

CAPÍTULO

2

Conectividad y Áreas Protegidas

Tramas espaciales del paisaje. Conceptos, aplicabilidad y temas urgentes para la planificación territorial

Francisco Díaz Pineda y María F. Schmitz

Introducción

Puede asumirse que el territorio se asemeja más a un tejido vivo que a un paño inerte. Esta idea, en la que diferentes autores han insistido antes (Glazovskaya, 1963; Solntsiev, 1974; Fortescue, 1980; Bernáldez, 1981; Pineda, 1997; Burel y Baudry, 2001; Pineda *et al.*, 2002), se trata en el presente artículo comentando las posibilidades actuales de aplicarla a la conservación de la naturaleza y la gestión ambiental del territorio. Los símiles del ‘tejido’ y del ‘paño’ tienen en común la idea de trama –es decir, una configuración estructural que liga entre sí a sus componentes, o facilita que la ligazón ocurra, y da cohesión al conjunto– pero con diferente significado y consecuencias en el primero que en el segundo.

Se carece de una adecuada formalización de lo que resultaría de mayor interés para la conservación de la naturaleza. Habitualmente las prioridades se fundamentan en urgencias, lo que no carece de lógica. En cuanto a la relación ‘planning and ecology’, parece evidente la necesidad de proteger las conexiones que mantienen la funcionalidad del tejido territorial, pero están aún poco claros los criterios y parámetros a considerar para evaluar cuantitativa y pragmáticamente las conexiones espaciales que pueden resultar claves.

Reconociéndose las motivaciones y la convicción ética con que se trata de aplicar la ciencia ecológica al plano de la conservación y gestión del territorio, debe admitirse que esas incertidumbres dificultan la aplicación de la ciencia en este plano. En algunos foros científicos se ha considerado que probablemente la

manera fría y objetiva de conservar mejor la naturaleza sea delimitar porciones del espacio donde no se lleven a cabo actividades humanas (Pineda, 1991; Pineda *et al.*, 1991). Con esta idea y variaciones en torno a ella se crean continuamente en todo el mundo 'espacios naturales protegidos'. En éstos se ensayan y se aplican más fácilmente determinadas leyes y normativas para preservar componentes generalmente tangibles de la naturaleza. Estos componentes son reconocidos como de alto valor de acuerdo con ciertos criterios y puntos de vista. Puede decirse que los espacios protegidos son instrumentos marcos de la idea genérica de conservación de la naturaleza y que las normativas son las herramientas de las que es necesario proveerse para llevarla a cabo.

El concepto de conservación evoluciona, probablemente por la insatisfacción que producen sus definiciones y asunciones, sobre todo en la comunidad científica. La idea de ecosistema, con aciertos y con acepciones de notable dogmatismo, va incorporándose progresivamente a la de conservación, hasta el punto de afirmarse que no hay protección de especies ni de lugares, sino conservación de procesos de interacción, es decir, ecosistemas. Hoy la conservación se basa esencialmente en dos objetivos: preservar porciones discretas del espacio (espacios protegidos) y proteger especies y razas biológicas donde quiera que se encuentren. Sin embargo, los rápidos cambios que viene sufriendo el paisaje afectan a todo el territorio, de manera que cada vez resulta más evidente la necesidad de añadir a aquellos objetivos el de mantener fenómenos físicos claves donde quiera que ocurran. Los dos primeros objetivos resultan más fáciles de alcanzar, este último parece más difícil. Además, es muy importante que la componente cultural esté presente en estas tres metas.

Ninguno de estos fines tiene, no obstante, una formalización científica convincente. En los espacios se desea mantener paisajes y componentes físicos o biológicos 'valiosos', incorporando criterios tales como singularidad, rareza, utilidad y, sobre todo, razones éticas. Consideraciones semejantes se hacen para conservar las especies, algunas de las cuales se reúnen en 'listas rojas', donde constan las amenazadas y en peligro de extinción. En cuanto a los fenómenos físicos, su papel en la conservación ha recibido menos atención que las especies o el paisaje, al menos de forma explícita. Sin embargo, para planificar ambientalmente los usos del territorio son decisivos ciertos fenómenos vectoriales que soportan procesos ecológicos de relevancia espacial. Es el caso de los flujos de energía y movimientos de agua y materiales con cadencia 'natural', migraciones biológicas, etc. Estos procesos dan cohesión al territorio y facilitan la

complementariedad de la protección de espacios con la gestión ambiental de regiones y comarcas más amplias.

Tejido territorial

Fenómenos físicos tales como los implicados en el ciclo hidrológico, el transporte de materiales laderas abajo, la percolación de la lluvia y recarga de acuíferos, la evaporación en humedales, la alteración de la roca, la insolación del sustrato, el calentamiento del aire, el transporte eólico de materiales y las dinámicas del aire, mares y lagos, pueden ocurrir sin la participación de la vida. No obstante, conectan unas porciones del espacio con otras, constituyendo una trama.

La biosfera es el componente orgánico que tapiza esta trama. Se apoya en esos fenómenos como el envoltorio de los cables de una máquina eléctrica, pero aportando propiedades ecológicas esenciales al conjunto. La vida se basa en la desviación de una ínfima parte de la energía de aquellos fenómenos físicos para formar biomasa. El crecimiento de ésta y su diversificación genética, morfológica y espacial actúan en la trama anterior modificando la velocidad de los flujos. La modificación afecta así a la circulación del agua y el transporte de materiales, para los que la vida puede usar las mismas vías físicas (por ejemplo, la escorrentía de las laderas está relacionada con la humectación de la materia orgánica del suelo) o bien puede provocar vías nuevas (los aportes de oxígeno desde el agua al aire se deben a la fotosíntesis). El suelo formado sobre el sustrato rocoso contiene sobre todo materia orgánica y humus que ralentizan el flujo de agua y materiales en las laderas y permiten mantener un caudal más uniforme en los ríos. Mantener este tipo de procesos ecológicos parece esencial para la gestión ambiental del territorio y es realmente la clave de la conservación de la naturaleza. En todo el mundo se producen continuamente cambios de uso del territorio que afectan a estos procesos a escalas locales, regionales y globales.

