

SUMARIO

Aproximación Ecosistémica y Gestión del Medio Natural.

Aproximación ecosistémica y la dimensión humana de los ecosistemas

La aproximación ecosistémica no es más que una línea de pensamiento y estrategia metodológica que permite analizar y modelar el complejo sistema de interrelaciones biofísicas, entre las que se incluye el ser humano, que definen la biosfera. Toma al ecosistema como unidad de estudio y busca, a través del conocimiento que se tiene sobre los principios unificadores que explican su organización y dinamismo, entender el funcionamiento del medio natural y las relaciones causa-efecto que se establecen cuando se le aplican, por parte de los sistemas humanos, diferentes modelos de explotación. El objetivo final del enfoque ecosistémico es facilitar la creación de modelos de explotación-conservación del medio natural, incluyendo sus recursos, que sean viables a largo plazo. Desde el análisis ecosistémico se pretende desarrollar estrategias operativas de gestión fundamentadas en el conocimiento científico de los sistemas ecológicos y socioeconómicos, para generar modelos multiescalares de sistemas ecológico-económicos que sean ambientalmente sostenibles y, por consiguiente, ecológica, económica y socialmente sanos. De esta forma la aproximación ecosistémica se ve implicada en la caracterización de un atributo de los ecosistemas relacionado con el binomio producción-conservación que es la *salud ecológica* o la capacidad que poseen estos para suministrar, de forma sostenible, recursos a los sistemas humanos. Esta idea de que los ecosistemas poseen "salud" está ligada al concepto de *integridad ecológica* que, a su vez, se refiere a la persistencia del funcionamiento de los sistemas ecológicos y su resiliencia. Para que un ecosistema tenga salud necesariamente tiene que poseer un cierto nivel de integridad es decir, mantener su estructura, su funcionamiento y su desarrollo en el tiempo además de su estabilidad relativa (resiliencia) o capacidad de absorber el estrés generado por perturbaciones de origen natural y/o humano.

El mantenimiento de la salud y, por tanto, de la integridad, añade un valor social a los ecosistemas, ya que algunas de sus funciones generan servicios y algunos de los elementos de su estructura biótica y abiótica constituyen bienes, o de otra forma, producen recursos que pueden tener valor (recursos naturales) o no tenerlo (recursos ambientales o potenciales) en los sistemas de mercado y que engendran beneficios muy importantes para la economía, salud pública, y el bienestar general de los seres humanos. Los ecosistemas sanos constituyen un capital natural que es caracterizado y evaluado por la aproximación ecosistémica mediante sistemas de evaluación funcional que ponen de manifiesto los bienes y servicios que generan o pueden generar a la sociedad humana. Estos procedimientos de evaluación funcional, no son considerados en este trabajo, pero encuentran su referencia conceptual y metodológica en los manuales desarrollados para ecosistemas de humedales en países como Canadá, Estados Unidos o Europa.

De esta manera, la salvaguarda de la integridad ecológica, es decir el mantenimiento de las funciones y la resiliencia de los ecosistemas se traduce en un suministro, a largo plazo, de recursos que hay que incluir o internalizar en la contabilidad económica de los sistemas humanos. El problema estriba en que algunos de los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas no están retribuidos en el mercado. De esta tarea, entre otras, se encarga la Economía ecológica que, en su objetivo de ligar los conocimientos del medio natural y la Economía para conseguir un sistema ecológico-económico ambientalmente sostenible, realiza una cuantificación económica del capital natural de los ecosistemas y efectúa una contabilidad multiescalar (nacional, regional, local) de los sistemas naturales-humanos. Actualmente la valoración

