ha provocado incrementos en la turbidez de las aguas, el agotamiento del oxígeno de las aguas costeras, la pérdida de hábitats, la alteración de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de la plataforma continental adyacente y el decrecimiento de la biodiversidad marina (Rabalais *et al.* 2002:129, Turner y Rabalais 2003: 563, Rabalais *et al.* 2002: 778) .

La eutrofización de los lagos y los ríos causada por el uso excesivo de compuestos con nitrógeno y fósforo es hoy la forma más común de la contaminación de las aguas superficiales en el mundo. En los Estados Unidos, por ejemplo, la eutrofización abarca 50% de sus lagos y 60% de sus ríos y es el más amplio problema de contaminación de sus estuarios (Carpenter *et al.* 1998: 560, Munn y Hamilton 2003: 2).

Pero hay otras alteraciones que son menos conocidas, como el caso de los silicatos (Ittekkot *et al.* 2000: 780). En vastas áreas las zonas marinas y litorales del mundo, la demanda de silicatos por las diatomeas, responsables, en un alto porcentaje, de la producción primaria de estas áreas, se satisface a través de los fenómenos de surgencias, en el que los grandes flujos marinos acarrear nutrientes del fondo marino a la superficie, creando zonas de alta productividad biológica. Sin embargo, esos fenómenos no son la única fuente de silicatos para las diatomeas. En proporción menor, pero igualmente crucial, debemos destacar los que acarrear los ríos hacia el mar. Cuando se construye una presa, esta aportación de los ríos disminuye drásticamente, lo cual ha quedado demostrado en diferentes regiones del mundo, como en el río Danubio y en el Mar Negro (Ittekkot *et al.* 2000: 780).

Todas estas alteraciones en los ciclos biogeoquímicos globales han afectado severamente a los ríos del mundo (Nilsson y Berggren 2000: 783, Petts 1984: 9). De los 139 ríos mayores que se ubican en la porción septentrional del planeta, y que representan el 20% del volumen total de las aguas continentales que descargan al océano, 61% se encuentran entre severamente (42%) y moderadamente (19%) afectados por acciones humanas (Dynesius y Nilsson 1994: 757,

Nilsson y Berggren 2000:784). Entre los años 1950 y 2000, aproximadamente 10,000 km³ de agua (el equivalente a cinco veces el volumen de agua en todos los ríos del mundo o a una capa de agua de 10 cm esparcida sobre las regiones secas del planeta) han sido almacenados en las presas. Hoy se estima que existen en el mundo unas 48,000 grandes presas (con alturas de más de 15 m de cortina y una capacidad de almacenamiento superior a los 350 m³/s) y unas 800 mil de menor tamaño (McCully y Wong 2004: 3). China tiene el mayor número de grandes presas (24,671), seguida por los Estados Unidos (6,375) y la India (401). Estas obras humanas han obstruido cerca de las dos terceras partes de los flujos de aguas dulces que corren por los paisajes terrestres hacia el mar (Nilsson y Berggren 2000: 783).

Estas alteraciones constituyen en nuestros días las mayores amenazas a los sistemas fluviales y a sus contribuciones al sostenimiento de la vida en la Tierra (L' Vovich *et al.* 1995: 235, Snyder *et al.* 2000, Rosenberg *et al.* 2000: 746). Comprenderlas y controlarlas es un reto científico extremadamente complejo que requiere del análisis integrado de factores biofísicos y antropogénicos. Es necesario, por lo tanto, analizar conjuntamente no sólo los procesos hidrológicos en el paisaje sino también el papel del hombre en la modificación de estos procesos (Falkenmark *et al.* 2000: 2, Gordon y Folke 2000: 182).

El paisaje

LOS REINOS DEL PAISAJE

Como seres humanos vivimos no solamente en el espacio físico y concreto de los sistemas naturales del reino de la biosfera, de los que formamos parte con todos los organismos que pueblan la Tierra. La biosfera no sólo es el producto de procesos geoquímicos y biológicos fundamentales, sino también es el resultado de las actividades transformadoras de la especie humana (Vernandsky 1997: 77). Además habitamos en el reino de la noosfera, en un espacio conceptual creado por los sistemas cognitivos de la mente humana (Morin 2001: 111) es decir, formamos parte integral de dos reinos: el de la biosfera, en el cual tenemos requerimientos metabólicos análogos a cualquier otra forma de vida, y el de la noosfera, en el cual nuestras facultades cognitivas nos permiten construir complejos culturales (Simmons 1994: 48).

Somos, al mismo tiempo y de un modo inseparable, seres naturales y culturales, producto de una doble articulación: en los sistemas naturales, biofísicos, y en los sistemas socia-

les humanos, en la cultura. Pertenecemos simultáneamente al mundo biofísico y al mundo de la cultura. Cuando el hombre pudo comunicar a través del lenguaje el contenido de una experiencia subjetiva, acontecimiento único en la biosfera, nació un nuevo reino: el de las ideas. Desde entonces el hombre es el producto de esta simbiosis evolutiva: natural y cultural (Monod 1981: 173).

Como sistemas vivos constituimos una unidad en el espacio físico y biológico, es decir, una unidad topológica y operacionalmente disociable de su medio físico y biótico, somos “una organización autopoietica” (*sensu* Maturana 1974: 162). Como sistemas culturales formamos parte de ecosistemas integrados por ideas, saberes, creencias y mitos, que viven sus propias vidas. La originalidad de la especie humana, los rasgos que definen su identidad entre los demás seres vivos que comparten con él la biosfera y que le otorgan su autonomía como sistema viviente, están dados por esta organización autopoietica y por su capacidad para engendrar su propia noosfera: la esfera de sus comunicaciones, de sus múltiples objetos espirituales, saberes, creencias, mitos, leyendas, ideas, etc. Es a partir de esta doble condición que vivimos y modelamos los paisajes de los que formamos parte.

A través del tiempo, patrones y procesos físico-químicos, biológicos y humanos han modelado la estructura y función de los paisajes terrestres. Los flujos de energía y materiales, que los sostienen; los rasgos biofísicos, que los caracterizan, y los organismos que los habitan, constituyen los productos de estos procesos. Las fuerzas constructivas y denudativas que modelan los paisajes terrestres, operan sin cesar en el tiempo geológico, mientras que las fuerzas humanas, multiplicadas por sus poderosas herramientas tecnológicas, han

alterado, en períodos muy breves, lo que la naturaleza ha modelado en millones de años. Se necesitaron de 300 a 1,000 años para construir una pulgada de suelo fértil. Los manejos inadecuados de la agricultura moderna y/o los cambios de la cobertura vegetal, para obtener ganancias económicas a corto plazo, o para conseguir una magra cosecha para la sobrevivencia, producen pérdidas de toneladas de los suelos superficiales más fértiles, a menudo en un solo evento de una lluvia torrencial, en unas cuantas horas. Los paisajes son los resultados de estas complejas interacciones de la naturaleza y las actividades humanas. Mientras que sus elementos naturales forman parte de la geosfera y de la biosfera, sus elementos culturales son parte de la noosfera.

Los paisajes son los productos de estos reinos externos e internos, visibles e invisibles, y de sus interacciones en el tiempo. Sus estructuras y funciones son controladas por procesos naturales, procesos materiales-ecológicos de origen geosférico y biosférico, y por procesos cognitivos de origen noosférico. Los procesos naturales se transmiten a través de flujos de información biofísica, mientras que los procesos noosféricos fluyen por información cultural (Naveh 2001: 280).

En el reino de la noosfera, un paisaje es una elaboración del cerebro del hombre que organiza interiormente todas las formas del conocimiento humano: científicas, estéticas, éticas, religiosas, míticas. El cerebro humano es un ordenador en el más pleno sentido de la palabra. Es una estructura compleja que designa, jerarquiza, ordena y efectúa el control de las categorías fundamentales de inteligibilidad y su empleo, al interior del sistema cibernético humano. Es el núcleo de todos los sistemas de conocimiento, que gobierna los principios del pensamiento y el corazón de los sistemas

de ideas. Es la síntesis que le permite al ser humano concebir, en su conjunto, toda la multidimensionalidad (natural y cultural) de la realidad humana. El cerebro humano crea un escenario, un paisaje, una secuencia mental, un marco conceptual, que da sentido a todos los acontecimientos de su entorno: físicos, biológicos, estéticos, míticos, mágicos.

En el reino de la noosfera, el paisaje determina, a través de teorías e ideologías, una mentalidad, una visión del mundo. Toda sociedad humana engendra su noosfera, su esfera de cosas del espíritu: saberes, creencias, mitos, leyendas, ideas (Morin 2001: 38).

Esta visión holística del paisaje requiere de una aproximación transdisciplinaria, capaz de construirse en sus múltiples dimensiones: espacial, mental, temporal, relación naturaleza-cultura y complejidad (Tress y Tress 2000: 151, Tress y Tress 2001: 147, Fry 2001: 160, Bastian 2001: 761).

LA MULTIFUNCIONALIDAD DEL PAISAJE

La multifuncionalidad en los paisajes se refiere a los diferentes procesos materiales, biológicos y sociales que se llevan a cabo en la naturaleza y la sociedad y que tienen lugar simultáneamente en el paisaje. Significa la coexistencia de funciones ecológicas, económicas, culturales, históricas y estéticas en el paisaje (Brandt y Vejre 2000: 154, Priego *et al.* 2004: 11)).

Esta multifuncionalidad es una expresión de sus diferentes funciones, ecológicas y culturales. Un paisaje, simultáneamente, controla la circulación de materia y energía en el tiempo y en el espacio, mantiene y dispersa diferentes organismos que dependen de su estructura y funciones ecológi-

cas, y contribuye al sostenimiento y a la reproducción de las sociedades humanas a través de los diferentes usos del suelo, de su cobertura vegetal y de los valores ideológicos que integran la diversidad de visiones del mundo elaboradas por los distintas culturas (Brandt y Vejre 2000: 2).

La multifuncionalidad proporciona los elementos para comprender las propiedades estructurales y funcionales de los paisajes, y hace referencia a las diferentes funciones de estos últimos, vistos como combinaciones concretas y unidades naturales de sistemas ecológicos y culturales. La multifuncionalidad expresa la capacidad de las funciones de un paisaje para regular procesos que permitan mantener o cambiar sus estructuras.

Desde esta perspectiva, la multifuncionalidad es un concepto clave que permite comprender a los paisajes como sistemas vivos, como ecosistemas que pertenecen a una clase especial de sistemas ecológicos interactuantes, cuyos elementos, naturales y culturales, están acoplados por relaciones mutuas, no lineales y cibernéticas (Naveh 2001: 274).

Este enfoque tiene enormes implicaciones para la ciencia y la planificación. En primer lugar, porque plantea el hecho de la imposibilidad de la comprensión del paisaje, como sistema vivo, a través de la organización disciplinaria de la ciencia. El carácter multifuncional de los paisajes requiere necesariamente de una aproximación contextual a su heterogeneidad ecológica y a su diversidad biológica y cultural. Sin una aproximación transdisciplinaria de la ciencia es imposible percibir toda la complejidad y la riqueza de la multifuncionalidad de los paisajes.

Para la planificación, la multifuncionalidad abre caminos nuevos. Permite contemplar a los paisajes como autoorgani-

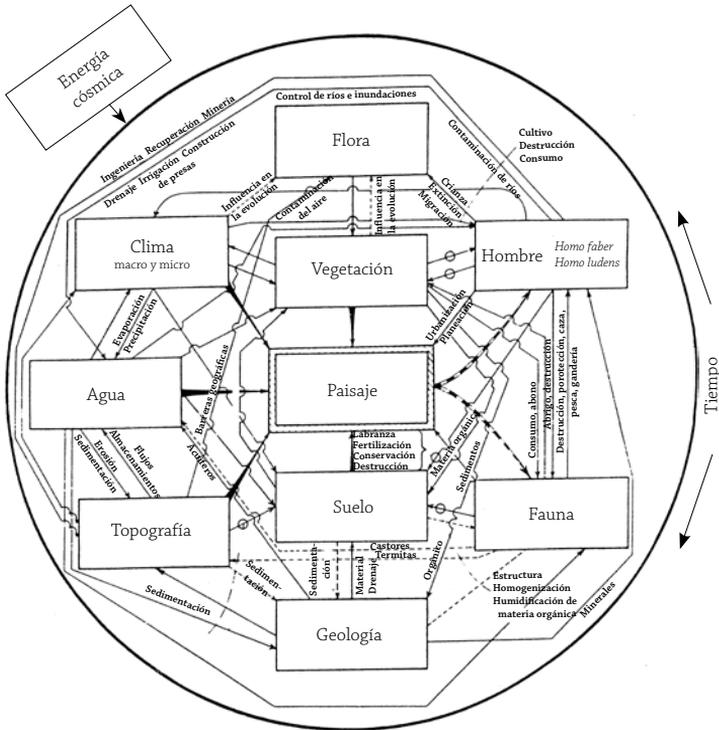
zaciones de sistemas autopoieticos (*sensu* Naveh 1987), capaces de expresar nuevas relaciones simbióticas entre la naturaleza y la sociedad, y diseñar estrategias para la creación de sistemas verdaderamente sostenibles (figura 3).

HACIA UNA APROXIMACIÓN TRANSDISCIPLINARIA

Los paisajes son los almacenes de todas las riquezas naturales y culturales de la Tierra. Así lo comprendieron los fundadores de la ciencia del paisaje como el célebre naturalista Alexander von Humboldt, para quien el paisaje era “la suma total de las características de una región de la superficie terrestre” (Humboldt 1849: 252, citado por Tress y Tress 2000). Carl Troll, uno de los más influyentes investigadores en el campo de la geografía física y el introductor del concepto de ecología del paisaje en la ciencia moderna, comprendió al paisaje geográfico como “una parte de la superficie terrestre con una unidad de espacio que, por su imagen exterior y por la actuación conjunta de sus fenómenos, al igual que las relaciones de posiciones interiores y exteriores, tiene un carácter específico, y que se distingue de otro por fronteras geográficas naturales.” Para Troll, los objetos de un paisaje, por su sustancia geográfica, pertenecen a tres ámbitos que los colocan bajo leyes diferentes: el mundo abiótico, el mundo viviente y el mundo del hombre (Troll 2003: 72).

El paisaje es primariamente una entidad espacial. Tiene una realidad física. Su dimensión espacial-temporal se manifiesta en distintas esferas: abiótica, biótica y artificial. Los componentes abióticos de la geosfera (rocas, suelos, agua, etc.) constituyen el sustrato para el componente biótico, la

FIGURA 3. EL PAISAJE COMO ECOSISTEMA



Fuente: Zonneveld 1994.

biosfera (flora, fauna, seres humanos), a los que se agregan los artefactos, los instrumentos y los medios que la humanidad ha utilizado para modificar su entorno. El espacio es también el marco de todas las formas de pensamiento: mágicas, religiosas, científicas. El espacio provee la estructura

de las interrelaciones que constituyen nuestros pensamientos. Todas las cosas existen en relación con el espacio y el tiempo.

Para la disciplina moderna de la ecología del paisaje se trata de “un sistema complejo formado por la actividad de las rocas, el agua, el aire, las plantas, los animales y el hombre, y que, por sus rasgos fisonómicos, forman una entidad reconocible” (Zonneveld 1989: 68). El paisaje integra todo lo causado por patrones y procesos a lo largo de diferentes escalas espaciales y temporales, lo natural y lo humano (Naveh 1987: 75). El hombre, sus ideas y sus acciones, sus herramientas, son parte integral de este sistema cibernético (Zonneveld 1994: 18). El paisaje es, desde esta visión de la ciencia moderna del paisaje, una entidad creada por el trabajo mutuo de la organización viviente (incluidos los seres humanos) y no viviente (procesos físico-químicos) de la naturaleza sobre una parte reconocible de la superficie terrestre. El patrón de un paisaje es una mezcla de factores naturales y antropogénicos en un espacio dado y es el resultado de complejas interacciones de procesos físicos, biológicos y humanos (Farina 2000: 313).

La ecología del paisaje se propone desde esta visión transdisciplinaria, comprender y describir los paisajes de la Tierra: sus estructuras, sus funciones y sus cambios (Zonneveld 1994: 15, Naveh 2001: 270). Esta aproximación holística ve a los paisajes como unidades multidimensionales integradas por componentes de la geosfera, la biosfera y la noosfera (Tress y Tress 2001: 147). Como resultados de procesos naturales y culturales, los paisajes reflejan la historia de la interacción entre estas diferentes esferas. Esta visión estudia al paisaje como una entidad espacial, mental, tem-

poral, como un nexo entre naturaleza y la cultura humana y, finalmente, como una entidad compleja.

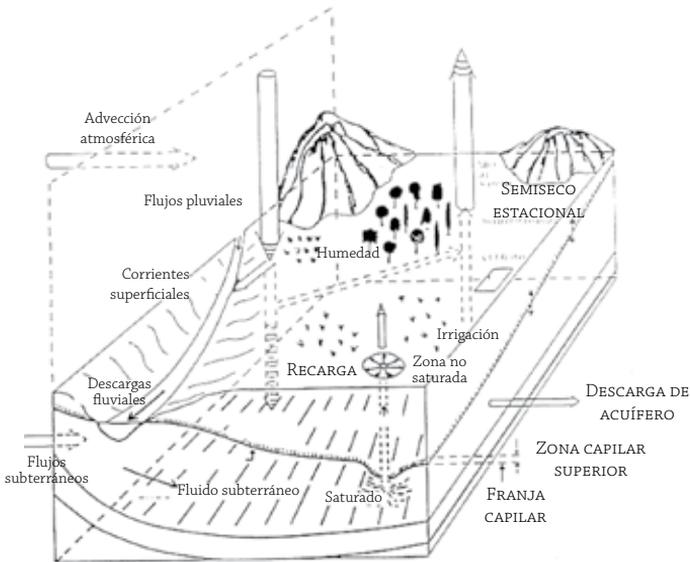
Como espacios físicos e imaginarios, los paisajes son complejos multidimensionales en los cuales ocurren procesos naturales y sociales y pueden ser valorados y representados por signos, significaciones, códigos y conocimientos, mapas, planes, estrategias y políticas. La imaginación de los paisajes es, por ello, el dominio privilegiado por excelencia de la planificación de los paisajes.

Desde esta perspectiva, la ecología del paisaje se ha propuesto crear una base conceptual para la comprensión ecohidrológica de los paisajes de la Tierra, que permita reconocer la interconexión y la interdependencia entre flujos de agua, servicios de los ecosistemas y bienestar humano (Rockström *et al.* 1999: 16). En este marco, se marcha hacia la elaboración de modelos ecohidrológicos de paisajes complejos, que tomen en cuenta la heterogeneidad de las propiedades de la superficie terrestre, los procesos y patrones que las controlan, sus dinámicas de largo plazo y la naturaleza de los efectos de los usos humanos del suelo (Bellman 2000: 76, véase la figura 4).