Los procesos ecológicos son numerosos y sus protagonistas son tanto físicos como biológicos. Algunos de estos procesos originan disposiciones de los materiales geológicos y formas del relieve que ofrecen paisajes valiosos. Así, montañas, valles, costas, etc., pueden configurarse creando una atmósfera emocional que invita al ser humano a admirarlos, respetarlos y tratar de conservarlos. Otras manifestaciones naturales, de base biológica, como la

diversificación genética, generan especies singulares que la sociedad humana considera particularmente dignas de protección, entendiéndolo que son emblemáticas, dada su belleza, tamaño, rareza, etc., y otorgándoles calificativos a veces toscamente formalizados, como especies 'ingenieras', 'claves' (sin sustitutas), etc., no debiéndose olvidar que la base de la conservación de la naturaleza debieran ser los procesos y que las especies son testimonios de ellos.

Este es el panorama donde se quiere conservar la naturaleza, explotar sus recursos de forma sensata y administrar ambientalmente el territorio. Para mantener la funcionalidad de las tramas ecológicas espaciales deben definirse unos límites 'aceptables'. La ciencia ecológica, que apenas puede establecer esos límites por el momento, trata de ayudar a vislumbrar umbrales para un conjunto selecto de factores que avisen de la cercanía de situaciones irreversibles no deseadas.

Problemas de formalización y aplicación de conceptos

La conservación de la naturaleza requiere importantes formalizaciones y para muchas de ellas los naturalistas aún no han unificado sus criterios. Por ejemplo, así como las ciencias médicas tienen aceptablemente claro el concepto de 'salud' (pero ver Ehrenfeld, 1995), la ciencia ecológica tropieza con dificultad para tenerlo (Mageau *et al.*, 1995; Rapport 1995,1998; Costanza, 1992). Se utiliza, no obstante, el término 'salud del ecosistema' y otros términos recientes, y se enfatiza el valor intrínseco de los recursos naturales dentro y fuera del mercado económico (Rapport, 1977; Cairns y Pratt, 1995; De Graaf *et al.*, 1996; Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997), pero quizá se camine todavía más de forma voluntarista que de la manera fría y objetiva que debe perseguir la ciencia para que su aplicación en este campo tenga solidez.

La gestión de un territorio con la conservación *in mente* pretende administrar el espacio y los recursos naturales que contiene manteniendo su 'salud'. Así, cualquier política que asignase funciones genéricas a ese territorio, previendo determinados usos y descartando otros, debería basarse en la salvaguarda de su salud. Sobre esta base, se perfilarían, promoverían o prohibirían ciertos usos. Se trata de algo parecido a los objetivos perseguidos por un entrenador deportivo con su alumno: perfeccionar la habilidad física de éste manteniendo su salud. Esto exige una formalización convincente en el caso de los sistemas ecológicos.

Costanza (1992) entiende la salud del ecosistema como su capacidad para soportar a lo largo del tiempo un estrés generado desde el exterior. Esa capacidad se reflejaría en la estructura y función del sistema. La definición, que no puede ser muy precisa, tiene interesantes precedentes en las ideas de estabilidad ecológica (Leigh, 1965; Lewontin, 1969; Margalef, 1969; May, 1973; Holling, 1973; Jacobs, 1975; Orians, 1975; Rapport *et al.*, 1985; Holling, 1986). Es obvio que debe precisarse la intensidad de esa influencia externa midiéndola, así como su severidad de acuerdo con el cambio que generaría en la estructura y función que pretende mantenerse. Causa y efecto pueden medirse experimentalmente aquilatando parámetros adecuados o bien llevándose a cabo estimaciones razonables (Grimm *et al.*, 1992; Montalvo *et al.*, 1993; Rapport *et al.*, 1995).

Se precisa información sobre los parámetros que permitirían definir la estructura del sistema (biomasa, diversidad, etc.) y su función (flujos energéticos y minerales, dinámica sucesional), así como de los umbrales de variación que permitirían hablar de 'salud' (y, consecuentemente, de 'enfermedad') del ecosistema. Esto no es fácil en la práctica (Harte y Levy, 1975; Jacobs, 1975; Rapport, 1998) y menos aún tomar otras decisiones que difieran mucho de aplicar sencillamente el sentido común. No es gratuito traer a colación consideraciones sobre el amor a la naturaleza (Meadows, 1996), la conciencia ambiental del daño (Terradas, 1979), la importancia del mimo que debe ponerse en el uso de los recursos naturales (Bernáldez, 1985,1991) o la visión más pragmática de los ecosystems services (Cairns y Pratt, 1995; Costanza y Folke, 1997; Costanza *et al.*, 1997).

A pesar de la importancia de todas estas consideraciones apenas se ha tratado todavía su incorporación sistemática y tabulada a planes y, sobre todo, a proyectos de desarrollo.

Sectorización del espacio

La gestión de los espacios naturales protegidos se lleva a cabo en base a la separación de estos lugares del territorio circundante mediante una frontera, a cada lado de la cual leyes y normativas tienen una aplicación condicionada por una política de usos prioritarios asignados a cada parte del territorio.