económica de los servicios de los ecosistemas constituye uno de los temas de trabajo más importante de la Economía ecológica. De cualquier forma la meta final de esta línea integradora de pensamiento está en el desarrollo y utilización de instrumentos económicos que ayuden a la elaboración de modelos de sistemas ecológico-económicos que mantengan indefinidamente sin interrupciones, pérdidas o debilitamiento el capital natural para que, de esta forma, se pueda asegurar la sostenibilidad del capital construido, del capital social y del capital humano de los sistemas socioeconómicos. Desde la aproximación ecosistémica, un sistema ecológico que, manteniendo su integridad, suministra recursos a los sistemas socioeconómicos se considera que tiene salud ecológica, y desde la Economía ecológica un sistema socioeconómico que mantenga sus funciones económicas y sociales, es decir su integridad socioeconómica, sin sobrepasar la capacidad de carga y resiliencia de los ecosistemas que explota, es económica y socialmente sano. De una forma sistémica las dos aproximaciones trabajan por integrar conocimientos y metodologías que permitan conseguir un sistema ecológico-económico ambientalmente sostenible, es decir que asegure indefinidamente su integridad y salud ecológica y socioeconómica.

Es así como la aproximación ecosistémica al considerar la dimensión humana de los sistemas ecológicos posee una clara vocación aplicada, alejándose de planteamientos excesivamente teóricos o académicos. Es evidente que todas las formulaciones teóricas anteriores son estériles sino se traducen en criterios y modelos realistas de actuación que permitan a los políticos y gestores tomar decisiones sobre la explotación-conservación del medio natural. Este es el gran desafío del análisis ecosistémico y, por este motivo, defiende y promueve la potenciación de métodos operacionales que permitan poner en práctica estrategias de gestión basada en la salud de los ecosistemas, ya que por su enfoque conceptual y metodológico además de integrar transdisciplinarmente los conocimientos de diferentes disciplinas del campo de las ciencias de la naturaleza al objeto de caracterizar la integridad ecológica de los sistemas ecológicos, sirve de puente de comunicación y de integración del conocimiento científico y las demandas sociales.

Aproximación ecosistémica y planificación integrada del territorio.

Desde la óptica anterior, todos los procedimientos conceptuales y prácticos que utiliza la aproximación ecosistémica constituyen herramientas para el desarrollo de una planificación integrada y gestión del capital natural de un territorio. Bajo este principio, en este sumario se intenta hacer una sinopsis de las aplicaciones del análisis ecosistémico a la gestión multidimensional y jerárquica de los recursos naturales y potenciales, a través de los fundamentos y métodos que se explican con mayor detalle en los distintos capítulos del libro. Como hilo conductor se emplean las Figuras S.1. y S.2. en donde se muestran las etapas y procedimientos más importantes que se deberían seguir, desde el análisis ecosistémico, para el desarrollo de un proceso de planificación integrada y una gestión multiescalar de los recursos proporcionados por los distintos tipos genético-funcionales de ecosistemas de un territorio.

Dentro de este marco teórico-práctico, el objetivo de esta primera parte de la monografía se centra no sólo en mostrar la filosofía y las bases conceptuales y metodológicas de la aproximación ecosistémica, sino en la presentación de la trama ecológica que rodea al aspecto más importante relacionado con su desarrollo e implementación, esto es, la comprensión, caracterización y conservación de la integridad ecológica de los ecosistemas. Predecir qué factores regularán la organización, funcionamiento y dinamismo de los ecosistemas de un territorio, es decir, la integridad ecológica de éstos, es uno de los desafíos más

importantes que posee la aproximación ecosistémica, ya que constituye un tema fundamental para la evaluación funcional y por consiguiente para la valoración socioeconómica de los sistemas ecológicos y el capital natural que representan.

Si los recursos naturales y potenciales no son más que los bienes y servicios que los seres humanos extraen o pueden extraer de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, es evidente que sin un conocimiento profundo de estas unidades funcionales que conforman nuestro planeta no podremos elaborar esos modelos sólidos de sostenibilidad ambiental que se buscan desde múltiples disciplinas de las ciencias ambientales. De esta forma, se intenta romper la práctica tradicional de considerar a los recursos naturales como elementos aislados y no como componentes de un sistema ecológico. Pero desgraciadamente, todavía es frecuente oír hablar de recursos madereros y no de ecosistemas de bosque o de recursos hídricos y no de ecosistemas acuáticos. Esta visión sectorial, fragmentada y errónea de entender la explotación de la naturaleza ha generado y genera graves problemas de conservación de muchos tipos de ecosistemas, ya que al extraer o utilizar uno de sus componentes sin tener en cuenta la trama de interrelaciones biofísicas de la que forma parte deteriora o destruye la integridad del sistema ecológico que suministra ese recurso.