LAS CIENCIAS FUNDADORAS DE LA ECOLOGÍA DE LOS PAISAJES FLUVIALES

La hidrología, la geomorfología y la ecología han sido las ciencias que pusieron los cimientos teóricos de la comprensión del sistema fluvial y su cuenca de drenaje asociada como paisajes.

FIGURA 4. LOS PAISAJES COMPLEJOS



Fuente: Bolle 1993.

La hidrología

Como ciencia del agua en todas sus manifestaciones (gaseosa, sólida y líquida) la hidrología cubre todo el ciclo hidrológico: el agua sobre, en y bajo los paisajes de la Tierra. La hidrología no solamente incluye al movimiento del agua en la atmósfera, la superficie terrestre y en el subsuelo, sino también una amplia gama de procesos geomorfológicos, geoquí-

micos y biológicos. Tales procesos dependen en una alta proporción de las funciones del ciclo hidrológico.

La hidrología terrestre analiza el estado y la dinámica del agua en la superficie terrestre y la interacción de los procesos hidrológicos con los demás componentes del sistema global del planeta (Dickinson 1991: 176). Estas relaciones cruciales las ha abordado la hidrología a partir de la exploración del papel del agua en el funcionamiento del sistema terrestre global y, en especial, de su subsistema climático.

La hidrología terrestre ha permitido también comprender algunos procesos críticos en torno al sistema fluvial:

- En primer lugar, el esclarecimiento de la fundamental dependencia de los flujos superficiales y subterráneos de las formas terrestres, del sustrato geológico y del escenario climático (Tóth 1963, 1970).
- En segundo lugar, la identificación de la cuenca de drenaje como una unidad fundamental para la comprensión del fenómeno hidrológico, resaltando el hecho de que su configuración depende en una gran medida de su estructura geológica y de su régimen climático (Dunne y Leopold 1978).

La introducción del paisaje como un concepto fundamental para comprender los efectos de las formas terrestres sobre los patrones y procesos de los ecosistemas en los contextos de las cuencas hidrológicas: las influencias de la topografía sobre los flujos de agua, energía y humedad del suelo; la definición de los gradientes gravitacionales de flujos y vías de agua; la influencia de los factores y procesos físicos sobre la estructura y procesos bióticos.

- En tercer lugar, el establecimiento del hecho crítico de que los movimientos del agua, sus diferentes tipos de flujos, y sus interacciones en el espacio y en el tiempo, son los resultados de patrones específicos de las unidades de paisajes en una cuenca hidrológica y, consecuentemente, están estrechamente relacionados con los usos del suelo en la cuenca (Van Buuren 1991: 91).
- Finalmente, esta visión de la cuenca hidrológica ha sido fundamental para el desarrollo de un marco conceptual para la identificación de las unidades del paisaje hidrológico en una cuenca (Winter 2001: 336), poniendo con ello, las bases de una aproximación hidrológica a la planificación regional de los paisajes, a la escala de cuencas y microcuencas (Van Buuren y Kerkstra 1993).

La geomorfología fluvial

Como ciencia que estudia las formas superficiales asociadas al fenómeno hidrológico, la geomorfología fluvial es, esencialmente, una ciencia del paisaje hidrológico (Dunne y Leopold 1978: 493). El énfasis de la geomorfología fluvial se concentra en la acción de los procesos geomorfológicos asociados con la precipitación y los flujos superficiales y subterráneos sobre los paisajes de una cuenca hidrológica.

Horton (1932 y 1945) fue el primero en establecer a la cuenca como la unidad básica del paisaje, desde una perspectiva de sus procesos hidrológicos y sedimentarios. Para este autor una cuenca está estrechamente asociada a su hidrología y a su geomorfología y por ello puede ser clasificada conforme a sus rasgos geomorfológicos, a las características de sus suelos, a las propiedades de su sustrato geológico, a

los rasgos de su cubierta vegetal, natural y cultivada, y a sus ambientes climático-hidrológicos (Horton 1932: 350). Esta estructura puede ser expresada cuantitativamente en términos de órdenes de corrientes, densidad de drenaje, razones de bifurcación y longitud de corrientes (Horton 1945: 277). Este análisis cuantitativo fue reforzado años más tarde por los trabajos de Strahler (1957), sobre el análisis dimensional y de similaridad geométrica entre cuencas. Estos trabajos seminales pusieron las bases del marco conceptual para estudiar y comprender el complejo sistema geomorfológico de las cuencas hidrológicas y sus paisajes fluviales (Petts y Foster 1985: 2).

La capacidad de los flujos para transportar sedimentos, minerales y materia orgánica desde las zonas altas de producción hasta las zonas bajas de almacenamientos, fundamentó la concepción de este ecosistema como dominado ampliamente por procesos biofísicos. Leopold (1964) inició el análisis de una cuenca de drenaje como un conjunto de unidades, geoformas o paisajes, que estructuralmente integran un sistema hidrogeomorfológico o un sistema de cascadas hidrológicas y sedimentarias, con unidades altamente acopladas por un rango de procesos físicos, químicos y biológicos, que no solamente describe el monto de precipitación que alimenta a los flujos superficiales y subterráneos, sino también la calidad de estos flujos: su concentración de iones, la liberación y solución de rocas, minerales y materia orgánica. Fleming (1969) fundamentó la importancia del factor cultural (cambios de usos del suelo), como factor de la producción de sedimentos. Jansen y Painter (1974) propusieron determinar los rendimientos sedimentarios de los sistemas fluviales como efectos de la dinámica de dos

componentes críticos del paisaje fluvial: el clima y la geología. Schumm (1977), desde su perspectiva de los procesos geomorfológicos, propuso la división de un sistema fluvial en zonas de oferta o producción, zonas de transporte y zonas de depósito de sedimentos.

La formación, el funcionamiento y el mantenimiento de los paisajes hidrológicos constituyen los temas cruciales de la geomorfología fluvial. La red de drenaje y el propio sistema fluvial son obras del agua, pero sus paisajes están formados por los sedimentos que transportan y almacenan. El sistema fluvial y su red de drenaje se ajustan en tamaño, profundidad y pendiente a los volúmenes y características de los sedimentos que reciben de sus áreas de recarga y que transportan y depositan en sus zonas de descarga. Los incrementos en la amplitud y profundidad de un sistema fluvial en su recorrido, desde las zonas montañosas donde se origina hasta su desembocadura, son productos de los montos de agua que incorpora y de los cambios en los volúmenes y tamaños de sus sedimentos. Agua y sedimentos son así los factores responsables de la construcción de los paisajes de una cuenca hidrológica. El tipo de sedimentos y la carga de sustancias disueltas en el agua que forman estos paisajes dependen en gran medida del sustrato geológico, los procesos formativos del suelo, la vegetación y el régimen climático.

Este marco conceptual permitió desarrollar nuevos campos de investigación interdisciplinaria sobre los efectos de los ciclos geoquímicos globales sobre el hidrosistema fluvial. Gracias a ellos ahora sabemos que tales variaciones afectan al régimen hidrológico y sedimentario de una cuenca de dos maneras: 1) por cambios en la entrada de energía solar y elementos químicos en el régimen de precipitación y en la co-

bertura vegetal y 2) por alteraciones en los controles primarios de la densidad de los ríos de la cuenca: suelos, geología superficial, relieve, clima y vegetación. De igual modo permitió: a) caracterizar a un sistema fluvial como un mecanismo de oferta, transporte y almacenamiento de sedimentos; b) establecer la importancia ecológica de las áreas de deposición; c) comprender la vulnerabilidad del sistema fluvial respecto de los cambios en los usos del suelo y d) ponderar la importancia de las escalas de tiempo en el comportamiento del sistema geohidrológico. El entendimiento de estas interconexiones amplió de un modo sustancial la comprensión de los procesos y patrones de los paisajes de una cuenca (Leopold 1997: 59).

La biogeomorfología, como una disciplina híbrida que reúne a la ecología y la geomorfología, se ha propuesto el estudio de la influencia de “la agencia orgánica”, las plantas y los animales, sobre los procesos y el desarrollo de las formas terrestres (Viles 1990: 5). Desde la perspectiva de los paisajes fluviales, la propuesta de la biogeomorfología es que la regulación biológica del ciclo hidrológico, permite analizar la alta correlación existente entre patrones de vegetación, geoformas fluviales y procesos hidromorfológicos y que tal correlación puede ser sistemáticamente establecida en el marco de una cuenca hidrológica (Hupp 1990: 218, Mitchell 1990: 290).

LA ECOLOGÍA DE LOS PAISAJES FLUVIALES

Los sistemas fluviales y sus cuencas incorporan todos los ambientes naturales, acuáticos y terrestres, y todos los aspectos de la cultura humana. Por ello, para la ecología flu-

vial, los paisajes de una cuenca son los auténticos integradores y centros de organización de todos los paisajes terrestres (Naiman y Bilby 1998: 1).

La ecología de los paisajes fluviales se propone pensar a los ecosistemas fluviales y sus cuencas de drenaje como paisajes. Investiga cómo están estructurados, cómo funcionan y cómo el patrón de los paisajes, su composición (la clase de elementos que contiene) y su estructura (cómo estos elementos están arreglados en el espacio), afecta a los procesos ecológicos fluviales. Plantea cómo los ecosistemas fluviales están determinados por los procesos físicos y humanos, cómo ambos se combinan en el espacio y el tiempo y cómo han tenido efectos abrumadores, profundos y visibles, sobre los patrones espaciales y temporales de los sistemas fluviales a múltiples escalas. La química, los insumos y la distribución de sedimentos y materia orgánica en el ecosistema fluvial dependen de la composición y estructura de los paisajes terrestres de su cuenca de drenaje. A este nivel, los efectos de los patrones espaciales de los paisajes sobre los procesos ecológicos son visibles por todos lados: lo mismo en la cuenca alta que en los valles y planicies.

Como análisis interdisciplinario, la ecología de los paisajes fluviales integra conceptos como patrón, procesos, jerarquía, escala, direccionalidad y conectividad para derivar relaciones entre estructura y función de los paisajes fluviales. Plantea las ligas entre ecología terrestre y ecología acuática (ecología de los sistemas lóticos) en un contexto espacial, que es la esencia de la ecología de los paisajes (Wiens 2002: 502).

La ecología de los paisajes fluviales considera a los ríos como partes funcionales de los paisajes, conectados por flu-

jos, intercambios de materiales, organismos e información. Esta percepción de los ríos como paisajes ofrece a la ciencia tres variantes: a) el río como un elemento internamente homogéneo, contenido dentro de un amplio paisaje terrestre (su cuenca de drenaje); b) el río como un ecosistema integrado con su paisaje circundante y conectado por una serie de flujos que cruzan sus múltiples fronteras acuáticas y terrestres, longitudinal, lateral y verticalmente; y c) el río como parte de un paisaje que es internamente heterogéneo y que por lo tanto es también un paisaje dentro del ecosistema fluvial.

HACIA UNA VISIÓN ECOHIDROLÓGICA DE LOS PAISAJES

Para entender la dinámica de los paisajes terrestres es preciso tomar en cuenta dos clases de variables: los patrones y procesos biofísicos que los modelan y que controlan tres funciones clave para el sostenimiento de la vida sobre la Tierra: los flujos de energía, los flujos de información y el reciclamiento de nutrientes. Para conocer el comportamiento de un paisaje es esencial comprender cómo se llevan a cabo estos controles, las restricciones que imponen y las interacciones que requieren para mantener las estructuras y procesos de los paisajes en el espacio y el tiempo.

El segundo conjunto de variables se refiere a las perturbaciones y los potenciales de recuperación de los paisajes, especialmente aquéllas directamente asociadas con las actividades humanas, como los cambios en la cobertura vegetal y los usos del suelo, los sistemas de producción de toda clase de bienes y servicios para el sostenimiento de la vida humana y la producción de desechos. Las actividades humanas

influyen sobre los patrones y procesos biofísicos de los paisajes y son recíprocamente influenciadas por estos patrones y procesos. Esta interacción dialéctica hace inseparable a las actividades humanas de los factores que controlan el comportamiento de los paisajes en el espacio y el tiempo (Mateo 1984: 62).

El agua es un componente multifuncional de los paisajes terrestres con funciones vitales paralelas en la naturaleza y las sociedades humanas: como hábitat, como sistema de transporte de energía, materia orgánica y minerales, como factor productivo de biomasa y alimentos, etc., el agua tiene funciones vitales en todas las escalas, desde la celular hasta la planetaria (Falkenmark 1999: 357).

Una comprensión básica de la fundamental interrelación entre sociedades humanas y procesos biofísicos a nivel de los paisajes facilita la comprensión de la extrema complejidad del papel multifuncional del agua en la organización de la vida en la biosfera y permite vincular en un todo los procesos biofísicos y humanos relacionados con el agua dentro de un solo marco conceptual.

Desde esta perspectiva, el análisis de las interacciones, entre procesos hidrológicos, sociedades humanas y paisajes, han tomado a la cuenca hidrológica, a la totalidad del sistema fluvial y su red de drenaje, como unidad fundamental de organización de la biosfera, a partir de las siguientes consideraciones:

1. Los sistemas fluviales integran patrones y procesos de los paisajes terrestres. Sus estados presentes, especialmente sus condiciones biológicas, reflejan las consecuencias de las acciones humanas sobre los paisajes. Son, por ello,

auténticos centinelas de los paisajes de la Tierra (Karr 1998: 503).

2. El paisaje influye sobre los sistemas fluviales y su red de drenaje a través de diferentes procesos y mecanismos y a diferentes escalas espaciales y temporales (Allan y Johnson 1997: 107).
3. El volumen y la calidad del agua necesaria para mantener las funciones y los servicios ambientales vitales dependen de la habilidad del paisaje para coleccionar y mantenerla limpia (O'Neill *et al.* 1997: 514).
4. Las actividades humanas han fragmentado, interferido y perturbado los patrones, las estructuras y los procesos de los sistemas fluviales y sus paisajes, causando en ellos efectos acumulativos, devastadores y potencialmente irreparables (Wissmar y Betschta 1998: 572)

Los paisajes fluviales

Modelados por el agua, el viento y otros factores climáticos, así como por las poderosas fuerzas geológicas agradacionales y degradacionales que operan en la biosfera, los paisajes fluviales son escenarios ambientales sujetos a cambios permanentes. En un ambiente climático dado, la forma, estructura y función de un paisaje fluvial varían dependiendo de las características de la cubierta vegetal, del suelo, del sustrato geológico y de los agentes biofísicos externos e internos (Dunne y Leopold 1964: 3).

Los paisajes fluviales son sistemas naturales complejos, producto de procesos biofísicos en constante ajuste y evolución y caracterizados por respuestas no lineales a los cambios ambientales. Es esta interacción permanente entre los

procesos que los crean lo que determina la naturaleza y las características de los patrones de los paisajes fluviales. Sus patrones espaciales son consecuencia de las interacciones entre sus componentes bióticos y abióticos en diversas escalas temporales (Pérez-Trejo 1993: 96).

En condiciones naturales, los paisajes fluviales permanecen en estados de equilibrio dinámico con sus ambientes climáticos y pedológicos y con su cobertura vegetal, los que actúan para minimizar los desequilibrios provocados por agentes internos y externos. Las respuestas hidrológicas a la elevación, a la pendiente, al tipo de suelos y a la cobertura vegetal son inseparables.

Desde la perspectiva de la influencia del ciclo hidrológico, los paisajes fluviales son sistemas dinámicos y abiertos, que se identifican por el carácter de las interrelaciones entre sus componentes biofísicos mayores (clima, hidrología, topografía, suelos, geología, cobertura vegetal) y el comportamiento de los sistemas fluviales y sus cuencas de drenaje. Son estas interrelaciones entre propiedades a gran escala de los paisajes (clima, hidrología, topografía, suelos, geología, cobertura vegetal) y la conducta de los sistemas fluviales y sus cuencas a diferentes escalas de tiempo, lo que identifica a los paisajes fluviales (Benda 1998: 261).

Desde esta perspectiva, los componentes físicos de un paisaje fluvial son principalmente: el clima, que controla la variabilidad ambiental; la topografía, que crea la variabilidad espacial; la hidrología, que gobierna la estructura de la red de drenaje y los flujos de agua, sedimentos y materia orgánica; el ambiente pedológico, que determina las propiedades y permeabilidad de los suelos; la geohidrología, que gobierna el comportamiento de los acuíferos y la relación entre aguas

superficiales y aguas subterráneas; y la cobertura vegetal que controla, a través del proceso de la evapotranspiración, los flujos atmosféricos en el sistema fluvial.

La precipitación es la fuente del agua superficial y subterránea de un paisaje fluvial. Es el factor primario que controla los cambios en el sistema fluvial y su cuenca de drenaje. Las variaciones temporales en la precipitación crean cambios estacionales y anuales en los flujos que se reflejan en la capacidad del sistema para liberar sedimentos y materia orgánica hacia los distintos hábitats que integran sus paisajes. Los diversos ambientes fluviales son resultados de esta secuencia temporal de flujos y sedimentos transportados por la red de drenaje del sistema. Es el tamaño y la frecuencia de los flujos lo que determina la habilidad del sistema para crear paisajes fluviales.

El segundo componente en el estudio de los paisajes fluviales son los patrones topográficos que caracterizan a un sistema fluvial y su cuenca de drenaje y que crean discontinuidades y variabilidad espacial a la oferta de agua, sedimentos y materia orgánica. Esta heterogeneidad topográfica se encuentra también directamente relacionada con la distribución espacial de las diversas fuentes de erosión de la cuenca de drenaje. En términos del paisaje como sistema, la topografía está representada por la diversidad orográfica y por la diversidad de fuentes de erosión (Benda 1998: 268).

El peso relativo de la distribución del agua en una cuenca es altamente dependiente de los montos de flujos acumulados en las áreas de mayores relieves y el gradiente de la pendiente determina la tasa de flujo hacia las partes bajas. Las áreas de relieves elevados y fuertes pendientes en la parte superior de la cuenca de drenaje, con suelos profundos

de alta permeabilidad, caracterizan a las zonas de recarga. Mientras que las áreas en las zonas bajas, de pendientes suaves y suelos orgánicos altamente saturados, lo son de zonas de descarga. Ambos, topografía y suelos, están fuertemente correlacionados en las respuestas hidrológicas del paisaje.

El tercer componente de un paisaje fluvial está integrado por el patrón jerárquico y arborescente del canal fluvial y su red de drenaje, que controla la oferta de agua, sedimentos y nutrientes del sistema. Su orden jerárquico permite que esta oferta sea modulada a través de la red. Diferentes regímenes de transporte de sedimentos (procesos, frecuencia, magnitud y tamaño de las partículas) se reúnen abruptamente en la confluencia de sus tributarios y dotan al sistema de la capacidad para cambiar la morfología del canal y crear diferentes hábitats en el propio canal y a lo largo, ancho y por abajo del corredor fluvial y la cuenca de drenaje.

Un cuarto componente influye en las características de los paisajes fluviales: la historia geológica del sistema fluvial y su cuenca de drenaje, que gobierna el volumen de sedimentos y la materia orgánica almacenada en las montañas y en los canales del sistema hidrológico en diferentes periodos y que, por lo tanto, influye sobre cómo los sedimentos y la materia orgánica se redistribuyen a través de cada paisaje fluvial.