La idea de 'frontera' está muy arraigada en la ciencia. Ayuda a separar las propiedades físicas y químicas a uno y otro lado de una superficie. La

impermeabilidad de una frontera dificulta el entendimiento de ciertos sistemas complejos, de manera que sobre la idea de frontera se ha trabajado también para explicar determinados tipos de flujos e incluso para formalizar fenómenos de organización a lo largo de gradientes (así, la idea del ‘diablo de Maxwell’s). Ecólogos y biogeógrafos, que entienden realmente el territorio como un tejido vivo, han dedicado atención a las fronteras (ecotonos, ecoclinas, picnoclinas), resaltando sobre todo el interés de la asimetría y la importancia de las transferencias a través de éstas (Van der Maarel y Westhoff, 1964; Margalef, 1975, 1981, 1991; De Pablo *et al.*, 1982; Pineda *et al.*, 1987; Casado *et al.*, 1989; Gómez Sal *et al.*, 1992).

La ‘fragmentación’ del paisaje también ha recibido mucha atención por biólogos conservacionistas. Con frecuencia, ésta se ha considerado una amenaza importante para la ‘integridad’ del funcionamiento del paisaje. Sin embargo, se ha desarrollado poco aún el análisis de esta amenaza (ver Fairman *et al.*, 1998) ni cómo se formaliza la integridad que se ve comprometida.

La fragmentación suele referirse a la generación de porciones de comunidades biológicas de fisionomía dada que antes abarcaban superficies mayores. Las interesantes ideas de insularidad de Mac Arthur y Wilson (1963, 1967) se han incorporado apenas a esta idea, a pesar de su gran alcance. Básicamente la fragmentación introduce la idea de impedimento a la permeabilidad de frontera entre fragmento y entorno y de dificultad de flujos. En relación con la integridad, lo que la fragmentación genera en el paisaje es en realidad otro tipo de funcionamiento que, dependiendo de qué aspecto o fenómeno ecológico sea contemplado puede considerarse deseable o no. Llevar estas ideas al plano de la conservación requiere especificar qué funcionamiento es el que se desea preservar y su trascendencia, algo que es más difícil de precisar que si fuera la biodiversidad lo que se deseara preservar (McCoy y Mushinsky, 1994).

Conservación de la conectividad

Las consideraciones anteriores invitan a plantear seriamente la idea de tejido territorial. La importancia del tema es grande si se tienen en cuenta los cambios socioeconómicos y de paisaje que ocurren en algunos países que han dado recientemente un salto tecnológico notable. Por ejemplo, la incorporación de España y Portugal a la UE es un ejemplo en este sentido. De acuerdo con ello, es oportuno hacer las siguientes consideraciones (Pineda *et al.*, 2002):

Aunque la conservación de la naturaleza se basa mucho en la delimitación de espacios protegidos, ciertos procesos ecológicos dependen de dinámicas horizontales que conectan unas porciones del espacio con otras, a veces muy alejadas entre sí (Bernáldez, 1981; Bennet, 1991, 1994; Casado *et al.*, 1985; Pineda 1997, 2001a y b; Gómez Sal *et al.*, 1992).

- La importancia de estos procesos trasciende a los objetivos de conservación en esos espacios y afecta a la funcionalidad de todo el territorio.
- Esas dinámicas están aún poco formalizadas y cuantificadas, sobre todo a escalas regionales.
- Las grandes infraestructuras humanas vienen condicionando notablemente la evolución socioeconómica y ésta, a su vez, condiciona directamente la estructura de muchos tipos de paisajes (Schmitz *et al.*, 2001).
- La interferencia ‘dinámicas ecológicas horizontales–infraestructuras humanas–cambios socioeconómicos’ debe evaluarse en términos ambientales, integrando perspectivas ecológicas, sociológicas y económicas (De Juana *et al.*, 1999; Hernández y Pineda, 1998). Así, la proyectada ampliación de la red de carreteras 2000–2025 de todo el territorio español (SEIT, 1999) tiene una gran relevancia en este contexto y constituye un ejemplo de esta interferencia.

Interferencias malla ecológica–infraestructuras artificiales

Se admite que la actividad agraria tradicional ha creado una estructura rural secularmente integrada en las tramas naturales (Bernáldez, 1991; Bunce *et al.*, 2001). Esto no parece así en el caso de las modernas infraestructuras viarias, que se muestran ajenas a los paisajes naturales y culturales que atraviesan. Es patente que, en la forma en que vienen proyectándose, causan serias disrupciones en el funcionamiento ecológico, lo que resulta además antieconómico.

En la Cuenca mediterránea, cuyo paisaje es eminentemente cultural, pueden diferenciarse ‘nodos’ en la trama ecológica espacial constituidos por localidades o comarcas con relativo buen estado de conservación así como una ‘matriz’

territorial agrícola, urbana e industrial. Los nodos contienen bosques, montañas, humedales, ambientes esteparios, etc. Se cuenta con diferentes figuras de protección para numerosos espacios de este tipo y el territorio mantiene un importante conjunto de zonas consideradas ‘reservorios de biodiversidad’ (Soulé, 1991). No obstante, no se trata sólo de que los trazados de las carreteras deban bordear estos sitios porque contengan esos valores, sino que las infraestructuras deben evitar generar disfunciones serias en el tejido territorial.

En principio puede aceptarse que en la trama ecológica territorial destacan ‘corredores’ fácilmente visibles –sistemas fluviales, ciertas estructuras lineales, cuerdas montañosas (Bennet, 1991, 1994; Castro, 2002)–. Además de estos pasillos importan otros procesos de apreciación más difícil y no traducibles a corredores, como la circulación hidrológica subsuperficial y subterránea, el transporte de nutrientes en laderas, la dinámica biológica ligada a migraciones y trasiegos o el funcionamiento rural de base tradicional. Todas estas interconexiones pueden estar relativamente bien conservadas en algunos casos, pero en general se desconoce su estado, la importancia real de su funcionalidad y su trascendencia.