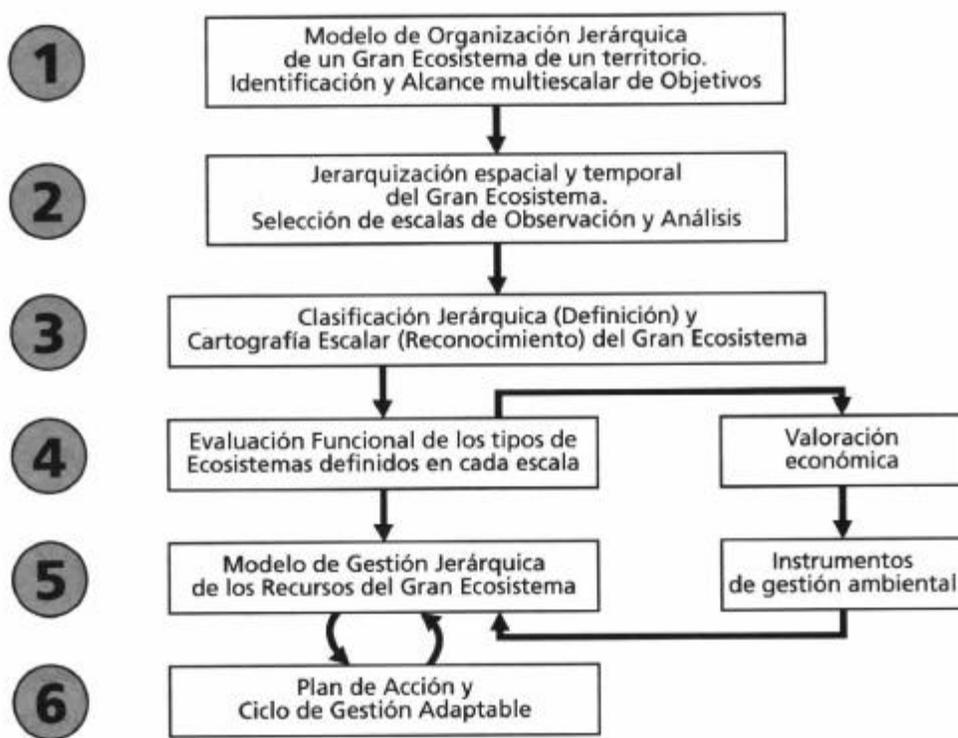


Figura 5.1. Etapas básicas, según la aproximación ecosistémica, para el desarrollo de una planificación integrada y gestión multidimensional y jerárquica de los recursos proporcionados por los ecosistemas de un territorio. Se muestra su relación con las técnicas que el análisis económico propone para la valoración económica de la integridad de los sistemas que facilitan el desarrollo de herramientas de gestión ambiental que ayudan a la creación de sistemas ecológico-económicos ambientalmente sostenibles.

Aproximación ecosistémica y organización jerárquica de ecosistemas.

Un ecosistema no es más que una unidad funcional del planeta de cualquier magnitud, incluida la totalidad de la biosfera, que se auto-organiza en el tiempo y que está estructurada por elementos no vivos y vivos, incluidos los seres humanos, ligados por una trama de relaciones biofísicas de interdependencia. Cada tipo de ecosistema posee una organización estructural y un dinamismo particular que determina su propia identidad funcional y define, en términos de gestión y conservación, una integridad ecológica característica. No hay que olvidar que los sistemas de uso tradicionales de los recursos naturales juegan también un papel muy importante en la constitución de la integridad ecológica de muchos tipos de ecosistemas, habiéndose establecido históricamente una especie de proceso de coevolución entre las fuerzas naturales y culturales. De hecho, el análisis de la cultura rural o de la diversidad cultural de un territorio es un aspecto muy importante a la hora de caracterizar la integridad ecológica de muchos ecosistemas, especialmente los ubicados en la Cuenca Mediterránea.