Eventos climáticos (precipitación, tormentas, inundaciones) y geológicos (temblores, deslizamientos, erupciones, glaciaciones) alteran la distribución de sedimentos, de tal manera que el volumen y la localización del sedimento almacenado en un canal refleja la secuencia de estos eventos a lo largo de días, estaciones, décadas, centurias y milenios. Como resultado, el orden temporal de los eventos climáticos y geológicos y su erosión asociada en la cuenca influye enor-

memente en la respuesta del sistema y controla los ciclos de sedimentación y erosión de las diversas zonas de generación, transporte y depositamiento, desde las montañas a los canales y pisos de los valles.

Así, el volumen y la distribución en el tiempo de la oferta de agua generada en las zonas altas; el volumen, la temporalidad y las características de los sedimentos liberados a los canales de la red de drenaje; la naturaleza de los materiales y de la materia orgánica que fluye a través de la red hidrológica y la historia geológica, son los factores a gran escala que gobiernan los procesos físicos y determinan la morfología de los paisajes fluviales (Church 1992: 126). Los paisajes fluviales son, pues, los resultados de la combinación de múltiples y complejos procesos biofísicos y humanos sobre períodos variables.

Hoy existe una creciente evidencia de que la variabilidad natural de los paisajes fluviales, sus respuestas a las perturbaciones y sus periodos de recuperación, en el espacio y el tiempo, se han reducido drásticamente, por causa de intervenciones humanas.

Aunque los cambios en los paisajes están ligados a la historia misma de la Tierra, las transformaciones en sus estructuras y funciones se han acelerado en la breve historia humana sobre el planeta, a tal punto que hoy las causas naturales y antropogénicas, que a menudo operan a través de los mismos mecanismos y tienen efectos similares que resultan difíciles de separar, se han combinado para producir sobre estas formas terrestres alteraciones profundas en sus funciones y servicios como sistemas ecológicos. Tal es el caso de los ríos y sus cuencas hidrológicas.

La cuenca de drenaje

Una cuenca hidrológica es una de las más fascinantes y eficientes formas de organización de la naturaleza. Una cuenca es una porción de la superficie terrestre que capta agua de las precipitaciones, la retiene en los componentes acuáticos y terrestres de sus paisajes, la libera a la atmósfera a través de la evaporación de sus biomas terrestres y la transpiración de las plantas que integran su cubierta vegetal, y la distribuye a través de su red de drenaje, formada por ríos de diversos órdenes, que, eventualmente, descargan una porción de sus flujos al mar (Petts y Amoros 1996: 13).

La cuenca ha sido desde hace algunas décadas el escenario ambiental privilegiado para comprender cómo interactúa la atmósfera, la superficie de la tierra, la cobertura vegetal y el sustrato geológico, a través de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el comportamiento del fenómeno hidrológico.

Delimitada por un parteaguas topográfico, la cuenca está ocupada por una red de drenaje, su hidrosistema fluvial, que constituye un complejo mecanismo de transporte por el que circulan agua, sedimentos, materiales, minerales y materia orgánica hacia los componentes acuáticos y terrestres de este superorganismo (Lal 2000: 4).

Como sistema ecológico dinámico y abierto, la cuenca depende de insumos, transferencias y productos de masas y energía. La energía solar y la precipitación son los mayores insumos que movilizan a este sistema biofísico. Su mecanismo de transferencia y regulación lo constituyen la cobertura vegetal, los suelos y el sustrato geológico. Sus productos son las aguas superficiales y subterráneas de sus corrientes

y acuíferos, además de las pérdidas por la evapotranspiración en sus biomas.

Como ecosistema, geomorfológica y bióticamente, la cuenca es un mosaico muy complejo de paisajes acuáticos y terrestres estrechamente interconectados, cuyo comportamiento y evolución opera en un amplio rango de escalas espaciales y temporales

Los paisajes de la cuenca

La ecología del paisaje ofrece un marco conceptual para identificar en una cuenca, las unidades del paisaje, sus estructuras y sus funciones.

La estructura de la cuenca determina los patrones de sus paisajes, influenciados especialmente por dos componentes clave: la distribución y las variaciones de la cubierta vegetal y los usos del suelo. Ambos tienen una influencia decisiva sobre los movimientos y la calidad del agua en una cuenca. Por su parte, los patrones de vegetación están influenciados por factores biogeográficos como el clima, la topografía, los suelos y la geología.

Los patrones de usos del suelo están determinados por apropiaciones humanas de la cuenca, las que definen sus paisajes culturales: usos urbanos, agrícolas, comunicaciones, ganadería, silvicultura, actividades extractivas, etc.

Las funciones de la cuenca, sus servicios ecológicos, se refieren al transporte y almacenaje de agua, energía, organismos, sedimentos y otros materiales; el ciclaje y la transformación de elementos químicos básicos y minerales; y la sucesión ecológica a partir de la circulación de grandes cantidades de energía, agua y materiales de ambientes abióticos

hacia los ambientes bióticos de la cuenca y de unas a otras comunidades de organismos.

Estas características funcionales determinan dos grandes tipos de paisajes de la cuenca: los hidrológicos y los culturales.

Los paisajes culturales

Las culturas constituyen los ecosistemas del reino de las ideas y los mitos. Ellas viven sus propias vidas en el reino de la noosfera (Morin 1973: 87). Las culturas, constituidas por el conjunto de hábitos, costumbres, prácticas, saberes, reglas, normas, prohibiciones, tabúes, estrategias, creencias, ideas, valores, mitos, que se reproducen en cada individuo y se perpetúan de generación en generación, dan lugar y reconstruyen la complejidad social. Las culturas acumulan en ellas lo que el hombre ha aprendido, conservado y transmitido, contienen todas las estrategias y programas de acción que le han permitido a la especie humana sobrevivir y adaptarse a su entorno.

El capital humano primigenio es la cultura, su gran tesoro. Pero no es un capital material, sino un capital que proviene de la cabeza (*caput*: cabeza) y se acumula en el cerebro del hombre. Cada cultura concentra en ella un doble capital: de una parte, un capital cognitivo y técnico (prácticas, saberes, reglas); de otra parte, un capital mitológico y ritual (creencias, normas, prohibiciones, valores). Es un capital de memoria y organización, como lo es el patrimonio genético para el individuo. La cultura dispone, como el patrimonio genético, de un lenguaje propio (pero mucho más diversificado) permitiendo la rememorización, la comunicación, la

transmisión de ese capital de individuo a individuo y de generación en generación (Morin 2002:29).

En el reino noosférico del paisaje, hay siempre una relación inestable, permutante, rotativa, dialéctica, entre el pensamiento racional y el pensamiento imaginario, entre la razón y la afectividad. La razón constituye sólo un elemento de este reino: jamás aislada, ella es raramente hegemónica. Las necesidades, los deseos, de una sociedad son elaboraciones simbólicas. No se conoce ninguna organización social en la que sus necesidades materiales, la alimentación, el vestido, la habitación, la salud, obedezcan a consideraciones puramente utilitarias o racionales. Todo lo que representa un paisaje, en términos de estas necesidades, está indisolublemente tejido a lo simbólico. No es que se agote en ello. Los actos reales, individuales o colectivos (el trabajo, el consumo, el amor, el recreo) y los innumerables productos materiales sin los cuales nuestra sociedad no podría vivir ni un instante, no son símbolos. Pero unos y otros son imposibles sin una red simbólica (Castoriadis 1983: 201).

Como construcciones sociales de la realidad, los paisajes culturales son el producto de las interrelaciones entre la ecosfera, la biosfera y la noosfera. Los paisajes culturales expresan el carácter, los modos de estas relaciones, en diferentes contextos de la historia natural de la humanidad. Las formas en que las sociedades humanas han interactuado con sus ambientes para producir paisajes culturales dependen del tiempo, el lugar y los contextos históricos en los que esta interrelación se ha dado. Estructuras sociales, tradiciones, actividades económicas y sistemas políticos han desempeñado un papel crucial en la configuración de los paisajes culturales a todo lo largo de la historia humana (White 2002: 7).

Este hecho plantea de entrada una cuestión crucial en torno a los paisajes culturales: para comprender un paisaje cultural se requiere de algo más que medir, cartografiar y valorar espacialmente sus formas. Es preciso también estudiar cuál es el carácter de las relaciones entre las culturas y los ambientes que lo crearon, cuáles son las significaciones simbólicas que las sociedades dan a los paisajes en los que viven. La percepción humana de un paisaje nunca está, por ello, limitada a los datos biofísicos del ambiente. Para decirlo con palabras del geógrafo Augustin Berque, el paisaje no es el ambiente en sí mismo, sino una cierta interrelación estética con él (Berque 2000: 2 y 4)

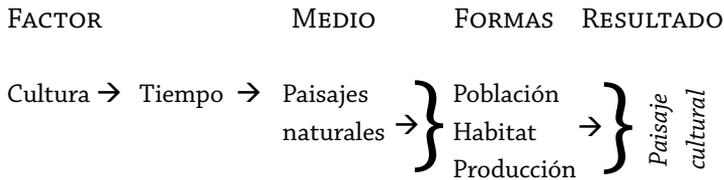
Por ello el análisis de un paisaje requiere de la consideración del significado que una sociedad da al ambiente en el que vive. Y este significado va más allá de lo utilitario del paisaje, de lo racional. El hombre no sólo habita racionalmente su paisaje. Su paisaje satisface una amplia gama de sus necesidades espirituales: él también vive de contemplaciones, de mitos, de música, de poesía. El paisaje satisface estas necesidades por diferentes vías: por las de las relaciones estéticas con la naturaleza; por las de los ritos, ceremonias y cultos; por las de los cantos, las danzas y las fiestas; por las de los espectáculos masivos; por las de los juegos; por las bebidas, sabores, olores y alucinógenos. Cada sociedad define y elabora su imagen del paisaje, del mundo natural y del universo ideológico en el que vive.

La complejidad y la multidimensionalidad de los paisajes culturales han requerido de ejercicios transdisciplinarios que han reunido a distintas disciplinas, especialmente la geografía, la ecología y la antropología, en un esfuerzo por desarrollar estrategias metodológicas y marcos conceptua-

les nuevos para abordar el estudio de los paisajes y explorar sus potenciales para la planificación social.

HACIA UNA TEORÍA ECOLÓGICA DE LOS PAISAJES CULTURALES

Carl Sauer (1925), uno de los fundadores de la escuela de Berkeley de la biogeografía y la geografía cultural, y pionero del análisis morfológico de los paisajes culturales, consideró a los paisajes como áreas geográficas hechas de distintas asociaciones de formas, físicas y culturales. Para él, los paisajes culturales son los productos finales de las actividades humanas sobre los paisajes (*Chore*). El hombre es, según Sauer, el más importante factor morfológico de los paisajes terrestres. Las culturas han sido los agentes de esta transformación, los paisajes naturales los medios y los paisajes culturales los resultados. Estos últimos son modelados desde los paisajes naturales por las culturas de los hombres. Bajo la influencia de una cultura dada, también cambiante a través del tiempo, el paisaje se desarrolla, pasa a través de diferentes etapas, y probablemente, alcanza las fases finales de su transformación (Sauer 1925: 343). Mediante un esquema simplificado, Sauer plantea este proceso de construcción de los paisajes culturales:



Fuente: Sauer 1925: 188.

Es así, que para Sauer, cada población humana, en distintas etapas de su historia, ha necesitado evaluar el potencial económico del lugar donde habita, para organizar su vida con lo que el ambiente le ofrece, en términos de los conocimientos de que dispone y de sus valores. En esta valoración cultural de su medio ambiente, desencadena una deformación de sus paisajes prístinos o prehumanos, a medida que incrementa la magnitud de la ocupación, por el aumento de la población y de sus conocimientos. El estudio de los paisajes culturales, se propone, por lo tanto, comprender el proceso de la apropiación, hábitat por hábitat, resultante de la expansión de las diferentes culturas humanas en todo el *oikoumene* (Sauer 1956: 49).

Para Troll (1937), fundador de la ecología de los paisajes, los paisajes culturales (paisajes agrícolas y de asentamientos) expresan las posibilidades que la naturaleza ofrece al hombre, quien tiene que buscar, bajo la óptica de la ecología del paisaje, la manera de aprovechar las posibilidades ecológico-paisajísticas, las que dependen de condiciones sociales, económicas, psicológicas y políticas, que reconocidamente están sujetas a una transformación histórica continua. Esta búsqueda ha creado los paisajes culturales (Troll 2004: 81).

Sobre estas bases conceptuales y categorías de análisis, naturaleza, cultura y paisajes, se ha edificado una teoría ecológica de los paisajes culturales. Los planteamientos, abundantes en los últimos años, han dependido de las diferentes escuelas de la ecología de los paisajes. Algunos de sus principios básicos son los siguientes:

1. Los paisajes son sistemas holísticos y dinámicos que consisten de la interacción entre la geosfera, la biosfera y la

noosfera. Son las interacciones entre estas dimensiones las que caracterizan a un paisaje. Solamente cuando estos sistemas se combinan es cuando se puede comprender a un paisaje. Esta codependencia es la liga más importante entre ciencias naturales y humanas en la investigación paisajística. Sin embargo, la división entre estas dos grandes ramas de la ciencia ha prevalecido en el mundo científico y académico de nuestros días. Éste es el más serio obstáculo a la comprensión de los paisajes (Tress *et al.* 2001: 140).

2. Los paisajes son sistemas vivos, ecosistemas, que pertenecen a una clase especial de sistemas ecológicos y culturales interactuantes, cuyos elementos se acoplan por relaciones mutuas, no lineales y cibernéticas. Son sistemas autopoieticos (Naveh 2000: 274). A partir de la biocibernética, la teoría de la regulación de los sistemas ecológicos y biológicos, y de la termodinámica, la teoría sobre los flujos de la energía y el análisis de la entropía, la teoría ecológica de los paisajes discute la complejidad de las relaciones e interacciones entre sistemas humanos y paisajes. Esto permite establecer que ciertas funciones de los paisajes, como las de regulación, producción y soporte, se encuentran estrechamente relacionadas con la regulación biocibernética de autoestabilización, organización, orden negentrópico e información (Naveh 1987: 82). La cuestión crucial es saber si estos paisajes, ahora expuestos a una creciente degradación neotecnológica, y a poderosas fuerzas económicas desestabilizadoras, pueden todavía autoregularse a partir de principios de planificación capaces de entenderlos como sistemas disipativos y autopoieticos.

Como sistemas vivos, los paisajes pueden caracterizarse por tres rasgos principales: patrón, estructura y procesos. El patrón simboliza el orden general de las interrelaciones entre los elementos del sistema y es válido para todos los paisajes. La estructura, por contraste, representa a un paisaje particular, es la manera en que se expresa el patrón general en un paisaje específico. Los procesos expresan los mecanismos a través de los cuales un sistema puede iniciar un cambio de un estado a otro. Un paisaje permanece estructuralmente estable, pero puede ser recreado en cualquier momento por procesos continuos de intercambio de energía, materia e información. Esta característica define a los paisajes como sistemas autopoieticos con estructuras disipativas (Tress y Tress 2001: 150).

3. Como una unidad de la superficie terrestre construida por procesos naturales y culturales, el paisaje es una entidad espacial y mental, que posee una dimensión temporal y que resulta un nexo de la naturaleza y la cultura (Tress y Tress 2001: 147). Como entidad espacial, el paisaje tiene una realidad palpable, y los seres humanos, como partes de la biosfera, forman parte de esta realidad físico-material. Y como creadores de la noosfera, los seres humanos construyen los paisajes. Como creadores, los seres humanos influyen sobre sus condiciones materiales, forman y organizan sus ambientes. Como seres capaces de reflejar sus pensamientos en el paisaje, los seres humanos tienen la habilidad de concebirse dentro y fuera de los paisajes: recrearlos conceptualmente. Desde una perspectiva temporal, el paisaje no es estático. Sus cambios y desarrollos están intrínsecamente ligados al tiempo. Sus escalas temporales son múltiples: geológicas, biológicas

y humanas, y no pueden tratarse de la misma manera. Es esencial tomar en cuenta estas diferencias de escalas al analizar la dinámica temporal de los paisajes.

Por lo anterior, el paisaje resulta un sistema complejo y dinámico que incluye a los subsistemas geo-bio-noosférico, sus expresiones y comportamientos en el tiempo. Visto como un sistema, el paisaje se define por las características de las interrelaciones entre los subsistemas que lo componen, y por el comportamiento del sistema global y no solamente por el de cada una de sus partes. Cada subsistema puede examinarse por separado, pero sólo cuando se analizan las combinaciones entre los subsistemas que lo integran, y los efectos de estas combinaciones sobre el comportamiento del sistema global, es que se puede considerar que se trata de un paisaje como tal. Este todo tiene distintas cualidades y un nivel de complejidad mayor que cada una de los subsistemas que lo integran. Los paisajes son suprasistemas jerárquicamente ordenados, estructural y funcionalmente, con subsistemas constituidos por la geo-bio-noosfera.

Como instrumento para el análisis de sistemas socioambientales complejos (*sensu* Leff 1986: 358), el paisaje brinda un marco conceptual, capaz de integrar valores culturales, productividad ecológica y el progreso tecnológico, como procesos articulados.

LA COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS PAISAJES CULTURALES

La ecología y la ecología de los paisajes, como ciencias básicas, han realizado aportaciones fundamentales para la com-

presión de la complejidad estructural y funcional de los paisajes culturales.

Desde estas perspectivas, un paisaje se encuentra jerárquicamente organizado en unidades (ecotopos *sensu* Zonneveld 1994) que forman su base estructural. Las sucesivas agregaciones de estas unidades (mesocoros, macrocoros y megacoros) establecen la complejidad estructural de un paisaje, en tanto que su complejidad funcional está íntimamente vinculada a la gama de sus funciones ecológicas. Un paisaje es un sistema sometido a estados de sucesión ecológica que le dan la flexibilidad para alcanzar estados de equilibrios dinámicos mediante la integración, la organización y los desarrollos de sus diferentes escenarios climáticos (microclimas y climas regionales) de sus flujos de agua (atmosféricos, superficiales y subterráneos) y de su cobertura vegetal. A través del paisaje fluyen la energía solar, los gases atmosféricos, el agua y las sustancias nutritivas. Mediante la sucesión un paisaje construye su apertura con su entorno, sus sistemas de almacenamiento, su diversidad y sus mecanismos de autorregulación. El paisaje es un sistema que depende de tres propiedades primarias: resiliencia, productividad y organización (Rapport *et al.* 1998: 6).