Cuando los nodos son espacios protegidos, su conservación está ligada en la práctica a su utilidad educativa, recreativa, turística y de investigación científica. Esto facilita la protección oficial con que cuentan. Sin embargo, las actividades de desarrollo pueden afectar a sus interconexiones, aunque la localización espacial de estas actividades mantengan notables distancias cartesianas con estos nodos –recuérdese el célebre accidente en las minas Boliden en el área Guadamar–Parque Nacional de Doñana, que representa un ejemplo entre muchos, pero famoso por la popularidad del sitio (Coopers y Lybrand, 1998; Jiménez *et al.*, 1999)–. Es pues necesario fundamentar mejor las directrices para la conservación en los espacios protegidos.

Sin duda urge definir y caracterizar los ‘puntos de tensión’ entre red ecológica y red viaria. Tipificar primero y cuantificar después la conexión ecológica requiere seleccionar parámetros ecológicos y medir su importancia en condiciones naturales y en relación con la red viaria. Se necesita investigar metódicamente el tema a escalas regionales y locales, pasando de estudios experimentales o pilotos a la realidad de la gestión territorial (ver, por ejemplo, Bernáldez *et al.*, 1987; Montes *et al.*, 1998).

El sistema constituido por la actual red de transporte y la trama ecológica puede descubrir ‘zonas sensibles’, donde la ruptura de funcionalidad sería más evidente. Esta ruptura se puede resolver de distintas formas según la funcionalidad afecte a la trama artificial (por ejemplo, construyéndose un puente en un cruce de carreteras) o a la natural (facilitando la permeabilidad de la carretera). El mantenimiento de las redes naturales es importante para la propia economía humana. La proyectada ampliación de la red de transporte ibérica invita a analizar sistemáticamente estas circunstancias.

Existen conexiones territoriales de importancia desconocida tanto a escala local como regional. Para conocer su importancia se necesitan criterios de base conceptual y aplicada.

Estos criterios podrían ser, entre otros, los siguientes:

- de carácter geomorfológico (tipología de pendientes y cuencas),
- de tipo edáfico (humificación, capacidad de humectación del suelo),
- de tipo hidrológico (funcionamiento de cuencas, circulación subterránea),
- de tipo biogeoquímico (dinámica de nutrientes en ladera),
- de carácter mesoclimático (vientos dominantes, fenómenos föhn),
- de tipo biológico (diferentes tipos de migraciones y ritmos, influencias de la fragmentación de hábitats),
- de carácter rural (manejos agrarios, vías pecuarias).

La caracterización de las redes natural y artificial debe detectar las citadas zonas sensibles, que requerirá un análisis descriptivo de las infraestructuras actuales y proyectadas (vías, embalses, puertos) y la probable envergadura de su incidencia en las redes naturales. La dinámica hidrológica superficial suele ser considerada en casos de intercepción de trazados con cauces fluviales, torrenteras y cárcavas y ramblas evidentes (construcción de pasos de agua a través de terraplenes, etc.), pero merecen análisis detallados todas las situaciones en que los flujos de agua se encuentran interceptados. Así, los sitios de conexión de amplias laderas –que actúan como cuencas de recepción– con zonas planas húmedas mas o menos permeables, que pueden quedar privadas de suministro laminar de agua o de su dinámica hiporreica. Estas zonas planas pueden ser humedales poco evidentes, (‘criptohumedales’, Bernáldez, 1987, 1989, 1992a,b; Bernáldez *et al.*, 1987; Montes *et al.*, 1998)–. Se llama la atención sobre la circulación subterránea (recargas y descargas de acuíferos). Desde el punto de

vista hidrológico e hidrogeológico, la mejor carretera sería la que ‘no tocara el suelo’, por elevarse en su trazado teórico sobre pilotes y pontones.

El interés de incorporar consideraciones ambientales a la planificación del trazado de infraestructuras, los proyectos de obra, explotación y mantenimiento es evidente. Las infraestructuras pueden ser realmente integradas en el territorio como lo fueron los usos tradicionales, minimizando sustancialmente los costes ambientales, pudiéndose aprovechar su trazado para mejorar el mantenimiento de muchos de sistemas rurales valiosos. Se trata de que la ampliación de la actual red viaria ibérica no afecte, o afecte poco, a los factores y procesos mencionados. Esta ampliación debe considerar estos aspectos en pasillos de trazado teórico lo suficientemente anchos como para evaluar el problema y establecer alternativas que minimicen su interferencia –las habituales alternativas lineales realmente no valen de mucho–.

Corredores y procesos horizontales

En ecología del paisaje suele recurrirse a la idea de escala y diferenciar conjuntos de procesos comprendidos dentro de otros de mayor rango, pero en realidad no existe separación jerárquica alguna entre ellos, pues los fenómenos físicos actúan vertical, horizontal y sincrónicamente (Polynov, 1956; Bernáldez, 1981). Con este inconveniente por salvar, el aumento progresivo de escala en la percepción territorial, permitiría encontrar el detalle a que los componentes territoriales y sus tramas de conexiones naturales debe condicionar el trazado de una red viaria. Por ejemplo, aspectos tales como la distribución de sustratos inestables o expansivos, condicionan el trazado de pasillos suficientemente anchos como para permitir, a escalas más detalladas, argumentar alternativas posibles de trazado de carreteras. Esta apreciación no sólo es aplicable a cuestiones geotécnicas o topográficas, sino a todos los factores ambientales que dominen en los diferentes sitios. Pueden ser contempladas:

- Conexiones internacionales (Europea, Europea–Africana, prestando atención, por ejemplo, a las migraciones animales).
- Conexiones regionales (por ejemplo, dinámica ríos–estuarios, trashumancia).
- Conexiones comarcales (por ejemplo, montañas–laderas–valle).
- Conexiones locales (por ejemplo, trasterminancia, dinámicas de ladera).