Como un sistema dinámico y abierto, un paisaje mantiene su homeostasis, su capacidad de retornar a niveles funcionales de los que ha sido desplazado por alguna perturbación externa, de origen natural o antropogénico, mediante una alta organización de sus estructuras, funciones y flujos. Sus redes de flujos energéticos y de materiales constituyen la base de sus sistemas de autorregulación. Como un sistema abierto, regula sus influjos y descargas controlándose a sí mismo contra las perturbaciones y recuperando su

equilibrio. Sus procesos sucesionales construyen almacenes energéticos, agua, sedimentos, materia orgánica y iones, bancos de germoplasma y semillas necesarios para su reproducción, que operan en circuitos de retroalimentación y reducen los efectos de las fluctuaciones adversas (Ferguson 1994: 388).

La perturbación juega un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento de un paisaje. Es el factor principal que da forma al paisaje y sus componentes. Se la define como todo evento discreto a lo largo del tiempo que modifica a un paisaje: a sus ecosistemas, sus comunidades y las estructuras de sus poblaciones. De tal modo que cada paisaje está formado, mantenido y/o cambiado por los factores, naturales o antropogénicos, que lo perturban. Las alteraciones controlan, así, la dinámica del paisaje y actúan en todas sus escalas espacio-temporales. Puede producirse por dos tipos de factores: abióticos, como los flujos de energía, el agua, el viento, procesos geológicos, etc., y por actividades humanas, como la agricultura, la ganadería, los usos forestales y los asentamientos humanos.

La importancia de la perturbación reside en que afecta a dos atributos cruciales de los paisajes: su fragilidad y su resiliencia (Farina 2000: 314). La fragilidad se refiere a la susceptibilidad del paisaje para experimentar cambios en su composición y estructura como resultado de una perturbación. Su valor resulta por tanto crucial para analizar las variaciones en la diversidad de un paisaje cultural y para valorar su estado de salud. La resiliencia es la capacidad del paisaje para recuperarse, para retornar a un estado original o para alcanzar un nuevo equilibrio, después de un transtorno. Es un concepto también clave porque permite conocer la

vulnerabilidad del paisaje ante un desorden provocado por agentes biofísicos o por actividades humanas.

Estos conceptos básicos de la ecología del paisaje juegan un papel destacado por el hecho de que en los modernos paisajes tecnoindustriales, las perturbaciones por actividades humanas están guiadas exclusivamente por consideraciones económicas, que no toman en cuenta los procesos ecológicos. Al ignorar esto se rompen los circuitos de retroalimentación entre estructuras y funciones ecológicas de los paisajes, volviéndolos más homogéneos y, por lo tanto, más frágiles y vulnerables.

El hecho es que en diversas regiones en el mundo, las interrelaciones entre la actividad humana y su entorno han creado patrones ecológicos, culturales y mecanismos de retroalimentación que gobiernan la presencia, la distribución y la abundancia del conjunto de especies. La biodiversidad que todavía existe en el planeta se concentra en estos paisajes culturales. Ello es así porque el alto valor de la biodiversidad depende grandemente de la combinación de regímenes de perturbaciones, humanas y naturales, y de la posibilidad de la existencia de un amplio espectro de recursos disponibles. Éste es el valor estratégico inmenso de los paisajes culturales de la Tierra. De la capacidad humana para controlar sus perturbaciones depende, en gran medida, que sean una opción viable a la de los paisajes monofuncionales del capitalismo en su fase neoliberal y posmoderna.

LA SALUD DE LOS PAISAJES CULTURALES: UNA METÁFORA PARA INTEGRAR METAS SOCIALES Y PROCESOS BIOFÍSICOS

El planteamiento de un marco conceptual basado en la metáfora de la salud de los paisajes culturales ofrece una nueva posibilidad de reconciliar procesos biofísicos y valores sociales a nivel de los paisajes (Rapport *et al.* 1998: 2).

Los valores que se reflejan en los paisajes culturales determinan el sistema de valores que guía el uso social del paisaje. La cosmovisión de una comunidad, sus principios filosóficos, éticos, morales y emocionales a escala individual, familiar y comunitaria, expresan y conforman la base de su relación con el paisaje. La valoración de sus propiedades ecológicas intrínsecas (valores alimenticios, materiales de construcción de bienes y artefactos, medicamentos, etc.) y los valores sociales que las comunidades asignan a los componentes del paisaje, permiten describir al paisaje como un producto cultural.

La salud de un paisaje depende entonces de dos factores críticos. El primero de ellos es la capacidad de sus ecosistemas para proveer de una colección de bienes y servicios materiales y no materiales a las diferentes comunidades de organismos que lo habitan, incluidas las sociedades humanas, que les garanticen su sostenimiento a largo plazo. El segundo es la habilidad del sistema social para sostener la estructura y función de un paisaje en forma dinámica y estable en el tiempo, permitiendo el balance entre sus componentes biofísicos y culturales, manteniendo su integridad biofísica y social, y conservando la habilidad del sistema paisajístico para proveer de bienes y

servicios de los ecosistemas a los organismos y a los seres humanos que los pueblan.

En esencia, un paisaje saludable es aquél que logra mantener los sistemas de autorregulación de sus estructuras biofísicas y sus procesos funcionales, que conserva sus características primarias de organización: los sistemas de autorregulación de sus estructuras y funciones biofísicas, sus procesos sucesionales y su alta capacidad para mantener los bienes y servicios de sus ecosistemas.

Se trata de un complejo trabajo de planificación que empieza por comprender las más sutiles lecciones de esta organización de la naturaleza y la sociedad, para dar paso a la tarea central de la planificación de los paisajes: imaginar una relación constructiva en el seno de sistemas paisajísticos disipativos, capaces de evolucionar sin riesgos de desastres naturales y antropogénicos irreparables, manteniendo su diversidad ecológica y sus funciones creativas de bienes y servicios ambientales, y sosteniendo actividades humanas que sean capaces de promover la colaboración con los ecosistemas (Bertollo 2001: 357).

La esencia de este planteamiento radica en que la sociedad ejerza un autocontrol sobre sus propias acciones en el paisaje de tal modo que favorezca y no interfiera con los servicios ambientales que prestan sus ecosistemas. No se trata de ningún control o manejo humano sobre tales bienes y servicios, de ningún manejo o control antrópico de los ecosistemas, ni de hacer de estos servicios ambientales mecanismos generadores de beneficios económicos. Sus valores vitales y sociales están lejos del mercado. De lo que se trata es de planificar las actividades humanas de acuerdo con los principios biofísicos que regulan la estructura y

función de los paisajes, de tal modo que se puedan mantener los servicios ambientales que garanticen una alta calidad de vida de todas las comunidades que las habitan, no sólo de las humanas.

LA PLANIFICACIÓN DE LOS PAISAJES MULTIDIMENSIONALES

¿Cómo percibir lo contextual, lo global, lo multidimensional, la complejidad, de nuestra realidad? ¿Con qué instrumentos enfrentar la tarea de comprenderla y dialogar con ella? Necesitamos, ante todo, promover un conocimiento capaz de comprender como un todo articulado los procesos biofísicos fundamentales que sostienen la vida e inscribirlos en los conocimientos parciales y locales, con la finalidad de crear nuevos modelos de vida que nos permitan enfrentar con alguna probabilidad de éxito el entendimiento de la complejidad que nos presenta nuestra realidad.

Ante esta necesidad vital la ecología del paisaje se presenta como una opción para pensar en los problemas de la naturaleza y la sociedad y, en especial, en torno a los problemas de uno de los elementos vitales: el agua.

En esencia, la planificación del paisaje es un proceso orientado a regular las transformaciones que se dan en dichos espacios, en los procesos de generación y ejecución de estrategias de usos múltiples, basadas en la resiliencia de sus ecosistemas y en la armonización de las interrelaciones entre las poblaciones y su medio ambiente, en el contexto de los paisajes culturales. El principal reto en esta planificación es diseñar estrategias que permitan la articulación óptima de patrones estructurales de los paisajes, capaces de mante-

ner sus funciones ecológicas, y cuyos usos múltiples sean, a un tiempo, compatibles con estas estructuras y funciones. En esta planificación, el paisaje se reconoce como una interfase entre los procesos biofísicos y los sociales y su principal atributo es su dimensión espacial. A partir de la ecología de los paisajes, la planificación trata a estos últimos como entidades espaciales totales y como entidades funcionales de sistemas naturales y culturales (Van Langevelde 1994: 36, Lefebvre 1974: 404).

En la planificación del paisaje la sociedad incluye a la naturaleza y la naturaleza incluye a la sociedad. Su lenguaje es el de eco-sistemas y eco-organizaciones sociales y considera al paisaje como un solo sistema en toda su complejidad histórica de organización articuladora del campo y la ciudad. Para la ecología del paisaje, ciudad y campo no solamente constituyen “un medio urbano” y un “medio rural”, son dos tipos de ecosistemas que se oponen, se diferencian y se complementan, particularmente por el fuerte componente artificial del primero y el marcado componente natural del segundo.

En el contexto de los paisajes culturales, la interrelación entre las poblaciones y su medio ambiente, toma en cuenta las tres dimensiones espaciales de los paisajes: espacios físicos, espacios de representación y espacios imaginarios (Lefebvre 1974: 19). El espacio físico es el lugar donde ocurren los procesos naturales y sociales. Pueden ser cuantificados por parámetros tales como superficie, volumen, dirección, patrón, forma, distancia y posición. Los espacios de representación e imaginación son las significaciones que la población da a sus paisajes. La representación del espacio comprende todos los signos y significaciones, códigos y conocimientos,

acumulados por una cultura, en las prácticas espaciales de la población que la constituyen. La propia planificación, como ejercicio transdisciplinario, tiene distintas representaciones espaciales de los paisajes, de acuerdo con cada disciplina. Los espacios imaginarios son invenciones de nuevos significados o posibilidades de prácticas espaciales, y en la práctica de la planificación, pueden expresarse en códigos, signo y planes. La imaginación de los espacios es, por lo tanto, el dominio por esencia de la planificación de los paisajes (Van Langevelde 1994: 36).

Como una interfase entre procesos biofísicos y sociales, el paisaje refleja la historia del diálogo entre las poblaciones y su medio ambiente. Por este diálogo, el planificador debe conocer qué estructura del paisaje, o qué configuración de sus ecosistemas, garantiza el mantenimiento de los requisitos básicos de la vida: el sostenimiento y aún el incremento de la biodiversidad, la conservación de los flujos y la calidad del agua, la retención de los suelos, la calidad del aire, la belleza escénica, la seguridad alimentaria y el bienestar de la población, entre otros objetivos. Por este diálogo, el planificador, y el conjunto de la población, deberán responder a la pregunta fundamental: ¿cómo queremos vivir?

La planificación del paisaje es un área relativamente nueva de la ecología. Y en los años recientes, uno de sus intereses se ha centrado en la elaboración de modelos hidroecológicos para el análisis de paisajes complejos, que tomen en cuenta la heterogeneidad de las propiedades de la superficie terrestre y las consecuencias de las actividades antropogénicas sobre los paisajes (IGBP 1991: 22).

UNA APROXIMACIÓN HIDROLÓGICA A LA PLANIFICACIÓN DE LOS PAISAJES

Los paisajes hidrológicos

En los años recientes el marco conceptual de paisaje hidrológico ha orientado algunas de las investigaciones a nivel de planificación de los recursos acuáticos en diferentes escalas. El concepto de paisaje hidrológico se basa en el supuesto de que ciertos patrones comunes de los flujos de aguas superficiales y subterráneos, de los intercambios entre ellos y con los flujos atmosféricos, pueden caracterizar diferentes paisajes, los paisajes hidrológicos, a nivel de una cuenca. Paisajes con características fisiográficas, geológicas y climáticas similares tendrán comportamientos semejantes de sus flujos de agua (Winter 2001:341).

Un marco conceptual para el análisis de los paisajes hidrológicos considera al sistema hidrológico completo: el movimiento del agua tanto en la superficie como en el subsuelo, la interconexión entre ambos flujos, y cómo son afectados por el clima. En suma: se trata de saber cómo funciona el sistema hidrológico en los distintos paisajes de una cuenca y cómo dicho sistema define los rasgos que caracterizan a sus distintos paisajes.

Una unidad fundamental de paisaje hidrológico está determinada por tres factores críticos: 1) la fisiografía, que permite cuantificar los efectos de la gravedad sobre el movimiento del agua a través de un paisaje; 2) la geología, que permite estimar la permeabilidad del suelo y del sustrato geológico, y los procesos que afectan a los flujos superficiales, la infiltración y los flujos subterráneos; y 3) el escenario

climático. Los tres determinan los movimientos del agua en un paisaje hidrológico: sus flujos superficiales, subterráneos y atmosféricos.

Los flujos superficiales guardan una relación estrecha con la pendiente del terreno: serán más rápidos en áreas de mayor pendiente y sus tasas con respecto a la infiltración dependerán de la permeabilidad de los suelos y de los sustratos rocosos superficiales. Estas características fisiográficas tienen profundas implicaciones tanto sobre la naturaleza de las corrientes superficiales como sobre las recargas de los acuíferos.

Las características geológicas de un paisaje hidrológico constituyen otro factor que afecta la longitud, las dimensiones y las vías de los flujos del agua subterránea. A gran escala (flujos y acuíferos regionales) los diferentes tipos de sustratos geológicos determinan las configuraciones y longitudes de los flujos y de las vías de agua en el subsuelo. El movimiento del agua y los procesos geoquímicos interactúan en el suelo y el sustrato rocoso y difieren sustancialmente entre diferentes tipos de unidades geológicas. A pequeña escala (acuíferos locales y cuerpos de agua superficiales, como manantiales y pantanos) las variaciones en el sustrato geológico se manifiestan en diferentes permeabilidades que actúan sobre la distribución de la filtración hacia las áreas de recarga. El agua subterránea interactúa con la superficial en prácticamente todos los paisajes, desde pequeños torrentes hasta grandes valles fluviales (Winter 1999: 28).

Un tercer factor determina la naturaleza de un paisaje hidrológico: el clima. El intercambio del agua con la atmósfera afecta profundamente el movimiento del agua. La precipitación y la evapotranspiración regulan la distribución, el tiem-

po, la magnitud de los flujos superficiales y subterráneos, la recarga y descarga de los acuíferos. Como resultado, los dos procesos, la precipitación y la evapotranspiración, junto con los controles geológicos en la distribución de la infiltración, pueden causar condiciones diferentes de flujos, haciéndolos extremadamente variables.

Los flujos atmosféricos, los flujos superficiales y los flujos subterráneos, junto con las conexiones que los caracterizan, constituyen los componentes básicos del sistema hidrológico que definen a los paisajes hidrológicos de una cuenca, cuya caracterización incluye: 1) la fisiografía (hipsometría, relieve y pendiente); 2) la estructura geológica (propiedades hidráulicas de las diferentes unidades) y 3) el escenario climático.

El concepto de estructura hidrológica del paisaje

La planificación y el diseño de los paisajes multifuncionales también se han enriquecido con los aportes de los enfoques basados en el análisis de su estructura hidrológica y que se conoce como la aproximación hidrológica a la planificación de los paisajes (Van Buuren y Kerkstra 1993: 222).

El ciclo hidrológico determina las relaciones entre los componentes específicos de un paisaje (Van Buuren 1991: 120). Los flujos del agua, por lo tanto, proporcionan una base fundamental para comprender el comportamiento, el carácter de las relaciones entre los atributos estructurales y funcionales de un paisaje.

La estructura hidrológica de los paisajes

Para la ecología del paisaje el estudio de las relaciones entre los atributos y los elementos del paisaje constituye un tema central (Zonneveld 1994: 17). Este análisis se concentra en dos dimensiones clave: vertical (o topológica) y horizontal (o corológica). Desde esta perspectiva, una comprensión de los flujos de energía, materiales e información, y sus interacciones dentro y entre los componentes del paisaje es esencial porque permite saber cómo trabajan estos componentes; cómo y qué partes de un paisaje están conectadas o relativamente aisladas unas de las otras; y cuál es el carácter de sus interacciones en el sistema total de un paisaje (Toth 1999).

A nivel de los paisajes hidrológicos, el movimiento del agua, sus flujos superficiales y subterráneos, es el fenómeno más importante que crea estas relaciones entre los componentes estructurales y funcionales en estos paisajes. De allí la importancia crucial del factor hidrológico en la planificación de paisajes en los contextos de una cuenca (Van Buuren y Kerkstra 1993: 220).

Los flujos del agua transportan materia, energía y organismos a través de los componentes de los paisajes de una cuenca hidrológica. Los flujos subterráneos y superficiales junto con los procesos físicos y químicos que los caracterizan determinan el carácter de las relaciones entre las diferentes partes de un paisaje. Flujos y procesos establecen el tipo de patrones específicos entre las unidades del paisaje en una cuenca hidrológica y definen lo que se conoce como la estructura hidrológica de un paisaje (Van Buuren y Kerkstra 1993: 222 y 223). Y su conocimiento constituye la base de lo

que Van Buuren (1991) y Van Buuren y Kerkstra (1993) ha llamado una aproximación hidrológica a la planificación de los paisajes, la cual tiene tres componentes principales:

1. Una descripción de la estructura hidrológica del paisaje;
2. un análisis de los cambios en los usos del suelo y su relación con la estructura hidrológica;
3. una asignación planificada de los usos del suelo en cada unidad del paisaje, conforme a su estructura hidrológica.

La descripción de la estructura hidrológica de un paisaje, las características básicas de sus flujos superficiales y subterráneos, sus zonas de infiltración y exfiltración, sus zonas de inundación, sus fronteras, ofrecen una comprensión fundamental de sus patrones hidrológicos, de cómo trabajan los flujos en el paisaje y qué clases de relaciones se establecen entre sus diferentes unidades. En términos de planificación el conocimiento de las relaciones entre zonas de infiltración y exfiltración es fundamental.

El análisis de las relaciones entre la estructura hidrológica y los usos del suelo es el segundo paso crucial en esta aproximación metodológica. Se trata de desarrollar una reconstrucción histórica de estos vínculos y una caracterización de la situación presente. Se propone conocer los cambios en el uso del suelo y sus efectos sobre los patrones hidrológicos, a nivel de los patrones de drenaje de los flujos superficiales y de los patrones de flujos subterráneos, así como de los efectos de estos cambios sobre la calidad del agua.

La planificación de los paisajes, basada en la estructura hidrológica y sus usos apropiados del suelo, es el tercer paso. Se pone énfasis especialmente en la creación de condiciones

ambientales para la recuperación y el mantenimiento de los gradientes de humedad y las condiciones hidrogeoquímicas naturales de los ecosistemas; en la delimitación de áreas naturales de alta productividad, susceptibles de ser usadas y sostenerse con la participación activa de las comunidades locales; la conservación de una alta calidad del agua, en el marco de programas de usos múltiples; y la localización de áreas muy vulnerables, que requieran programas especiales de protección. Se trata de promover usos verdaderamente sostenibles de los paisajes hidrológicos.

*Hacia una
nueva visión*

La imaginación, decía el pensador francés Gastón Bachelard, es la facultad de formar imágenes que sobrepasan la realidad, que cantan la realidad. Es una facultad de sobrehumanidad. La imaginación inventa algo más que cosas y dramas, inventa la vida nueva, inventa el espíritu nuevo; abre ojos que tienen nuevos tipos de visión (Bachelard 1997: 31). En la eterna lucha de la inventiva humana por comprender los procesos físicos, por encontrar una conexión entre el mundo de las ideas y el de los fenómenos, la imaginación, afirmaba Albert Einstein, es más importante que el conocimiento (Einstein e Infeld 2004: 5, Torres: 10).