La funcionalidad de las conexiones es bien apreciable en ciertos componentes de la fauna cuyas áreas de reproducción y alimentación pueden estar en determinados lugares pero sus necesidades de dispersión y colonización dependen de la existencia de corredores entre aquéllos. Las posibilidades, y la probable importancia, de estas conexiones vienen dadas por la superficie de las zonas consideradas como nodos, la distancia entre nodos equivalentes –para según qué procesos (por ejemplo, las conexiones animales son diferentes de las derivadas de los flujos hídricos)– y la naturaleza del ambiente o matriz que rodea a nodos y corredores –por ejemplo, un ambiente hostil dificulta la interacción (Bennet, 1991)–.

Con frecuencia se piensa que las conexiones basadas en corredores tienen sobre todo un soporte sólido (el terreno), pudiendo identificarse como superficies más o menos continuas, de forma alargada, como los bosques de galería, pero también como zonas discontinuas relativamente alejadas entre sí, como ocurre con los terrenos de infiltración y recarga de las aguas subterráneas y con los sitios donde descargan esas aguas (humedales de distintos tipos) –estos casos no tienen que responder a una estructura de pasillo continuo, al menos en la superficie del territorio–.

De acuerdo con estas observaciones no es difícil analizar las ventajas que podrían tener corredores como los siguientes (Pineda *et al.*, 2002):

- Red hidrográfica. Sistemas riparios formados por bosques y otras formaciones propias de sotos más o menos desarrollados. El vector de conexión territorial es el agua. No sólo la que fluye a lo largo del río, sino también la drenada a lo largo de las laderas que configuran la cuenca hidrográfica.
- Comarcas con patente implantación de sistemas agrarios de base tradicional, con reticulados a base de setos y ribazos. La trama rural de cada comarca guarda relación con la estructura socioeconómica de sus municipios: aquélla se refleja de alguna forma en esta estructura y viceversa (Schmitz *et al.*, 2001), por tanto, la caracterización de las conexiones deben incorporar parámetros de este tipo. Las conexiones espaciales las proporciona la propia dinámica de la gestión agraria (movimiento del ganado, trasiego de materiales y animales, abonados, etc.).
- Sistemas de ladera peculiares, que mantienen sistemas montaraces y agrarios integrados. La conexión es vectorial, determinada por el flujo de agua y materiales desde las zonas de exportación en las partes altas de ladera a las bajas. En el paisaje tradicional las partes altas contienen sistemas más

maduros, como bosques y matorrales, con menor 'turnover' y alta persistencia de la materia orgánica en el suelo. Estas partes pueden actuar como fertilizadoras naturales de las partes bajas de ladera.

- Cerros, montañas y cuerdas o divisorias de las principales cadenas montañosas. En estos casos, la dificultad del acceso humano a estas zonas termina manteniendo relativamente aislados a estos sitios, por donde pueden trasladarse animales sensibles a ruidos y trasiegos humanos.
- Red de vías pecuarias ('cañadas', 'cordeles' 'veredas'). Se trata de estructuras lineales de propiedad pública en los países donde aún se mantienen estos caminos ganaderos. Probablemente no actúen como auténticos corredores, sino más bien como refugios para organismos expulsados de campos de cultivo y terrenos agrarios explotados. Los abrevaderos y 'descansaderos' del ganado que se encuentran a lo largo de estas vías constituyen elementos singulares de interés conectivo, sobre todo para la fauna.
- Sistemas discontinuos de recarga y descarga de aguas subterráneas, sobre todo en las cuencas sedimentarias de los grandes ríos. Humedales hipogénicos. Se trata de un fenómeno físico de conexión que se encuentra entre los de mayor interés en el funcionamiento del tejido territorial –aunque no se trate de estructuras fácilmente visibles en el territorio (González Bernáldez *et al.*, 1989, 1993; González Bernáldez, 1988; Rey Benayas *et al.*, 1990)–. Sobre ello queda mucha tarea pendiente desde la perspectiva de la incorporación de estas ideas a la conservación de la naturaleza (González Bernáldez *et al.*, 1985; Llamas, 1988; Pfadenhauer y Grootjans, 1999; Hruby, 1999).
- Determinadas extensiones de 'monte' mediterráneo y otros tipos de formaciones forestales conservan ciertas especies emblemáticas (oso, lobo, lince) que precisan conexiones a lo largo de territorios extensos. Los hábitats relictos constituyen ejemplos de los peligros de extinción que sufren algunas de estas especies.
- Sistemas de dunas móviles, deltas y sistemas de marismas de distintos tipos. Su mantenimiento interesa a fenómenos esencialmente físicos, pero ligados a procesos ecológicos sucesionales de gran interés en la conservación.

Relaciones espaciales, escala y compromiso político

La fragmentación de los hábitats silvestres y su degradación representan el continuo declive de lugares considerados reservorios de biodiversidad. Estos sitios son, hasta cierto punto, una garantía de permanencia de la 'naturaleza' y de

las posibilidades de su mantenimiento y recuperación. La interconexión de estos ambientes es una tarea de interés global. Las políticas de conservación basadas en la consideración de especies biológicas o porciones del territorio aislados son inadecuadas a largo plazo. Los patrones de dispersión y migración deben ser salvaguardados reconociéndose sus conexiones territoriales. Este constituye el principal reto de la integración entre las infraestructuras de desarrollo y el tejido territorial. Las medidas locales son insuficientes en los casos en que la escala de las conexiones abarca territorios extensos. Por ejemplo, la protección del lince ibérico (*Lynx pardina*) requiere conectar extensos corredores de monte mediterráneo que van desde el centro al sur de la península ibérica. Esta especie tiene por sí misma un alto valor emblemático (entre otras razones, hace miles de años que no se extingue una especie de felino en Europa), pero desde el punto de vista ecológico representa, sobre todo, un indicador del grado de conservación y conexión entre extensos espacios de monte. En otros casos, los hábitats pueden mantener mecanismos propios de autorregulación demográfica y su mantenimiento depende precisamente de su aislamiento, de manera que la conexión constituye un inconveniente.