Una sociedad define su identidad, su articulación con el mundo, sus relaciones con su entorno natural, con el universo en el que vive; e identifica sus necesidades y sus deseos, a través de significaciones que no se desprenden solamente de lo racional, sino también, y principalmente, de lo imaginario (Castoriadis 1983: 258 y 1988: 149).

Hoy, como nunca, tenemos la necesidad de soñar e imaginar materialmente nuestros sueños. La imaginación ma-

terial es, según Bachelard, una física de la imaginación. Es una imaginación que se liga por entero a la materia. Su geografía es su método de soñar las sustancias primordiales de la vida: el Aire, el Agua, la Tierra.

Es la imaginación material la que nos permite participar en la construcción de los paisajes terrestres, inicialmente como elaboraciones del cerebro donde se organizan todas las formas del conocimiento humano: científicas, estéticas, éticas, religiosas, míticas. Es esta imaginación la que permite al ser humano concebir, en su conjunto, hacer la síntesis, de toda la multidimensionalidad natural y cultural de los paisajes terrestres.

Frente al gran desafío de comprender y estudiar el sistema socioecológico, el socio-eco-sistema, que habitamos, la imaginación material es una herramienta clave en nuestro quehacer científico y de planificadores. Nuestro mundo, nuestra realidad, es un sistema dinámico, cuya conducta está influenciada por las interacciones entre tres grandes reinos: la geosfera, la biosfera y la noosfera. Todo el sistema que habitamos está basado en la codependencia de estos tres dominios de nuestra realidad. Los tres se influyen mutuamente y los tres determinan el comportamiento de este sistema total.

Nuestro mayor reto, entonces, es pensar nuestra realidad a partir de una ciencia capaz de describir conjuntamente la creatividad humana y la de los sistemas naturales de los que formamos parte.

Necesitamos de una visión unitaria, que rompa con la dicotomía entre lo humano y lo natural; que nos permita una mejor comprensión del tiempo, como factor de la transición entre lo vivo y lo no-vivo, que nos haga entender que el uni-

verso, nuestro planeta y sus ecosistemas, que incluyen a la especie humana, evolucionan juntos; y que esta transformación nos ha hecho posibles. Y que, por consiguiente, hay una solidaridad entre los procesos biofísicos y los humanos.

Inmersos en esta realidad compleja, no podemos ignorar un rasgo que la caracteriza: la organización física y viviente a la que estamos integrados comporta intrínsecamente competencias, desórdenes, conflictos e incertidumbres. El hecho es que este rasgo favorece y no contradice su desarrollo. Un eco-socio-sistema, sin este rasgo, no puede organizarse. Esta gigantesca máquina biofísica tolera, rechaza, integra y utiliza en su favor las competencias, los desórdenes, los conflictos y las incertidumbres que lo afectan. Como ya lo decían Darwin y Marx, la vida es lucha, competencia e incertidumbre.

Por ello tenemos que partir de una visión que integre los reinos que constituyen nuestra realidad y que considere, al mismo tiempo, sus efectos y sus influencias mutuas. Adoptar esta visión es asumir, consciente y deliberadamente, nuestra doble condición de seres naturales, biofísicos, miembros de ecosistemas altamente organizados, inestables, caóticos, inciertos, dinámicos y complejos; y de seres culturales, profundamente enraizados en nuestros ecosistemas (Palang *et al.* 2000: 85). Estamos, como dice el pensador francés Edgar Morin, en y somos parte de un solo sistema natural humanizado (Morin 2001: 211).

Vivimos, nos dice también Morin, en el reino de la complejidad. Habitamos en él y no podemos abandonarlo. Lo complejo, lo que está trenzado conjuntamente, constituye un tejido estrechamente unido, aunque los hilos que lo constituyen sean extremadamente diversos. En efecto, la com-

plejidad biofísica y cultural del eco-socio-sistema del que formamos parte es una diversidad organizada (Naveh 1997: 1). No se puede concebir dentro de él a un solo elemento o subsistema independiente de sus interconexiones con los otros elementos o subsistemas. Tales interconexiones participan de su definición interna y de su comportamiento en el espacio y en el tiempo. La realidad antropológica de los sistemas naturales nos ata indisolublemente al problema de la complejidad física, biológica y cultural del reino de lo complejo y al pensamiento sobre su complejidad. La realidad biofísica de los sistemas culturales nos plantean el problema complejo de la vida, el pensamiento complejo sobre la vida y nos sumerge en ella (Morin 2002: 412 y 415).

Nuestro tiempo, afirma el científico Ilya Prigogine, es el de la unidad del hombre con los ecosistemas que describe: al describirlos y al conocerlos nos describimos y nos conocemos a nosotros mismos. Prigogine plantea que la ciencia es un ejemplo único de diálogo fructífero entre el hombre y la naturaleza (Prigogine 1994: 99 y 1997: 65). Dialogar con la naturaleza significa comprender los acontecimientos biofísicos y sociales que han construido el camino de la vida. Dialogar significa examinar, con una visión paleontológica, los patrones de la historia de la vida en la Tierra. Esta visión no tiene nada que ver con la concepción determinista que norma los modelos de manejo generados por la ciencia occidental y con los modelos culturales occidentales que culminan en la historia humana como la expresión más alta de la vida y en el establecimiento de la especie humana como la dominante del planeta.

Este diálogo se propone entender y colaborar con la naturaleza y no controlarla o manejarla. Navokov, el científico

del grupo de Bruselas, plantea que “aquello que puede ser controlado, jamás es totalmente real, y lo que es real jamás puede ser rigurosamente controlado”. No se trata de manejar los ecosistemas, como pretenden los científicos y planificadores al servicio de los intereses del sistema hegemónico, quienes hoy nos hablan del capital natural, de la valorización por el mercado de los servicios de los ecosistemas, de la necesidad de crear un mercado del agua y de otros bienes terrenales indispensables para la vida en nuestro planeta. ¡Qué lejos están estas propuestas neoliberales de los planteamientos de uno de los grandes precursores de la economía ecológica, Nicholas Georgescu-Roegen, para quien el fin último de la economía no era producir bienes materiales sino contribuir a la creación de un bien inmaterial: la felicidad humana!

El científico rumano se interrogaba sobre la finalidad de la economía, preguntándose: ¿Cuál es la razón de ser de los procesos económicos? La respuesta es que “el producto” de los procesos económicos no es un flujo físico que genera desechos, sino un bien inmaterial: el goce, el placer, el júbilo, la alegría de vivir (*enjoyment of life*)...sin el reconocimiento de este hecho y sin la introducción del concepto de alegría de vivir, *joie de vivre*, en nuestro instrumental analítico no estaremos jamás en el mundo de la economía. Ni podremos descubrir nunca la fuente real del valor económico, que es el valor que la vida tiene para cada ser vivo (Georgescu-Roegen 1971: 282).

Por ello, una de las tareas más urgentes de la comunidad científica es, sin duda, repensar nuestra ciencia, nuestras maneras de hacer ciencia, la organización disciplinaria de nuestras instituciones académicas y científicas. No sola-

mente porque nuestra ciencia es incompleta para afrontar los retos que nos ofrece esta realidad multidimensional en la que vivimos, sino porque la complejidad del mundo real y sus problemas se encuentran en un profundo contraste con la organización disciplinaria de la ciencia (Tress *et al.* 2001: 137).

El examen de los diferentes aspectos de nuestra realidad: geológica, biológica, histórica, social, económica, estética y psicológica, bajo una visión disciplinaria no resulta apropiada para comprenderla y mucho menos para manejarla. Nuestra ciencia estudia el mundo natural con base en un marco conceptual desarrollado esencialmente por la matemática newtoniana, la filosofía cartesiana y el método científico baconiano. Basadas en esta ciencia, nuestras estrategias de apropiación y dominación de la naturaleza, de manejo de sus recursos, son lineales y determinísticas. Esta visión nos ha llevado a los extremos perversos de considerar a la naturaleza, a los seres humanos y su trabajo, a sus más elaboradas creaciones materiales y espirituales, como mercancías valorizadas por el mercado. René Dubos nos lo advertía hace algunos años, teniendo como tema de reflexión a la ciencia y a las utopías, frente a una obra de Don Francisco de Goya y Lucientes: el sueño de la razón produce monstruos (Dubos 1996: 20).

Hay, sin embargo, en germen, otra ciencia. Una ciencia que parte de la premisa de que nuestro conocimiento de la realidad es siempre incompleto. Que las conductas de los sistemas que estudiamos poseen un alto grado de incertidumbre. Que en el proceso del conocimiento de esta realidad las sorpresas son inevitables (Holling 1986: 294, 1994: 70).

Esta ciencia promueve un cambio profundo de nuestras estructuras de pensamiento marcado por el rechazo a la disección, la fragmentación y el análisis parcial, a favor de un

enfoque que promueve la integración, la conectividad, la síntesis y la complementación; y por la introducción de la duda respecto de la indisputable objetividad, veracidad y certeza del conocimiento científico que caracteriza a nuestra cultura occidental, a favor del reconocimiento de los límites de este conocimiento, de la necesidad de introducir en el análisis un punto de vista contextual de la realidad y de la conveniencia de tratar con los altos grados de incertidumbre que nos presentan procesos no lineales, indeterminados y caóticos. Nos plantea que el futuro no está dado. Que vivimos, como nos dice reiteradamente Prigogine, el fin de las certidumbres, para dar paso a una era de posibilidades, donde el devenir de nuestra realidad es la condición *sine qua non* de nuestro diálogo con la naturaleza.

Probablemente el mayor logro de la revolución científica que significan estos planteamientos es el de promover una nueva visión basada en el análisis de las propiedades auto-organizativas de los sistemas y de su evolución hacia estados de no equilibrio, conocidos como “estructuras disipativas”. Como opuestas a aquéllas en equilibrio, tales estructuras se mantienen y estabilizan solamente por el intercambio permanente de materia/energía y entropía con su entorno. Estas estructuras disipan el desorden (la entropía) como parte del continuo intercambio de energía con su ambiente. Con su ayuda, los sistemas mantienen su no equilibrio interno y éste, a su turno, mantiene los procesos de intercambio con su ambiente. Dichas estructuras crean orden a través de las fluctuaciones, produciendo negentropía dentro del propio sistema (Naveh 1987: 80 y 2000: 21).

Esta capacidad de generar negentropía de los sistemas a través de sus estructuras disipativas podría ser las propie-

dades de las sociedades verdaderamente sustentables: alta efectividad de la información, alta eficiencia energética, aumento de la flexibilidad y de la creatividad, mayor complejidad estructural y organizacional.

El hecho es que la reducción de la producción natural y de los mecanismos de protección de las funciones vitales de los ecosistemas, a través de los usos humanos, incrementan las tasas de producción de entropía y desorden y, paralelamente, reducen las tasas de orden negentrópico y de información acumulada. Esto impide su autoorganización y sus capacidades de autoestabilización. Digamos que imposibilita sus funcionamientos sostenibles.

¿Podremos invertir estas tendencias y evolucionar hacia sistemas autoadaptativos, sostenibles, de la vida en la Tierra? ¿Seremos capaces de construir y habitar un sistema natural humanizado, capaz de renovarse constantemente, de negar y rehacer toda institución humana, tecnológica, política, económica o cultural, que implique la destrucción de los fundamentos de la vida? ¿Seremos capaces de vivir en un sistema que jamás será estable, pero que no cese de reconstruirse, como una aproximación, siempre rehecha, a ese estado? ¿Lograremos, al fin, habitar, jubilosamente, un sistema que le permita a cada uno de sus miembros el acceso a la información, al saber y a la posibilidad de la decisión, engendrada por las elecciones éticas de sus miembros y no por la imposición totalitaria de quienes manipulan sus estructuras de poder político y económico? ¿Podremos, algún día, experimentar el júbilo, el goce, la alegría de vivir, en el seno de paisajes modelados por el hombre con una pasión estética y como productos de una ciencia capaz de establecer un verdadero y fructuoso diálogo con la naturaleza? ¿Sere-

mos capaces, para decirlo con palabras de Edgar Morin, de habitar, algún día, poéticamente la Tierra?

Inventar al hombre es, según palabras de Pierre Dansereau, inventar al porvenir. E inventar el porvenir es inventar nuevas formas de vida a partir de la comprensión de nuestros paisajes (Dansereau 1994:78). La imaginación de los paisajes es, por ello, el dominio por excelencia de la planificación de los paisajes, esto es, de la planificación del futuro.

Anexo estadístico

CUADRO 1. SUPERFICIE MUNDIAL AFECTADA POR LA
DEGRADACIÓN HUMANA EN REGIONES SECAS

Uso de la tierra	Superficie (10 ⁶ ha)	% del total de áreas secas
Cultivo irrigado	43	0.8
Cultivo de temporal	216	4.1
Ganadería	757	14.6
Total	1,016	19.5

Fuente: UNEP 1991.

CUADRO 2. SELVA TROPICAL HÚMEDA Y
TASA DE DEFORESTACIÓN

Región	Area (10 ⁶ ha)	Tasa de deforestación (10 ⁶ ha/añual)
África central	204.10	1.08
África tropical meridional	100.46	0.84
África occidental	55.60	0.53
Asia del Sur	63.90	0.50
Sudeste asiático	210.60	2.80
México	45.60	0.59
Centroamérica	19.50	0.36
Brasil	561.10	3.42
Región andina y Paraguay	241.80	2.25
Total	1,505.7	12.37

Nota: Faminow (1998) total estimado TRF en 1756.3 Mha y tasa de deforestación en 15.4 Mha/añual.

Fuente: modificado de WRI 1996, Southgate 1998, Faminow 1998.

CUADRO 3. ESCURRIMIENTOS Y CARGA DE SEDIMENTOS EN
LOS MAYORES RÍOS DEL MUNDO

Río	Área de drenaje (10 ⁶ km ²)	Escorrimento (km ³ /año)	Carga de sedimentos (10 ⁶ ton/año)
Amazonas	6.2	6,300	900
Danubio	0.8	206	67
Ganges	1.5	971	1,670
Irrawaddy	0.4	428	265
Magdalena	0.2	237	220
Mekong	0.8	470	160
Misisipi	3.3	580	210
Niger	1.2	192	40
Ob	2.5	385	16
Orinoco	1.0	1,100	210
Yangtze	1.9	900	478
Amarillo	0.8	49	1,080
Yenisei	2.58	560	13
Zaire	3.8	1,250	43

Fuentes: Milman y Meade 1983, Van der Leeden *et al.* 1994.

CUADRO 4. SUPERFICIES ÁRIDAS POR REGIONES
DEL MUNDO

Región	Superficie (10 ⁶ ha)	% del total de las regiones áridas
África	1,689	34.8
Asia	1,596	32.9
Australasia	612	12.6
Europa	116	2.4
Norte América	504	10.4
Sudamérica	335	6.9
Total ^a	4,852	100

a El total del área árida del mundo es el 37.3% de la superficie de la Tierra.
Fuente: UNEP. 1992.

CUADRO 5. EXTENSIÓN GLOBAL DE LA DEGRADACIÓN FUERTE Y EXTREMA DEL SUELO

Proceso de degradación	Área bajo degradación fuerte y extrema (10 ⁶ ha)	% del total específico de la degradación ^a
Acuática	224	20.5
Eólica	26	4.7
Química	43	18.0
Física	12	14.5
Total	305	15.5 ^b

^a La degradación global específica se refiere a la degradación estimada total (suave, moderada, fuerte y extrema) por procesos específicos.

^b La degradación total global del suelo = 1965 x 10⁶ha.

Fuente: calculado a partir de Oldeman 1994.

CUADRO 6. DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE

Parámetro	1995	2050 ^a
Población (billones)	5.7	9.8
Población afectada por escasez de agua (millones)	166	1,700
Población afectada por estrés de agua (millones)	270	2,300
Países afectados por escasez de agua	18	39
Países afectados por estrés de agua	11	15

^a Proyecciones de población.

Fuente: modificado de Garner-Outlaw y Engelman 1997.

CUADRO 7. TIERRA ARABLE *PER CAPITA* DEL MUNDO

Año	Población mundial (10 ⁶)	Tierra arable	Tierra <i>per capita</i>
1977	4,000	1,311	0.33
1980	4,447	1,332	0.30
1985	4,854	1,348	0.28
1990	5,282	1,357	0.26
1995	5,687	1,362	0.24
1998	6,000	1,362	0.22
2010	7,000	1,335 ^a	0.19
2025	8,000	1,295 ^a	0.16
2050	9,400	1,243 ^a	0.13
2100	11,000	1,168 ^a	0.10

^a La tierra arable proyectada considera un decrecimiento de 2, 3, 4 y 6% debido a la degradación del suelo y a la conversión a usos no agrícolas.

Fuente: calculado a partir de FAO (1996) y otras fuentes.

Bibliografía

-
- Adams, R.M. 1955. Etapas de desarrollo en la Antigua Mesopotamia. En: J.H. Steward, R.M.Adams, D. Collier, A. Palerm, K.A. Wittfogel y R.L. Beals. *Las civilizaciones antiguas del Viejo Mundo y de América. Symposium sobre las civilizaciones de regadío*. Unión Panamericana. Estudios Monográficos I. Washington, D.C. 82 pp.
- Allan, J.D. y L.B. Johnson. 1997. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystem. *Freshwater Biology* 37: 107-111.
- Altieri, M. 2001. Los impactos ecológicos de la biotecnología agrícola. Asuntos críticos de la biotecnología. *Aibs*. Actionbioscience.org. 5 pp.
- . 1998. The Environmental Risks of Transgenic Crops: an Agroecological Assessment. Department on Environmental Science, Politic and Management. University of California, Berkeley, EE.UU. 4 pp.
- Anderson, L. 2004. La ingeniería genética y la agricultura. Cap. 3: 41-66. En: *Transgénicos. Ingeniería genética, alimentos y nuestro medio ambiente*. Worldwatch Books, EE.UU.
- y A. Sivertun. 1991. A GIS-supported method for detecting the hydrological mosaic and the role of man as a hydrological factor. *Landscape Ecology* 5(2): 107-124.

- Armillas, P. 1993. Jardines en los pantanos (1971). En: T. Rojas Rabiela (comp.). *La agricultura chinampera. Compilación histórica*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Pp. 179-201.
- ATTRA-NCAT. National Sustainable Agriculture Information Service. 2005. Sustainable Soil Management. National Center for Appropriate Technology. Rural Business-Cooperative Service, U.S. Department of Agriculture. EE.UU. s/p.
- Bachelard, G. 1997. *El agua y los sueños*. Tercera reimpresión. Fondo de Cultura Económica, Colección Breviarios 279, México. 294 pp.
- Baker, W. 1995. Longterm response of disturbance landscape to human intervention and global change. *Landscape Ecology* 10(3): 143-159.
- Barnett, A. 1977. *La especie humana*. Fondo de Cultura Económica, Colección Popular 78, México. 409 pp.
- Bastian, O. Landscape ecology—towards a unified discipline? *Landscape Ecology* 16: 757-766.
- Baudrillard, J. 1992. *La ilusión del fin. La huelga de los acontecimientos*. Anagrama, Col. Argumentos, España. 184 pp.
- . 2002. *La ilusión vital*. Siglo XXI de España Editores, Madrid, España. 81 pp.
- Bellmann, K. 2000. Towards to a system analytical and modeling approach for integration of ecological, hydrological, economical and social components of disturbed regions. *Landscape and Urban Planning* 51:75-87.
- Benda, L.E., D.J. Millar, T. Dunne, G.H. Reeves y J.K. Agee. 1998. Dynamic Landscape Systems. En: R.J. Naiman y R.E. Bilby (eds.). *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer. EE.UU. Pp. 261-288.
- Bennett, J.W. 1976. *The Ecological Transition. Cultural Anthropology and Human Adaptation*. Pergamon Press Inc., EE.UU. 355 pp.

- . 1973. Anthropological Contributions to the Cultural Ecology and Management of Water Resources. En: L. Douglas (ed). *Man & Water. The Social Sciences in Management of Water Resources*. The University Press of Kentucky, EE.UU. Pp. 34-81.
- y K.A. Dahlberg. 2003. Institutions, Social Organization, and Cultural Values. 5: 69-86. En: B.L. Turner II, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Mathews y W. B. Meyer (eds.): *The Earth As Transformed by Human Action*. Cambridge University Press. EE.UU.
- Bennett, E.M., S.R. Carpenter y N.F. Caraco. 2001. Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective. *BioScience* 51(3): 227-234.
- Bergström L. y J. Stenström. 1998. Environmental Fate of Chemicals in Soil. *Ambio* 27 (1): 16-23.
- Berque, A. 2000. Landscape and overcoming of modernity – Zong Bin's principle. The Cultural Approach in Geography. EHESS/ CNRS, Paris & Miyagi University, Sendai, Japan. 8 pp.
- Bertollo, P. 2001. Assessing Landscape Health: A Case Study from Northeastern Italy. *Environmental Management* 27(3): 349-365.
- Binford, S.R. y L.R. Binford. 1979. Utensilios de piedra y conducta humana. En : Scientific American. *Biología y cultura*. Seleccion de Scientifican American. H. Blume Ediciones, Madrid, España. Pp. 174-184.
- Bisson, P.A. y R.E. Bilby. 1992. Organic Matter and Trophic Dynamics. En: Naiman y R.E. Bilby (eds.). *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp. 373-398.
- Bocco, G. 1998. Naturaleza y sociedad. Escalas de espacio y tiempo. *Ciencias* 51: 54-59.

- Boehm, B. 2005. Buscando hacer ciencia social. La antropología y la ecología cultural. *Relaciones* 102(XXVI): 63-128. El Colegio de Michoacán, México.
- Boulton, A. J. 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. *Freshwater Biology* 41: 469-479.
- Bourdieu, P. 1998. *Contrafuegos. Reflexiones para servir a la resistencia contra la invasión neoliberal*. Anagrama, Colección Argumentos, Barcelona, España. 153 pp.
- Brandt, J. y H. Vejre. 2000. Multifunctional landscape—motives, concept and perspectives. En: J. Brandt, B. Tress y G. Tress. *Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management*. Conference material for the Conference on “multifunctional landscape”, Centre for Landscape Research, Roskilde, October 18-21, 2000. Publicada en septiembre de 2000. Roskilde, Dinamarca. 263 pp.
- Braudel, F. 1993. *La dinámica del capitalismo*. Fondo de Cultura Económica, Breviarios 427, México. 127 pp.
- . 1979. *Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVe-XVIIIe*. Tome 1. Les structures du quotidien: les possible et l'impossible. Armand Colin, Francia. 543 pp.
- Bronowski, J. 1979. *El ascenso del hombre*. Fondo Educativo Interamericano, México. 448 pp.
- Brown, L. 2002. Construir una eco-economía. Pp.: 11-16. En: Y. A. Beltran. *La Tierra vista desde el cielo*. Lunweg Editores, Barcelona, España. 449 pp.
- Brunet, M., F. Guy, D. Pilbeam, H. Talsso, A. Likius, D. Ahounta, A. Beauvilain, C. Blondel, H. Bocherens, J.R. Boissirie, L. De Bonis, Y. Coppens, J. Dejax, Ch. Denys, Ph. Durringer, V. Eisenmann, G. Fanone, P. Fronty, D. Geraads, Th. Lehman, F. Lihoreau, A. Louchart, A. Mahamat, G. Merceron, G. Mouchelin, O.

- Otero, P. Peláez, M. Ponce de León, J-C. Rage, M. Sapanet, M. Schuster, J. Sudre, P. Tassy, X. Valentin, P. Vignaud, L. Viriot, A. Zazzo y Ch. Zollikofer. 2002. A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature* 418: 145-151.
- Brunke, M. y T. Gonder. 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*. 37: 1-33.
- Burel, F. y J. Baudry. 2001. *Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-Barcelona-México. 353 pp.
- Canetti, E. 1999. *Masa y poder*. Alianza Editorial, Filosofía, Libros de Bolsillo, España. 589 pp.
- Carpenter, S.R., N.F. Caraco, D.L. Corrello, R.W. Howart, A.N. Sharpley y V.H. Smith. 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Issues in Ecology. Ecological Applications* 8(3): 559-568.
- , B. Walter, J.M. Marty Anderies y N. Abel. 2001. From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems* 4: 765-781.
- Carroll, S. 2003. Genetics and the making of *Homo sapiens*. *Nature* 422: 849-857.
- Cassin, E., J. Bottéro y J. Vercoutter. 1974. *Los imperios del antiguo oriente. I. Del paleolítico a la mitad del segundo milenio*. Siglo XXI, Historia Universal, México. 352 pp.
- Casteret, N. 2002. *Lascaux, maravilla del arte rupestre*. Grandes Reportajes: 1948. National Geographic, Edición especial, EE.UU.
- Castoriadis, C. 1988. *Los dominios del hombre: las encrucijadas del laberinto*. Gedisa, Filosofía/Política, España. 246 pp.
- . 1983. *La institución imaginaria de la sociedad. Vol. 1. Marxismo y teoría revolucionaria*. Tusquets, España. 285 pp.

- Cook, C. 1979. El flujo de energía en una sociedad industrial. En: Scientific American: *Biología y cultura. Introducción a la antropología biológica y social*. H. Blume Ediciones, España. Pp. 425-434.
- Costanza, R., J. Cumberland, H. Daly, R. Goodland, R. Norgaard. 1997. *An Introduction to Ecological Economics*. ISSE- Santa Lucie Press. Boca Raton, Florida, EE.UU. 275 pp.
- Cox, C.B. y P. D. Moore. 2005. *Biogeography. An ecological and evolutionary approach*. Séptima edición. Blackwell Publishing, EE.UU. 417 pp.
- Childe, G. (original 1936) 2002. *Los orígenes de la civilización*. Segunda Edición. Fondo de Cultura Económica, Colección Brevariarios 92, México. 333 pp.
- . 1985. *Nacimiento de las civilizaciones orientales*. Tercera edición. Ediciones Península, Barcelona, España. 295 pp.
- . 1961. *De la Préhistoire à l'Histoire*. Gallimard, París, Francia. 363 pp.
- Church, M. 1992. Channel Morphology and Typology. En: P. Callow y G.E. Petts (eds.). *The River Handbook. Hydrological and Ecological Principles*. Blackwell Scientific Publications, EE.UU. Pp. 126-143.
- CMR (Comisión Mundial de Represas). 2000. Represas y Desarrollo. Una síntesis. Informe. 30 pp.
- Dahm, C.N., J.R. Cleverly, J.E. Allred Coonrod, J.R. Thibault, D. E. McDonnell y D.J. Gilroy. 2002. Evapotranspiration at the land/water interface in a semi-arid drainage basin. *Fresh-water Biology* 47: 831-843.
- Dansereau, P. 1994. *L'envers et l'endroit. Le besoin, le désir et la capacité*. Le grandes conférences. Musée de la Civilisation a Québec. Éditions FIDES, Canadá. 89 pp.
- . 1985. Environnement futur: ressources, besoins, désirs et réalités. Colloque du Conseil Consultatif de l'environnement

- sur le bilan et la prospective environnementale québécois. Troisième exposé. Conseil consultatif de l'environnement. Québec, Canadá. Pp. 107-213.
- Darby, H.C. 1956. The Clearing of the Woodland in Europe. Pp.: 183-216. En: W. Thomas (ed.). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago. EE.UU. 1,193 pp.
- Dart, R. A. y D. Craig. 1962. *Aventuras con el eslabón perdido*. Fondo de Cultura Económica, Colección Popular, México. 382 pp.
- Deevey Jr., E. 1960. The Human Population. Pp.: 51- 55. *Reading from Scientific American. Man and Ecosphere*. W.H. Freeman and Co., EE.UU.
- De Lumley, H. 1998. *L'homme premier. Préhistoire, Evolution, Culture*. Editions Odile Jacob, Francia. 247 pp.
- Delsemme, A. 1994. *Les Origines Cosmiques de la Vie*. Flammarion, Francia. 385 pp.
- Dickinson, R.E. 1991. Global change and terrestrial hydrology-a review. *Tellus* 43AB: 176-181.
- Duby, G. 1999. *Economía rural y vida campesina en el Occidente medieval*. Altalaya, España. 546 pp.
- Dubos, R. 1996. *Los sueños de la razón*. Segunda reimpresión. Fondo de Cultura Económica, Breviarios 190, México. 158 pp.
- Dunne, T. y L.B. Leopold. 1978. *Water in Environmental Planning*. W. H. Freeman and Co. EE.UU. 818 pp.
- Dynesius, M. y Ch. Nilsson. 1994. Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science* 266: 753-761.
- Edwards, R.T. 1998. The Hyporheic Zone. En: R.J. Naiman y R. E. Bilby (eds.). *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp: 399-429.
- EPA (Environmental Protección Agency). 2002. *Principles of Watershed Management*. EPA, EE.UU. 20 pp.

- Escobar, A. 1999. After Nature. Steps to an Antiessentialist Political Ecology. *Current Anthropology* 40 (I): 1-30.
- Eijsackers, H. 1998. Soil Quality Assessment in an International Perspective: Generic and Land-use Based Quality Standards. *Ambio* 27(1): 70-77.
- Einstein, A. y L. Infeld. 2004. *La Física, aventura del pensamiento*. Losada, Colección Grandes Pensadores 2, Buenos Aires, Argentina. 288 pp.
- Fairbridge, R.W. 1982. Historia del clima de la Tierra. En: V.V. Belousov, E. Bullen, G.W. Cameron, H. Colbert, F. Chieppi, J.F. Dewey, W.R. Dickinson, S. E. Dwornik, A.E.J. Engel, R.W. Fairbridge, M.F. Glaessner, G. A. Gross, X. Le Pichon, P.T. Molton, S. Fairweather y P.G. 1999. State of environment indicators of 'river health': exploring the metaphor. *Freshwater Biology* 41: 211-220.
- Falkenmark, M. 2000. Competing Freshwater and Ecological Services in the River Basin Perspective. An Expanded Conceptual Framework. *Water International* 25(2): 172-177.
- . 1999. Forward to the Future: A Conceptual Framework for Water Dependence. *Ambio* 28(4): 356-361.
- , C. Folke y L. Gordon. 2000. Water in the Landscape: Functions and Values. En: J. Lundqvist. *New Dimensions in Water Security*. FAO, Roma, Italia.
- Faminow, M.D. 1998. *Cattle, Deforestation and Development in the Amazon: An Economic, Agronomic and Environmental Perspective*. CAB International, Wallingford, Gran Bretaña. 235 pp.
- FAO. 1998a. Dimensions. Special: Biodiversity for Food and Agriculture. Soil and Microbial Biodiversity. 7 pp.
- . 1998b. Crop Genetic Resources. En: *Biodiversity for Food and Agriculture*. Roma, Italia. 115 pp.
- . 1996. *Production Yearbook*. Food and Agriculture Organization, Roma, Italia.

- . 1993. El maíz en la nutrición humana. FAO, Colección FAO: Alimentos y Nutrición 25, Roma, Italia. 167 pp.
- Farina, A. 2000. The Cultural Landscape as a Model for the Integration of Ecology and Economics. *BioScience* 50(4): 313-320.
- Fausch, K.D., Ch. E. Torgensen, C. V. Baxter y H. W. Li. 2002. Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes. *Bioscience* 52(6): 483-489.
- Ferguson, B.K. 1996. The Maintenance of Landscape Health in the Midst of Land Use Change. *Journal of Environmental Management* 48: 387-395.
- . 1994. The Concept of Landscape Health. *Journal of Environmental Management* 40: 129-137.
- Folke, C., A. Jansson, J. Larsson y R. Costanza. 1997. Ecosystem Appropriation by Cities. *Ambio* 26(3): 167-172.
- Foreman, T.T. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, EE.UU. 601 pp.
- Forrest, G.H., D.E. Strebel y P. Sellers. 1988. Linking knowledge among spatial and temporal scales: vegetation, atmosphere, climate and remote sensing. *Landscape Ecology* 2(1): 3-22.
- Franklin, J.F. 1993. Preserving Biodiversity: Species, Ecosystems, or Landscapes? *Ecological Applications* 3(2): 203-205.
- Fry, G.L.A. 2001. Multifunctional landscapes-towards transdisciplinary research. *Landscape and Urban Planning* 57: 159-168.
- Gardner-Outlaw, T. y R. Engelman. 1997. *Sustaining Water: Easing Scarcity: A Second Update*. Population Action International, Washington, D.C.
- Garrels, R.M., F.T. Mackenzie y C.Hunt. 1975. *Chemical Cycles and the global environment. Assessing human influences*. William Kaufmann, Inc. Los Altos, California, EE.UU. 206 pp.
- Gaitoli, M.T. y S. Rambaldi. 2002. *Ciudades de la Antigüedad. Las grandes Metrópolis del Mundo Antiguo*. Editorial Océano, México.

- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press. EE.UU. 457 pp.
- Giampietro, M. y D. Pimentel. 1993. The Tightening Conflict: Population, Energy Use, and the Ecology of Agriculture. En: L. Grant (ed.). *Negative Population Forum*. Teaneck, NJ, EE.UU.
- Glaessner, M.F. 1982. La aparición de los primeros animales. En: V.V. Belousov, E. Bullen, G.W. Cameron, H. Colbert, F. Chieppi, J.F. Dewey, W.R. Dickinson, S. E. Dwornik, A.E.J. Engel, R.W. Fairbridge, M.F. Glaessner, G. A. Gross, X. Le Pichon, P.T. Molton, S. Moorbath, T. Nagata, B. Nagy, C. Ponnamperuma, S.K. Runcorn, A.G. Smith y J.T. Wilson. *El redescubrimiento de la Tierra*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. Pp: 115-124.
- Gleick, P. 1995. Human Population and Water: To the limits in the 21st Century. *Science and Policy Issues*. September. 11 pp.
- Gordon, L. y C. Folke. 2000. Ecohydrological Landscape Management for Human Well-Being. *Water International* 25(2): 178-184.
- Gramsci, A. 1952. *Oeuvres choisies*. Editions Sociales, París.
- Grimm, N. B., J.M. Grove, S.T.A. Pickett y Ch.L. Redman. 2000. Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems. *BioScience* 50(7): 571-584.
- Guerrero, M. *El agua*. Fondo de Cultura Económica, Colección Ciencia desde México 102, México. 117 pp.
- Guibert, J., D.L. Danielopol y J.A. Stanford. 1994. *Groundwater Ecology*. Academic Press, EE.UU. 549 pp.
- Gutiérrez- Estrada, M. 1971. Fisiografía y Sedimentología del Delta del Río Balsas, Michoacán, México. *Boletín del Instituto de Geología-Univ. Nal. Autón. Mex.* No. 93. México.
- Harlan, J.P. 1976. Agricultural Origins: Centres and Nocenters. *Science* 174: 468-474.

- Harris, D.R. 1972. The Origins of Agriculture in the Tropics. *American Scientist* 60: 180-193.
- Harris, M. 1982. *El materialismo cultural*. Alianza Editorial, Alianza Universidad, España. 371 pp.
- . 1975. *Culture, People, Nature. An Introduction to General Anthropology*. T.Y. Cronwell, EE.UU. 520 pp.
- Harris, J.H. y R. Silveira. 1999. Large-Scale assessments of river health using and Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities. *Freshwater Biology* 41: 235-252.
- Hawkes, J.G. 1970. The Origins of Agriculture. *Economic Botany* 24: 131-133.
- Head, L. 2002. *Cultural Landscape and Environmental Change*. Arnold, Oxford University Press, Reino Unido. 169 pp.
- Hobsbawm, E. 1998a. *La Era del Capital, 1848-1875*. Ediciones Crítica, Grijalbo-Mondadori, Biblioteca E.J. Hobsbawm de Historia Contemporánea, Argentina. 358 pp.
- . 1998b. *La Era del Imperio, 1875-1914*. Ediciones Crítica, Grijalbo-Mondadori, Biblioteca E.J. Hobsbawm de Historia Contemporánea, Argentina. 404 pp.
- Holling, C.S. 1994. New Science and New Investments for a Sustainable Biosphere. En: AM. Jansson, M. Hammer, C. Folke y R. Costanza (eds.). *Investing in Natural Capital*. Island Press, Washington, D.C., EE.UU. Pp. 57-73.
- . 1986. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. En: W.C. Clark y R.E. Munn (eds.). *Sustainable Development of the Biosphere*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. Pp. 292-320.
- Horton, R. E. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of Geological Society of America* 56: 275-370.

- . 1932. Drainage-Basin Characteristic. *Transactions*, 13: 350-361.
- Houghton, R.A. 1994. The Worldwide Extent of Land-use Change. *BioScience* 44(5): 305-313.
- Huizinga, J. 2004. *Homo ludens*. Cuarta reimpresión. Alianza Editorial, El libro de bolsillo, Madrid, España. 286 pp.
- Hupp, C.R. 1990. Vegetation Patterns in Relation to Basin Hydrogeomorfology. En: J.B. Thornes (ed.). *Vegetation and Erosion*. John Wiley & Sons Ltd., Reino Unido. Pp. 217-238.
- IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme). 1991. Plant-Water Interactions in Large-Scale Hydrological Modelling. Report No. 17.
- Ilin, M. y E. Segal. 1983. *Cómo el hombre se hizo gigante*. Editorial Gente Nueva, Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba. 228 pp.
- Ittekkot, V., Ch. Humborg y P. Schäfer. 2000. Hydrological Alterations and Marine Biogeochemistry: A Silicate Issues? *BioScience* 50(9): 776-712.
- Jansen, J. M. L. y R. B. Painter. 1974. Predicting sediment yield from climate and topography. *Journal of Hydrology* 21: 371-380.
- Johnson, L.B., C. Richards, G.H. Host y J.W. Arthur. 1997. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology* 37: 193-208.
- y S. H. Gage. 1997. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology* 37: 113-132.
- Karr, J.R. 1999. Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*. 41:221-234.
- . 1998. Rivers as Sentinel: Using the Biology of Rivers to Guide Landscape Management. En: R.J. Naiman y R.E. Bilby (eds). 1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp. 502-528.