Al comentarse la importancia de los factores geomorfológicos e hídricos se han referido algunos procesos cuyo mantenimiento depende de la salvaguarda de la dinámica biogeoquímica. Esta dinámica opera a través de diferentes hábitats. La red hidrográfica representa una síntesis de la conexión entre sucesivos procesos vectoriales. Los fenómenos de exportación, tránsito y acumulación de agua, nutrientes y materia orgánica representan las vías de conexión a lo largo de las laderas. Las características de los estuarios y la formación de deltas y zonas de marismas costeras constituyen una síntesis geográfica de esta dinámica. A lo largo de los gradientes regionales de las cuencas se repiten estos procesos a diferentes escalas de detalle. Los reticulados rurales, a base de mantener setos y bosquetes en el seno del terreno cultivado o pastoreado, ralentizan estos procesos sin impedir la conexión gravitacional que los genera. A lo largo de los ríos, los bosques de galería, en los sitios donde se mantienen, contribuyen a este entramado y pueden actuar también como corredores (Sterling, 1996).

Algunos nodos de la red de infraestructuras naturales son espacios con ecosistemas fundamentalmente maduros –de baja tasa de renovación (con tendencia a acumular biomasa, madera, leña y humus en el suelo) y esencialmente montaraces–, pero en otros casos, la importancia de los nodos puede derivar de su funcionamiento como ‘fuentes’ en el trasiego de

componentes naturales, conectados con otros espacios, generalmente productivos (como los terrenos agrícolas y pastos de media y baja ladera), que actúan como ‘sumideros’. Las conexiones vectoriales entre la montaña y los piedemontes, o las lomas y los valles, constituyen ejemplos de este tipo. La fertilidad de los últimos viene determinada por la funcionalidad de los sistemas montañas–rampas o laderas–vaguadas (flujos de agua y nutrientes, movimientos de la fauna y el ganado, etc.). En casi toda la geografía mediterránea la interrelación monte–pasto y monte–cultivo se basa en el mantenimiento del primero en las lomas, cerros o partes altas de las laderas, y los segundos en las zonas medias y bajas. El uso de fertilizantes químicos, tan extendido, exagerado y ligado a una economía agraria ficticia, no resulta suficiente a largo plazo para el mantenimiento de estos sistemas, de manera que la rotura de estas conexiones no puede desestimarse.

Otro caso del tipo de conexión fuente–sumidero lo constituyen las dunas costeras, cuyos aportes arenosos proceden del mar y las playas, estando representado el sumidero por las propias dunas. Existen muchos casos de rotura de esta conexión por el trazado de carreteras.

Estos últimos casos corresponderían a porciones ‘abiertas’ de la red, disipadoras de energía. En otros casos las conexiones a través de los corredores interesan a sistemas maduros, y estarían controladas tanto por fenómenos biológicos migratorios como por procesos físicos. Ambos tipos de conexiones pueden mantener a lo largo del año actividades ‘punta’ y actividades de ‘sosiego’ o reposo, según las condiciones climáticas estacionales, fenología, migración faunística, etc.

Los cerros, cumbres y cuerdas montañosas constituyen también corredores para migraciones biológicas y nodos ‘fuentes’ para procesos como los comentados. Su conservación pocas veces puede verse afectada por el trazado de redes viarias, pero sí su funcionalidad como fuentes.

Finalmente, en algunos países, la red de vías pecuarias mantiene aún su estructura esencial. Su existencia facilita el mantenimiento de la trama rural. Con frecuencia, la red de carreteras la ha alterado, destruido o utilizado, sin que la ingeniería haya buscado alternativa. Su conservación y rehabilitación en los tramos destruidos parece imperiosa y debe constituir en sí misma un objetivo de la red 2000–2025. Cruzar la red de infraestructuras previstas con la red ecológica natural teniendo en consideración todas estas circunstancias puede suponer pues

la completa descomposición de la segunda o su mantenimiento, si la funcionalidad de los distintos tipos de nodos, sumideros y flujos mantiene su eficacia.

Referencias

- Bennett, G. (Ed.), 1991. *Eeconet, An European Ecological Network*. Inst. European Environm. Policy Publ., Arnhem.
- Bennett, G. (Ed.), 1994. *Conserving Europe's Natural Heritage. Towards a European Ecological Network*. Graham y Trotman/M.Nijhoff, Internat. Environm. Law & Policy Series, Dordrecht.
- Bernáldez, F.G., 1981. *Ecología y Paisaje*. Blume, Madrid.
- Bernáldez, F.G., 1985. *Invitación a la ecología humana. La adaptación efectiva al entorno*. Tecnos, Madrid.
- Bernáldez, F.G., 1987. Las zonas encharcables españolas: el marco conceptual. En: *Bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid: 9-30.
- Bernáldez, F.G., 1989. Ecosistemas áridos y endorreicos españoles. En: *Zonas Áridas en España*. Real Acad. Española Ci. Exactas, Físicas y Naturales. Madrid: 66.109.
- Bernáldez, F.G., 1991. Diversidad biológica, gestión de ecosistemas y nuevas políticas agrarias. En: F.D. Pineda y otros (Eds.), *Diversidad Biológica*. SCOPE. WWF-Adena, F. Areces. Madrid: 23-32.
- Bernáldez, F.G., 1992a. Ecological aspects of wetland/groundwater relationships in Spain. *Limnetica* 8:11-26.
- Bernáldez, F.G., 1992b. *Los paisajes del agua: terminología popular de los humedales*. J.M. Reyero, Eds. Madrid.
- Bernáldez, F.G.; Herrera, P.; Levassor, C.; Peco, B. y Sastre, A., 1987. Las aguas subterráneas en el paisaje. *Investigación y Ciencia* 127:8-17.
- Bernáldez, F.G.; Rey Benayas, J.M.; Levassor, C. y Peco, B., 1989. Landscape ecology of uncultivated lowlands in central Spain. *Landscape Ecology* 3(1): 3-18
- Bunce, R.G.H.; Pérez-Soba, M.; Elbersen, B.S.; Prados, M.J.; Andersen, E.; Bell, M. y Smeets, P.J.A.M. (Eds.), 2001. *Examples of European agri-environment schemes and livestock systems and their influence on Spanish cultural landscapes*. Alterra, Wageningen.
- Burel, F. y Baudry, J., 2001. *Ecologie du paysage: concepts méthodes et applications*. Tec Doc-Lavoisier, París.