- . 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Application* 1: 66-84.
- Kates, R.W., B.L. Turner II, W.C. Clark. 1993. The Great Transformation. En: B.L. Turner II, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Mathews y W.B. Meyer (eds.). *The Earth As Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, EE.UU. Pp. 1-17.
- Körner, Ch. 2004. Mountain Biodiversity, Its Causes and Function. *Ambio*. Special Report 13: 11-17.
- Ladson A.R., L.J. White, J.A. Doolan, B.L. Finlayson, B.T. Hart, P.S. Lake y J.W. Tilleard. 1999. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology* 41: 453-468.
- Lal, R. 2000. Rationale for Watershed as a Basis for Sustainable Management of Soil and Water Resources. En: Lal, R. (ed.). *Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem*. Soil and Water Conservation Society, CRC Press, Boca Raton, EE.UU. Pp. 3-16.
- Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelse, J.W. Bruce, O.T. Coomes, R. Dirzo, G. Fisher, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E.F. Moran, M. Mortimer, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T.A. Veldkamp, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- Leahey, R.E. 2000. *El origen de la humanidad*. Ed. Debate, España. 217 pp.
- . 1982. *Orígenes del Hombre*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. 83 Pp.
- y R. Lewin. 1997. *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*. Tusquets Editores, Barcelona, España. 287 pp.

- Lee, R., R. Flamm, M. G. Turner, C. Bledsoe, P. Chandler, C. De-Ferrari, R. Gottfried, R. J. Naiman, N. Schumaker y D. Wear. 1992. Integrating Sustainable Development and Environmental Vitality: A Landscape Ecology Approach. En: R.J. Naiman (ed.). *Watershed Management. Balancing Sustainability and Environmental Change*. Springer-Verlag, Nueva York, EE.UU. Pp. 499-521.
- Lefebvre, H. 1974. *La producción de l'espace*. Éditions Anthropos, París, Francia. 485 pp.
- . 1971. Naturaleza y conquista sobre la naturaleza. Pp: 124-145. En: Lefebvre, H. *Introducción a la modernidad*. Editorial Tecnos, Colección de Ciencias Sociales, Serie de Sociología. Madrid, España. 340 pp.
- Leff, E. 1986. *Ecología y capital. Racionalidad Ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable*. Siglo XXI Editores, México. 437p.
- Leopold, L.B. 1997. *Water, Rivers and Creeks*. University of California Berkeley, University Science Books, California, EE.UU. 179 pp.
- Leopold, L.M. Gordon y J. Miller. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman Co. A Series Book in Geology. San Francisco, EE.UU. 522 pp.
- L'vovich, M.I. y G.F. Withe con la colaboración de A.V. Belyaev, J. Kindler, N.I. Koronkevic, T.R. Lee y G.V. Voropaev. 1995. Use and Transformation of Terrestrial Water Systems. En: B.L. Turner II, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Mathews y W. B. Meyer (eds.). *The Earth As Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, EE.UU. Pp. 235-251.
- MacNeish, R.S. 1964. Ancient Mesoamerican Civilization. *Science* 143 (3606): 531-537.
- Malone, T.F. 1991. Global Change. Past, present and future. *Tellus* 43 AB: 182-187.

- Mangelsdorf, P.C. Ancestor of Corn. *Science* 128 (3335): 1313-1320.
- , R.S. MacNeish y W.C. Galinat. Domestication of Corn. *Science* 143 (3606): 538-545.
- Marsh, G.P. (original 1864) 1965. *Man and Nature, or Physical Geography as modified by human action*. Editado por D. Lowenthal. The John Harvard Library, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 472 pp.
- Mateo, J. 1984. *Apuntes de geografía de los paisajes*. Universidad de la Habana, Cuba. 470 pp.
- Matson, P.A., W.J. Parton, A.G. Power y M.J. Swift. 1997. Agriculture Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277: 504-508.
- Maturana, H. 1974. Stratégies cognitives. En: E.Morin y M. Piatelli-Palmarini (eds.). *L'Unité de l'homme. 2. Le cerveau humaine*. Centre Royaumont pour une science de l'homme, Éditions du Seuil, Francia. Pp. 165-181.
- McClain, M.E., R.E. Bilby y F.J. Triska. Nutrient Cycles and Responses to Disturbance. En: R.J. Naiman y R.E Bilby (eds.). 1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer Verlag, EE.UU. Pp. 347-372.
- McCully, P. y S. Wong. 2004. Powering a Sustainable Future: The Role of Large Hydropower in Sustainable Development. UN Symposium on Hydropower and Sustainable Development. Beijin, China, 27 al 29 de octubre, s/p.
- Mertes, L.K. 2002. Remote sensing of riverine landscape. *Freshwater Biology* 47: 799-816.
- Messerli, B., D. Viviroli y R. Weingartner. 2004. Mountains of the World: Vulnerable Water Towers for the 21st Century. *Ambio*. Special Report 13: 29-34.
- Millman, J.D. y R.H. Meade. 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology* 91: 1-21.

- Mitchell, D.J. 1990. The Use of Vegetation and Land Use Parameters in Modelling Catchment Sediment Yields. En: J.B. Thornes (ed.). *Vegetation and Erosion*. John Wiley & Sons Ltd., Reino Unido. Pp. 289-316.
- Monod, J. 1981. *El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Tusquets Editores, España. 204 pp.
- Moorbath, T. Nagata, B. Nagy, C. Ponnampertuma, S.K. Runcorn, A.G. Smith y J.T. Wilson. 1982. *El redescubrimiento de la Tierra*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. Pp. 233- 250.
- Morin, E. 2002a. *El Método. 2. La vida de la vida*. Quinta edición. Cátedra-Teorema, Madrid, España. 543 pp.
- . 2002b. *El Método. 3. El conocimiento del conocimiento*. Quinta edición. Cátedra-Teorema, Madrid, España. 263 pp.
- . 2001a. *El Método. 4. Las Ideas. Su habitat, su vida, sus costumbres, su organización*. Quinta edición. Cátedra-Teorema, Madrid, España. 267 pp.
- . 2001b. *La Méthode. 5. L'identité humaine. L'humanité de l'humanité*. Éditions du Seuil, Francia. 288 pp.
- . 1997. *Amour, Poésie, Sagesse*. Éditions du Seuil, Francia. 79 pp.
- . 1973. *Le paradigme perdu: la nature humaine*. Éditions du Seuil, París, Francia. 247 pp.
- Morris, D. 1969. *El zoo humano*. Plaza y Janes, S.A., Barcelona, España. 296 pp.
- . 1967. *El mono desnudo. Un estudio del animal humano*. Plaza y Janes, S.A., Barcelona, España. 288 pp.
- Moscovici, S. 1977. *Essai sur l'histoire humaine de la nature*. Flammarion, Francia. 569 pp.
- . 1972. *La société contre nature*. Union Générale D'éditions. Série 7. París, Francia. 444 pp.

- Mumford, L. 1956. The Natural History of Urbanization. En: W. Thomas (ed.). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago. EE.UU. Pp.: 382-398.
- Munn, M.D. y P. A. Hamilton. 2003. New Studies Initiated by the U.S. Geological Survey- Effects of Nutrient Enrichment on Stream Ecosystems. USGS. December. 4 pp.
- Myers, N. 1994. Biodiversity and the precautionary principle. *Ambio* 22(2-3): 74-79.
- Nagy, B. y L.A. Nagy. 1982. Los primeros organismos vivos. En: V.V. Belousov, E. Bullen, G.W. Cameron, H. Colbert, F. Chieppi, J.F. Dewey, W.R. Dickinson, S. E. Dwornik, A.E.J. Engel, R.W. Fairbridge, M.F. Glaessner, G. A. Gross, X. Le Pichon, P.T. Molton, S. Moorbath, T. Nagata, B. Nagy, C. Ponnampuruma, S.K. Runcorn, A.G. Smith y J.T. Wilson. *El redescubrimiento de la Tierra*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), México. Pp. 103-112.
- Naiman, R.J., K.L. Fetherston, S.J. McKay y J. Chen. 1998. Riparian Forest. En: Naiman, R.J. y Bilby, R. E. (eds).1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp. 289-318.
- , H. Décamps y M. Pollock. 1993. The Role of Riparian Corridor in Maintaining Regional Biodiversity. *Ecological Applications* 3(2): 209-212.
- Naiman, R.J. y R.E Bilby (eds). 1998a. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. 689 pp.
- . 1998b. River Ecology and Management in the Pacific Coastal Ecoregión. En: R.J. Naiman y R. E. Bilby (eds). 1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp. 1- 10.

- Naiman, R., P.A. Bisson, R.G. Lee y M.G. Turner. 1998. Watershed Management. En: R.J. Naiman y R. E. Bilby (eds). 1998. *River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, EE.UU. Pp. 642- 661.
- Naveh, Z. 2001. Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscape. *Landscape and Urban Planning* 57: 269-284.
- . 2000. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. *Landscape and Urban Planning* 50: 7-26.
- . 1997. The value of open landscapes as life-supporting systems. *Israel Environment Bulletin* 20(4). s/p.
- . 1995. Interactions of landscapes and cultures. *Landscape and Urban Planning* 32: 43-54.
- . 1987. Biocybernetic and thermodynamic perspectives of landscape functions and land use patterns. *Landscape Ecology* 1(2): 75-83.
- y A.S. Lieberman. 1994. *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer-Verlag, EE.UU. 385 pp.
- Newbold, J.D. 1992. Cycles and Spiral of Nutrients. En: P. Calow y G.E. Petts (eds). *The River Handbook. Hydrological and Ecological Principles*. Blackwell Scientific Publications, EE.UU. Pp. 379-408.
- Newson, M. 1992. *Land, water and development. River basin systems and their sustainable management*. Routledge, Londres. 351 pp.
- Nilsson Ch. y K. Berggren. 2000. Alterations of Riparian Ecosystems Caused by River Regulation. *Bioscience* 50 (9): 783-792.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.
- O'Neill, R.V., C.T. Hunsaker, K. Bruce Jones, K.H. Riitters, J.D. Wickham, P.M. Schwartz, I.A. Goodman, B. L. Jackson y W.S. Baillargeon. 1997. Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale. *BioScience* 47(8): 513-519.

- Oldeman, L.R. 1994. The global extent of soil degradation. En: D.J. Greenland y I. Szabolcs (eds.). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Wallingford, Gran Bretaña. Pp. 99-118.
- Ortiz, M. A. 1988. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante análisis de imágenes aéreas. Pp. 43-45. En: INIREB-Gob. del Estado de Tabasco (eds.): *Conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva*. INIREB, México.
- Palang, H., H. Alumae y U. Mander. 2000. Holistic aspects in landscape development: a scenario approach. *Landscape and Urban Planning* 50: 85-94.
- Palerm, A. 1973. De la agricultura de milpa a la agricultura hidráulica. *Obras hidráulicas prehispánicas en el sistema lacustre del Valle de México*. SEP-INAH, México. Pp. 9-24.
- . 1955. La base agrícola de la Civilización Urbana en Mesoamérica. En: J.H. Steward, R.M. Adams, D. Collier, A. Palerm, K.A. Wittfogel y R.L. Beals. *Las civilizaciones Antiguas del Viejo Mundo y de América. Symposium sobre las civilizaciones de regadío*. Unión Panamericana. Estudios Monográficos I. Washington, D.C., EE.UU. 82 pp.
- . 1952. La civilización urbana. *Historia Mexicana*. Volumen segundo, julio de 1952-junio de 1953: 184-209.
- y E. Wolf. 1972. *Agricultura y Sociedad en Mesoamérica*. SEP Setentas, México. 211 Pp.
- Peierls B.L., N. Caraco, M. Pace y J. Cole. 1991. Human influence on river nitrogen. *Nature* 350:386-387.
- Pérez-Trejo. F. 1993. Landscape response units: process-based self-organising systems. En: D.R. Green y S.H. Cousins (eds.). *Landscape Ecology and GIS*. Taylor & Francis Ltd., Gran Bretaña. Pp: 87-98.
- Petch, J.R. y J. Kolejka. 1993. The tradition of landscape ecology in Czechoslovakia. En: R. Haines-Young, D. R. Green y S. H.

- Cousins (eds.). *Landscape ecology and GIS*. Taylor and Francis, Gran Bretaña. Pp. 39-56.
- Petts, G. 1984. *Impounded Rivers. Perspectives for ecological management*. John Wiley & Sons, Reino Unido. 326 pp.
- y C. Amoros. 1996. *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall, Londres. 306 pp.
- e I. Foster. 1985. *Rivers and Landscape*. John Wiley & Sons, Reino Unido. 274 pp.
- Pffeiffer, D.A. 2003. *Comiendo combustibles fósiles*. The Wilderness Publications. EE.UU. 14 pp.
- Pimentel, D. 1991. Water Resources for Food, Fiber and Forest Production. *Ambio* 15(6): 335-340.
- y M. Pimentel. 1996. *Food, Energy, and Society*. Revised Edition. University Press of Colorado, EE.UU. 363 pp.
- y C.W. Hall. 1989. *Food and Natural Resources*. Academic Press, Inc. EE.UU. 512 pp.
- , M. Tort, L. D'anna, A. Krawic, J. Berger, J. Rossman F. Mugo, N. Doon, M. Shriberg, E. Howard, S. Lee y J. Talbot. 1998. Ecology of Increasing Disease. Poblacion growth and environmental degradation. *BioScience* 48(10).
- Ponnamperuma, C. y P.T. Molton. 1982. El origen de la vida. En: V.V. Belousov, E. Bullen, G.W. Cameron, H. Colbert, F. Chieppi, J.F. Dewey, W.R. Dickinson, S. E. Dwornik, A.E.J. Engel, R.W. Fairbridge, M.F. Glaessner, G. A. Gross, X. Le Pichon, P.T. Molton, S. Moor bath, T. Nagata, B. Nagy, C. Ponnamperuma, S.K. Runcorn, A.G. Smith y J.T. Wilson. *El redescubrimiento de la Tierra*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México. Pp. 89- 100.
- Poole, G.C. 2002. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology* 47: 641-660.

- Postel, S.L., C. Gretchen, C. Daily y P.R. Ehrlich. 1996. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. *Science* 271: 785-788.
- . 1989. *Water for Agriculture: Facing the Limits*. Worldwatch Paper 93. Worldwatch Institute, EE.UU. 54 pp.
- Priego, A., H. Morales y C. Guadarrama. 2004. Los paisajes físico-geográficos de la cuenca del Lerma Chapala. *Gaceta ecológica* 71: 11-22.
- Prigogine, I. 1997. *El fin de las certidumbres*. Taurus, España.
- . 1994. *Les Lois du Chaos*. Champs/Flammarion, Francia. 126 pp.
- Pringle, C.M. M.C. Freeman y B.J. Freeman. 2000. Regional Effects of Hydrologic Alterations on River Macrobiofa in the New World: Tropical-Temperate Comparisons. *BioScience* 50(9): 807- 823.
- Rabalais, N., R.E. Turner y D. Scavia. 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience* 52: 129-142.
- Rappaport, R. 1971. The flow of Energy in Industrial Society. En: *Energy and Power. A Scientific American Book*. W.H. Freeman and Co., EE.UU. Pp. 69-80.
- Rapport, D.J. C. Gaudet, J.R. Karr, J.S. Baron, C. Bolen, W. Jackson, B. Jones, R. J. Naiman, B. Norton y M.M. Pollock. 1998. Evaluating landscape health: integrating societal goals and biophysical process. *Journal on Environmental Management* 53: 1-15.
- Redfield, R. 1954. *The Cultural Role of Cities. Economic Development and Cultural Change*. Vol. III, No.1. Chicago University, EE.UU. Pp. 54-77.
- Repetto, R. y S. Baliga. 1996. *Los plaguicidas y el sistema inmunitario: riesgos para la salud pública*. World Resources Institute, Washington, DC.

- Richards, C., L.B. Johnson y G.E. Host. 1996. Assessing the influence of landscape-scale catchment features on physical habitat and stream biota. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 (Suppl. 1): 295-311.
- Ripl, W. 1995. Management of Water Cycle and Energy Flow for Ecosystem Control: The Energy-Transport Reaction (ETR) Model. *Ecological Modelling* 78: 61-76.
- Rockström, J.L. Gordon, C. Folke, M. Falkenmark y M. Engwall. 1999. Linkages Among Water Vapor Flows, Food Production, and Terrestrial Ecosystems Services. *Conservation Ecology* 3(2): 1-44.
- Rojas, T. 1998. *La cosecha del agua en la Cuenca de México*. CIESAS, México. 124 pp.
- . 1993. *La agricultura chinampera. Compilación histórica*. Segunda edición. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 363 pp.
- Rosenberg, D.M., P. McCully y C.M. Pringle. 2000. Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction. A Special Issue devoted to Hydrological Alterations. *BioScience* 50(9): 746-75.
- Roth, N.R., J.D. David y D.L. Erickson. 1996. Landscape-scale influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape Ecology* 11: 141-156.
- Rubinstein, J.M. 1999. *A introduction to human geography. The Cultural Landscape*. Pearson-Prentice-Hall, EE.UU.
- Saint Louis, V.L., C. A. Kelly, E. Duchemin, J.W.M. Rudd y D.M. Rosenberg. 2000. Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate. *BioScience* 50 (9):766-775.
- Sanders, W.T. 1993. El lago y el volcán. La chinampa (1957). En: T. Rojas Rabiela (comp.). *La agricultura chinampera. Compilación histórica*. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pp. 179-201.

- , J.R. Parsons y R.S. Santley. 1979. *The Basin of Mexico. Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*. Academic Press, EE.UU. 571 pp.
- Sauer, C. O. 1925. The morphology of Landscape. En: J. Leighly (ed.). *Land and Life. A selection from the writings of Carl Ortwin Sauer*. University of California Press, Berkeley y Los Angeles, EE.UU. Pp. 315-350.
- Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. Wiley, EE.UU. 338 Pp.
- Semaw, S., P. Renne, J.W. Harris, C.S. Feibel, R.L. Bernor, N. Fesseha y K. Mowbray. 1997. 2.5 million-year-old stone tools from Gona, Ethiopia. *Nature* 385: 333-336.
- Shiklomanov, I.A., 1999. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Summary. Prepared in the Framework of IHP UNESCO. State Hydrological Institute. Russia. 28 pp.
- y O.I. Krestovsky. 1988. The Influence of Forest and Forest Reclamation Practice on Streamflow and Water Balance. En: E.R. Reynolds y F.B. Thompson (eds.). *Forests, Climate, and Hydrology: Regional Impacts*. The United Nations University, Tokio, Japón. 217 pp.
- Simmons, I.G. 1997. *Humanity and Environment: A Cultural Ecology*. Longman, Reino Unido. 316 pp.
- . 1994. *Environmental History*. Blackwell, Reino Unido. 206 pp.
- . 1993. *Interpreting Nature. Cultural constructions of the environment*. Routledge, EE.UU. 215 pp.
- . 1991. *Earth, Air and Water. Resources and environment in the late twentieth century*. Edward Arnold, Reino Unido. 255 pp.
- . 1989. *Changing the face of the Earth*. Basil Blackwell Ltd., Reino Unido. 487 pp.
- Snyder, C.D., J.A. Young, R. Villela y D.P. Lamarié. 2000. Influences of upland and riparian land use patterns on stream biotic integrity. *Landscape Ecology* 18: 647-664.