- Cairns, J. Jr. y Pratt, J.R., 1995. The relationships between ecosystem health and delivery of ecosystem services. En: D.J. Rapport; C. Gaudet y P. Calow (Eds.), *Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems*. Springer-Verlag, Heidelberg: 273-294.
- Casado, M.A.; de Miguel, J.M.; Sterling, A.; Peco, B.; Galiano, E.F. y Pineda, F.D., 1985. Production and spatial structure of Mediterranean pastures in different stages of ecological succession. *Vegetatio* 64: 75-86.
- Casado, M.A.; Abbate, G.; Blasi, C. y Pineda, F.D., 1989. Spatial heterogeneity in a clearing in aturkey oak (*Quercus cerris*) wood: pattern diversity analysis. *Vegetatio* 79: 143-149.
- Castro, H. (Dir.), 2002. *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Coopers y Lybrand., 1998. *Informes sobre el seguimiento del Accidente de Aznalcóllar*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Costanza, R. y Folke, C., 1997. Valuing Ecosystem Services with Efficiency, Fairness and Sustainability as Goals. En: G.C. Daily (Ed.), *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington.
- Costanza, R., 1992. Toward an operational definition of health. En: R. Costanza; B. Norton y B. Haskell (Eds.), *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, Washington: 239-255.
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P. y Belt, M. Van den., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Daily, G.C., 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington.
- De Graaf, H.J.; Musters, C.J.M. y ter Keurs, W.J., 1996. Sustainable development: looking for new strategies. *Ecological Economics* 16: 205-216.
- De Juana, E.; Díaz-Pineda, F.; Hedo, D.; Hernández, S.; Ladero, M.; Nardiz, C. y Valero, M.A., 1999. Marco Director de Carreteras: Metodología para el establecimiento de los Criterios Ambientales a incluir en los Estudios de Carreteras. Cartografía básica Medioambiental. *Informe para la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes*, Ministerio de Fomento, Madrid, 177 pp.
- De Pablo, C.L.; Peco, B.; Galiano, E.F.; Nicolás, J.P. y Pineda, F.D., 1982. Space-time variability in Mediterranean pastures analysed with diversity parameters. *Vegetatio* 50: 113-125.
- Ehrenfeld, D., 1995. The marriage of ecology and medicine: are they compatible? *Ecosystem Health* 1: 15-22.
- Fairman, R.; Mead, C.D. y Williams, W.P., 1998. Environmental Risk Assessment: Approaches, Experiences and Information Sources. European Environmental Agency. *Environm. Issues Series* 4. Copenhagen.

- Fortescue, J.A.C., 1980. *Environmental Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin.
- Glazovskaya, M.A., 1963. On geochemical principles of the classification of natural landscapes. *Internat. Geol. Rev.* 5(11): 1403-1431.
- Gómez Sal, A.; Rodríguez, M.A. y de Miguel, J. M., 1992. Matter transfer and land use by cattle in a dehesa ecosystem of Central Spain. *Vegetatio* 99-100: 345-354.
- González Bernáldez, F., 1988. Water and landscape in Madrid. Possibilities and limitations. *Landscape and Urban Planning* 16: 69-79.
- González Bernáldez, F.; Pérez, C. y Sterling, A., 1985. Areas of evaporative discharge from aquifers: Little known Spanish ecosystems deserving protection. *J. Env. Management* 21: 321-330.
- González Bernáldez, F.; Rey Benayas, J.M. y Martínez, A., 1993. Ecological impact of groundwater extraction on wetlands. *J. of Hydrology* 141: 219-238.
- Grimm, V.; Schmidt, E. y Wissel, C., 1992. On the application of stability concepts in ecology. *Ecol. Mod.* 63: 143-161.
- Harte, J. y Levy, D., 1975. Sobre la vulnerabilidad de los sistemas perturbados por el hombre. En: W.H. van Dobben y R.H. Lowe-McConnell (Eds.), *Conceptos unificadores en ecología*. Blume, Barcelona: 263-284.
- Hernández, S. y Pineda, F.D., 1998. *Ferrocarril de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Directrices para la restauración ambiental del trazado*. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, GIF. Mº Fomento, Madrid, 45 pp.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and Stability of ecological systems. *Ann. Rev.Ecol.Syst.* 4: 1-23.
- Holling, C.S., 1986. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. En: W.C. Clark y R.E. Munn (Eds.), *Sustainable development of biosphere*. Cambridge Univ. Press, New York: 292-317.
- Hruby, T., 1999. Assessments of wetland functions: What they are and what they are not. *Env. Manag.* 23(1): 75-85.
- Jabobs, J., 1975. Diversidad, estabilidad y madurez en ecosistemas influidos por las actividades humanas. En: W.H. van Dobben y R.H. Lowe-McConnell (Eds.), *Conceptos unificadores en ecología*. Blume, Barcelona:236-262.
- Jiménez, J.J.; Salvo Tierra, E. y Serrano, J. (Dirs.), 1999. La Estrategia del Corredor Verde del Guadiamar. *Conclusiones del Seminario Internacional sobre Corredores Ecológicos*. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Leigh, E.G., 1965. On the relationship between productivity, biomass, diversity and stability of a community. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 53:777-783.
- Lewontin, R.C., 1969. The meaning of stability. En: Diversity and stability in ecological systems. Brookhaven Nat. Lab. Springfield, V. *Symp. Biol.* 22:13-24.

- Llamas, M.R., 1988. Conflicts Between Wetland Conservation and Groundwater Exploitation. *Environ. Geol. Water Sci.* 11(3): 241-251.
- Maarel, E. Van der y Westhoff, V., 1964. The vegetation of the dunes near Oostvoorne. *Wentia* 12:1-61.
- Mac Arthur, R.H. y Wilson, E.O., 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17: 373-387.
- Mac Arthur, R.H. y Wilson, E.O., 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press, Princeton.
- Mageau, M.T.; Costanza, R. y Ulanowicz, R.E., 1995. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. *Ecosystem Health* 1: 201-213.
- Margalef, R., 1969. Diversity and Stability: A practical proposal and model of interdependence. Brookhaven Nat.Lab. Springfield, V. *Symp. Biol.* 22:25-37.
- Margalef, R., 1981. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- Margalef, R., 1991. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publs. Univ. de Barcelona, Barcelona.
- May, R.M., 1973. *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton Univ. Press, Princeton.
- McCoy, E.D. y Mushinsky, H.R., 1994. Effects of fragmentation on the richness of vertebrates in the Florida scrub habitat. *Ecology* 75 (2): 446-457.
- Meadows, D., 1996. Más allá de los límites. En: F.D. Pineda (Ed.), *Ecología y desarrollo*. Editorial Complutense, Madrid: 57-69.
- Montalvo, J.; Ramírez, L.; De Pablo, C.T.L. y Pineda, F.D., 1993. Impact Minimization through Environmentally-based Site Selection: a multivariate approach. *J. of Environm. Management* 38:13-25.
- Montes, C.; Borja, F.; Bravo, M.A. y Moreira, J.M., 1998. *Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
- Orians, G.H., 1975. Diversidad, estabilidad y madurez en los ecosistemas naturales. En: W.H. van Dobben y R.H. Lowe-McConnell (Eds.), *Conceptos unificadores en ecología*. Blume, Barcelona: 174-189.
- Pfadenhauer, J. y Grootjans, A., 1999. Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Appl. Veget. Sci.* 2: 95-106.
- Pineda, F.D., 1991. Conclusions of the international symposium on biological diversity of Madrid, J. *Veget. Science* 1: 711-712.
- Pineda, F.D., 1997. Las tramas territoriales ante la idea de desarrollo. *Naturzale* (Soc. de Estudios Vascos) 12:49-55.

- Pineda, F.D., 2001a. Las deficiencias ambientales de un Plan Hidrológico Nacional. En: P. Arrojo (Ed.), *El Plan Hidrológico Nacional a Debate*. Bakeaz, Bilbao.
- Pineda, F.D., 2001b. Espacio y tramas de funcionamiento en el paisaje mediterráneo. En: M. Morey y J. Mayol (Eds.), *El paisaje y el hombre: valoración y conservación del paisaje natural, rural y urbano*. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 37-54.
- Pineda, F.D.; Casado, M.A.; Peco, B.; Olmeda, C. y Levassor, C., 1987. Temporal changes in therophytic communities across the boundary of disturbeb-intact ecosystem. *Vegetatio* 71: 333-339.
- Pineda, F.D.; Montalvo, J.; Casado, M.A. y De Miguel, J.M. (Eds.), 1991. *Diversidad Biológica-Biological Diversity*. SCOPE. WWF-Adena, F. Areces, Madrid.
- Pineda, F.D.; Schmitz, M.F. y Hernández, S., 2002. Interacciones entre infraestructuras y conectividad natural del paisaje. En: *I Congr. Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*. Col. Ing. C.C. y Puertos, Madrid. Vol. I: 191-214.
- Polynov, B.B., 1956. *Izbr trudy*. Izd.-vo AN. SSSR, Moscov.
- Rapport, D.J. y Regier, H.A., 1995. Disturbance and stress effects on ecological systems. En: B.C. Patten y S.E. Jorgenson (Eds.), *Complex ecology: the part-whole in ecosystems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Rapport, D.J. y Turner, J.E., 1977. Economic models in ecology. *Science* 195: 367-373.
- Rapport, D.J., 1995. Ecosystem health: more than a metaphor? *Environ.Vaues* 4: 287-309.
- Rapport, D.J., 1998. Defining Ecosystem Health. En: D. Rapport; R. Costanza; P.R. Epstein; C. Gaudet y R. Levins (Eds.), *Ecosystem Health*. Blacwell, London: 18-33.
- Rapport, D.J.; Regier, H.A. y Hutchinson, T.C., 1985. Ecosystem behaviour under stress. *Am. Naturalist* 125: 617-640.
- Rey Benayas, J.M.; Bernáldez, F.G.; Levassor, C. y Peco, B., 1990. Vegetation of groundwater discharge sites in the Douro basin, central Spain. *J. of Veget. Sci.* 1: 461-466.
- Schmitz, M.F.; De Aranzabal, I.; Rescia, A. y Pineda, F.D., 2001. Implications of socio-economic changes in Mediterranean cultural landscapes. *Inst. Geographici Tartuensis* 92 (2):788-793.
- SEIT, 1999. *Marco Director de Carreteras. Cartografía Básica Medioambiental*. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes. Ministerio de Fomento, Madrid.

- Solntsiev, V.N., 1974. O niekotorikh fundamentalnykh svoistakh gheosistemnoi struktury. En: *Methody kompleksnykh issledovaniy gheosistem*. Akademya Nauk SSSR, Irkutsk.
- Soulé, M.E., 1991. Conservation: tactics for a constant crisis. *Science* 253: 744-750.
- Sterling, A., 1996. *Los sotos, refugios de vida Silvestre*. Publ. M° Agricultura, Madrid.
- Terradas, J., 1979. *Ecología y educación ambiental*. Omega, Barcelona.