- Southgate, D. 1998. *Tropical Forest Conservation: An Economic Assessment of Alternatives in Latin America*. Oxford University Press, Nueva York.
- Stanford, J.A. River in the landscape: introduction to the special issue on riparian and groundwater ecology. *Freshwater Biology* 40: 402-406.
- y J.V. Ward. 1992. Management of aquatic resources in large catchments: Recognizing interactions between ecosystem connectivity and environmental disturbance. En: R.B. Naiman (ed.). *Watershed management: Balancing sustainability and environmental change*. Springer Verlag, EE.UU. Pp. 91-124.
- Starr, C. 1971. Energy and Power. En: *A Scientific American Book: Energy and Power*. W.H. Freeman and Co., EE.UU. Pp. 3-15.
- Stein J.L., J.A. Stein y H.A. Nix. 2002. Spatial Analysis of anthropogenic river disturbance at regional and continental scales: identifying the wild rivers of Australia. *Landscape and Urban Planning* 60: 1-25.
- Steinhardt, U. y M. Volk. 2002. An investigation of water and matter balance on the meso-landscape scale: A hierarchical approach for landscape research. *Landscape Ecology* 17: 1-12.
- Steward, J.H. 1955. *Theory of Cultural Change. The methodology of multilinear evolution*. University of Illinois Press, EE.UU. 237 pp.
- Stewart, O.C. 1956. Fire as the First Great Force Employed by Man. En: Thomas, W. (ed.). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago, EE.UU. Pp.: 115- 129.
- Stierlin, H. 1985. *Angkor. Arte y esplendor del mundo*. Promexa, México.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions* 38 (6): 913-920.
- Stumm, W. 1986. Water, an Endangered Ecosystem. *Ambio* 15(4): 201-207.

- Sundborg, Ä. y A. Rapp. 1986. Erosion and Sedimentation by Water: Problems and Prospects. *Ambio* 15(4): 215-225.
- Suzuki, D. con la colaboración de A. McDonell. 2003. *L'équilibre sacré. Redécouvrir sa place dans la nature*. Éditions Fides, Québec, Canadá. 301 pp.
- Thomas, W.L. (ed.). con la colaboración de C. O. Sauer, M. Bates y L. Mumford. 1956. En: W. Thomas (ed.). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago. EE.UU. 1193.
- Thornes, J. 1990. *Vegetation and Erosion*. John Wiley & Sons Ltd., Reino Unido. 515 pp.
- Tibón, G. 1993. *Historia del nombre y de la fundación de México*. Fondo de Cultura Económica, México. 893 pp.
- Torres, A. *Albert Einstein*. Editores Mexicanos Unidos, Serie Grandes Científicos, México. 91 pp.
- Torstensson, L., M. Pell y B. Stenberg. 1998. Need of a Strategy for Evaluation of Arable Soil Quality. *Ambio* 27 (1): 4-8.
- Tóth, J. 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes and manifestations. *Hydrological Journal* 7: 1-14.
- . 1963. A theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. *Journal of Geophysical Research* 68(16): 4795- 4812.
- Townsend, C.R. y R.H. Riley. 1999. Assessment of river health: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. *Freshwater Biology* 41: 393-405.
- Tress, B. y G. Tress. 2001. Capitalising on multiplicity: a transdisciplinary systems approach to landscape research. *Landscape and Urban Planning* 57: 143-157.
- . 2000. Recomendations for interdisciplinary Landscape Research. En: Brandt, J.B. Tress y G. Tress (eds.). *Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management*. Conference material for the Conference on

- ‘multifunctional landscape’. Centre for Landscape Research, Roskilde, 18 al 21 de octubre de, 2000. Roskilde, Dinamarca.
- , G. Tress, H. Décamps, A.M. d’Hautesserre. 2001. Bridging human and natural sciences in landscape research. *Landscape and Urban Planning* 57: 137-141.
- Troll, C. 2003. Ecología del paisaje. *Gaceta ecológica* 68: 71-84.
- Turner, B.L., R.H. Moss y D.L. Skole. 1993. Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project. A Report from the IGBP/HDP Working Group on Land-Use/Land-Cover Change. Stocolmo, Suecia. 35 pp.
- Turner, R.E. y N. Rabalais. 2003. Linking Landscape and Water Quality in the Mississippi River Basin for 200 Years. *BioScience* 53(6): 563-572.
- Turner II, B.L. 1974. Prehistoric Intensive Agriculture in the Mayan Lowlands. *Science* 185: 118-124.
- UNEP. 1992. *World Atlas of Desertification*. Arnold, Londres.
- Van Buuren, M. 1991. A hydrological approach to landscape planning: the framework concept elaborated from a hydrological perspective. *Landscape and Urban Planning* 21: 91-107.
- y K. Kerkstra. 1993. The framework concept and the hydrological landscape structure: a new perspective in the design of multifunctional landscapes. En: C.C. Vos y P. Opdam (eds.). *Landscape Ecology of a Stressed Environment*. Chapman & Hall. Londres, Reino Unido. Pp. 219-243.
- Van der Leeden, F., F.L. Troise y D.K. Todd (eds.). 1994: *The Water Encyclopedia*. Segunda edición. Lewis Pub., Chelsea.
- Van Langevelde, F. 1994. Conceptual integration of landscape planning and landscape ecology, with a focus on the Netherlands. En: E.A. Cook y H.N. van Lier (eds.). *Landscape planning and ecological networks*. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda. Pp. 27-69.

- Vannote, R.L., G.W. Wayne, K.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell y C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Vernadsky, W. 1997. *La biosphère*. Éditions du Seuil, Col. Points, Francia. 282 pp.
- . 1945. The biosphere and noosphere. *American Scientist* 33:1-12.
- Viles, H.A. 1990. The Agency of Organic Beings: A Selective Review of Recent Work in Biogeomorphology. En: J.B. Thorne (ed.). *Vegetation and Erosion*. John Wiley & Sons Ltd., Reino Unido. Pp. 5-24.
- Vitousek, V., H. A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494-499. Special Report.
- , P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y P. Matson. 1986. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. 1986. *BioScience* 36(6): 368-373.
- Vitousek, P.M., J.D. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P. A. Matson, D.W. Schindler, W.S. Schelesinger y D.G. Tilman. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. Issues in Ecology. Technical Report. *Ecological Applications* 7(3): 737-750.
- Vörösmarty, Ch., J.B. Moore, A.L. Grace, M.P. Gildea, J.M. Melillo, B.J. Peterson, E.B. Rastetter y P.A. Stedler. 1989. Continental scale models of water balance and fluvial transport: An application to South America. *Global Biogeochemical Cycles* 3: 241-265.
- y D. Sahagian. 2000. Anthropogenic Disturbance of the Terrestrial Water Cycle. *BioScience* 50(9): 753-765.
- , C. J. Willmott, B. J. Choudhury, A. L. Schloss, T.K. Stearns, S.M. Robeson y T.J. Dorman. 1996. Analyzing to discharge regimen of a large tropical river through remote sensing,

- ground-based climatic data, and modeling. *Water Resources Research* 32(10): 3137-3150.
- Vos, W. y H. Meekes. 1999. Trends in European cultural landscape development: perspective for a sustainable future. *Landscape and Urban Planning*(46): 3-14.
- Wallerstein, I. 2002. *Un mundo incierto*. Libros del zorzal, Buenos Aires, Argentina. 92 pp.
- . 1984. *The Politics of the World-Economy. The States, the Movements, and the Civilizations*. Cambridge University Press, Reino Unido. 187 pp.
- . 1979. *El Moderno Sistema Mundial. La agricultura capitalista y los orígenes de la economía-mundo europea en el siglo XVI*. Siglo Veintiuno Editores, México.
- Ward, J.V. y K. Tockner. 2001. Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology. *Freshwater Biology* 46: 807-819.
- y J.A. Stanford. 1983. The serial discontinuity concept of river ecosystems. En: T.D. Fontaine y S.M. Bartell (ed.). *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann Arbor Science Publications, Ann Arbor, Michigan.
- Warman, A. 1993. *La historia de un bastardo: maíz y capitalismo*. Fondo de Cultura Económica y Universidad Nacional Autónoma de México, Sección de Obras de Historia, México. 279 pp.
- Washburn, S.L. (original 1960) 1979. Utensilios y evolución humana. En: Scientific American. *Biología y cultura. Selecciones de Scientific American*. H. Blume Ediciones, Madrid, España. Pp. 159-172.
- Watson, R. y W. Haeberli. 2004. Environmental Threats, Mitigation Strategies and High-mountain Areas. *Ambio*. Special Report 13: 2-10.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts y E. Hernández X. en colaboración con P.C. Mangelsdorf. 1951. *Razas de maíz en México. Su origen*,

- características y distribución*. SAGAR, Fundación Rockefeller, México. 257 pp.
- White, I.D. 2002. *Landscape and History since 1500*. Reaktion Books, Londres, Reino Unido. 252 pp.
- Wiens, J.A. 2002. Riverine Landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology* 47: 501-515.
- Williams, W.D. 1992. Salinitatiton of Rivers and Streams: An Important Environmental Hazard. *Ambio* 16(4): 180-185.
- Wilson, E.O. 1980. *Sobre la naturaleza humana*. Fondo de Cultura Económica, Colección Popular 187, México. 299 pp.
- Winter, T. 2003. Hydrologic landscape regions of the United States. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-145. s/p.
- . 2001. The Concept of Hydrologic Landscapes. *Journal of the American Water Resources Association* 37(2): 335-349.
- . 1999. Relation of Streams, Lakes and Wetlands to Groundwater Flow Systems. *Hydrological Journal* 7: 28-45.
- Wissmar, R.C. y R.L. Beschta. 1998. Restoration and management of riparian ecosystems: a catchment perspective. *Freshwater Biology* 40: 571-585.
- Wittfogel, K.A. 1966. *El despotismo oriental. Estudio comparativo del poder totalitario*. Ediciones Guadarrama, España. 582 pp.
- . 1956. The Hydraulic Civilizations. En: W. Thomas (ed.). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago, EE.UU. Pp. 153-163.
- WRI (World Resources Institute). 1996. *World Resources 1996-1997*. World Resources Institute, Washignton, D.C.
- Wolf, E. 1967. *Pueblos y culturas de Mesoamérica*. Ediciones Era, México. 251 pp.
- Zonneveld, I.S. 1994. Landscape ecology and ecological networks. En: E.A. Cook y H.N. van Lier (eds.). *Landscape planning*

- and ecological networks*. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda. Netherlands. Pp. 13-26.
- . 1989. The land unit—A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology* 3(2): 67-86.
- y R.T.T. Forman. 1990. *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. Springer-Verlag, New York, EE.UU. 637 pp.

*Índice
analítico*

-
- agricultura de riego 97-103
 en Mesoamérica 97-99
- agua
 almacenamiento 45
 amenazas 28-30
 azul 34, 35
 cambios en la distribución 29-31
 contaminación por agroquímicos 138-139, 142, 143, 144
 cuerpo humano y 28
 estadísticas globales 31
 filtración del 44
 movimiento del 43-44, 164
 superficiales y subterráneas 64-65
 tecnología de manejo 100
 transmisión de enfermedades 142-143
 verde 35
 y atmósfera 32
 y biomasa 27, 35
- agua (*continúa*)
 y biosfera 27
 y bosques 42-43
 y cubierta vegetal 34-35, 39-40, 45-46
 y erosión 46
 y mercado 30
 y paisajes terrestres 170
 y producción agrícola 25-26
 y productividad terrestre 43-44, 46
 y sedimentos 166
 y silicatos 148
 y suelos 38
 y vida 27
 y zonas montañosas 40
- aguas subterráneas 68-75
 origen de las 69
 principales atributos 72
 volúmenes globales de 69
 y biodiversidad 74-75
 y cuencas 73-74
 y hábitats 74

- aguas subterráneas (*continúa*)
 - y recarga 71-71
- algas
 - y vida 24
- ambiente geohidrológico
 - características de las 72
- autopoiésis 154

- bacterias 50
- biodiversidad del suelo 49-50
 - y actividades humanas 52-53
 - y regulación del clima 50-51
 - y revolución genética 118-119, 125, 129
- biogeomorfología 167
- bosques
 - y agua 42-43
 - y evapotranspiración 43

- cereales
 - en el Cercano Oriente 107-108
 - en Europa 106-107
 - en Mesoamérica 109-110
 - y civilización 106ss
- ciclo biogeoquímico 59-60
- ciclo hidrológico
 - características 25-27, 30, 37-38, 45
 - factores biofísicos del 39-40
 - y erosión 51-52
 - y montañas 42
 - y ríos 53ss

- ciencia
 - según Prigogine 206
 - replantar la 207-208
 - y complejidad 208-209
- civilización
 - y energía 100-111, 113
- continuum* fluvial 57-58, 64
- corredor fluvial 61
- corrientes
 - marinas 26
 - atmosféricas 26
- Cretácico
 - y agua 24-25
- cubierta vegetal
 - y alteraciones 139-141
 - y ciclo hidrológico 39-40, 45
- cuenca
 - definiciones 73, 176
 - estructura 177
 - funciones 177-178
 - sistema ecológico 176-177
 - unidad de análisis 170, 176
 - uso del suelo 177
 - y acuíferos 73-74
 - y desarrollo urbano 105-106
 - y paisajes 177ss
 - y unidades de paisaje 164-165
- cultura
 - alteraciones humanas 136-137
 - definición 178

- despotismo oriental 101-103, 124
- discontinuidad serial 59
- diversidad cultural
 - y paisajes 130-132
- ecología de paisaje 160-161
- véase también planificación del paisaje
- y cuencas 177
- y planificación edafón 49
- efecto invernadero 23-24
- enfermedades y agua 142-143
- espiral de nutrientes 59
- estrés hídrico 28-29
- evapotranspiración 34-35
 - y civilización moderna 134-135
 - por actividades humanas 52-53
 - tipos de 52
 - y drenaje 51-52
- evolución cultural 82ss, 122ss
 - impactos ecológicos 126-127
- flujos
 - subsuperficiales 38
 - subterráneos 38
 - superficiales 38
- geomorfología fluvial 164
- hidrocidio 135
- hipoxia 147
- homo*
 - alimentación 86
 - domesticación 94
 - erectus* 89
 - factor hidrológico 133-135
 - habilis* 86, 89
 - neardenthalis* 89
 - postura bípeda 86
 - sapiens* 89, 90
 - y caza 88
 - y domesticación del fuego 87-89
 - y paisajes 86-88, 91-92
 - y paisajes virtuales 128
 - y urbanización 95-97, 121-122
- infiltración 44
 - y precipitación 44
- lagos
 - eutroficación 148
- montañas
 - y biodiversidad 41
 - y cambio climático 40-41
 - y precipitación 41-42
 - y recarga de agua 40-41
 - y vulnerabilidad 41
- naturaleza
 - según Marx 80
- noosfera 153, 155-156, 179, 184

- obras hidráulicas 100-101
 - impactos 137-138
 - y cereales 108
 - y urbes 103
- océanos primitivos 24
- paisajes
 - amenazas 132
 - cambios en la Europa medieval 112
 - como sistemas vivos 183-184
 - fragilidad 187
 - holísticos 182-183
 - homeostáticos 186-187
 - monofuncionales 119-120
 - multifuncionales 156-158
 - perturbaciones 187
 - posmodernos 129-130
 - resiliencia de los 187
 - según Sauer 181
 - unidades de 186
 - y colonialismo 115-116, 124-125
 - y combustibles fósiles 114ss
 - y descubrimiento de América 112
 - y diversidad cultural 130-131
 - y reversibilidad poética 130
 - y Revolución Verde 116-118
- paisajes culturales 81
 - salud de los 189-191
- paisajes culturales (*continúa*)
 - según Troll 182
 - y complejidad 180-181
 - y noosfera 179
 - y significados 180
 - y valores 189
- paisajes fluviales
 - y agricultura de riego 99-100
- paisajes hidrológicos
 - factores críticos 194-195
- paisajes terrestres 79-80
 - dinámica 169-171
 - e historia humana 80ss, 154-155
 - e imaginación 204
 - nueva perspectiva 204
 - y complejidad 205
- paisajes urbanos 103-106
- perturbación
 - definición 187
 - importancia 187
- planificación del paisaje
 - definición 191
 - enfoque hidrológico 194-196
 - interrelaciones 191-192
 - multidimensional 191
 - retos 192
- Precámbrico
 - y agua 23, 24
- presas, 29
- pulsos fluviales 61-62
- resiliencia
 - del paisaje 187

revolución urbana 104, 124
Revolución Verde 116-118
revolución genética 118-119,
125, 129

ríos

alteraciones humanas de
los 137-138
como ecosistema 55
como paisajes 168-169
como sistema
unidireccional 56
contaminación 145-146,
148
continuum fluvial 57-58
dimensiones de los 55
discontinuidad serial 59
eutrofización 148
importancia 39
insumos energéticos 58
interconexión 60-61
y biodiversidad 55-56
y ciclo del fósforo 146
y ciclo del nitrógeno 146
y ciclos biogeoquímicos
59-60
y drenaje 54-55
y ecología 168
y escalas de análisis 67-68
y paisajes 54
y planificación 68
y precipitación 53-54
y presas 148-149

ríos (*continúa*)

y silicatos 148
y tiempo 65-67
zona hiporéica 63-65

Sinantropus pekinensis 88

sistemas

autoadaptativos 210
autopoiéticos 183
complejos 211
disipativos 183

sociedad

e imaginación 203-204

suelos

características y funciones
47
porosidad de los 48, 49
y edafón 49-51

teoría ecológica de los

sistemas fluviales 55-56
componentes 56

tecnopaisajes 119-120

zonas áridas

y contaminación del agua
144-145

zona hiporéica 62-63

diversidad biológica 63-64
procesos biogeoquímicos
de la 64
y actividades humanas 65

Agua, hombre y paisaje de Alejandro Toledo se terminó de imprimir durante el mes de junio de 2006 en los talleres gráficos de la empresa Delmo Comunicaciones S.A. de C.V., Tehuantepec 149, interior 1, colonia Roma, C.P. 06760, en la Ciudad de México, de acuerdo con los términos de la invitación restringida INE-I3P-005-2006.

Se tiraron 400 ejemplares
más sobrantes para reposición