El análisis ecosistémico trata de identificar los factores de control más importantes que determinan los procesos biofísicos esenciales que definen la integridad de los sistemas ecológicos y, por tanto, sus recursos. Pero esta tarea es bastante complicada ya que, por el alto grado de heterogeneidad ecológica del medio natural, muchos ecosistemas presentan una combinación de comportamientos deterministas, estocásticos y caóticos que complican enormemente los procedimientos de caracterización de su integridad y de elaboración de predicciones y estrategias de gestión de sus recursos. Los responsables de esta gran heterogeneidad son los factores bióticos y abióticos que, al operar simultáneamente en múltiples escalas espaciales y temporales de gran amplitud -desde micrómetros hasta Km^2 y desde segundos hasta miles de años o más-, transmiten esta variabilidad a los procesos y patrones que explican la identidad de los sistemas ecológicos.

Dentro de este cuadro de complejidad, la comprensión de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y, por tanto, de su integridad requiere un nuevo marco conceptual y una aproximación empírica que en la actualidad han sido suministrados por la teoría jerárquica de sistemas y facilitado en su aplicación práctica al territorio por la revolución que las nuevas tecnologías de la información han provocado en las posibilidades de creación e interrelación de variables en el tiempo y el espacio.

Bajo la teoría jerárquica, un ecosistema se entiende como sistema complejo organizado estructural y funcionalmente según una configuración jerárquica formada por una serie de componentes interdependientes constituidos por los distintos compartimentos de su estructura abiótica y biótica y por los procesos biofísicos de carácter genético que determinan su comportamiento ecológico. Su funcionamiento global es el resultado de una jerarquía de relaciones de dominio de los compartimentos superiores (abióticos) sobre los inferiores (bióticos) y, en menor medida, de los inferiores sobre los superiores.

Por otro lado, cada nivel jerárquico o componente necesita una dimensión espacial suficiente para su estructura pueda expresarse en forma de patrones biofísicos espaciales y una dimensión temporal determinada para que sus procesos puedan operar. De esta forma, la integridad de los ecosistemas se articula alrededor de una jerarquía vertical de relaciones de dependencia entre sus componentes y una jerarquía horizontal de escalas espaciales y temporales. La consecuencia más importante de concepcionar el ecosistema como una unidad funcional organizada jerárquicamente es que cada factor, proceso, patrón o atributos emergentes como la heterogeneidad, estabilidad, sucesión y, por tanto, la integridad, e incluso los

modelos de gestión y los problemas ambientales hay que analizarlos en la escala espacio-temporal más adecuada, ya que dependiendo de la escala de observación y análisis, las conclusiones que podemos obtener son muy diferentes. Por tales motivos, los distintos aspectos de los ecosistemas incluyendo su integridad tienen que ser estudiados en una escala espacial y temporal concreta o lo que es más frecuente, en un rango más o menos amplio de ellas.

Una estrategia para realizar este análisis multiescalar de los diversos aspectos teóricos y aplicados que caracterizan a los sistemas ecológicos es considerar el medio natural como una jerarquía de ecosistemas interdependientes de diferente tamaño. En un medio natural cualquiera, es posible caracterizar, a diferentes escalas espaciales, patrones biofísicos (climáticos, litológicos, vegetación, etc.), más o menos homogéneos, como resultado de la estructura de uno o más de sus niveles jerárquicos. Estas pautas espaciales, a su vez, vienen acompañadas de una escala temporal de formación concreta que define el tiempo de actuación de los procesos genéticos que las determinan. De esta manera, el medio natural o Gran Ecosistema del que se parte puede dividirse en ecosistemas interdependientes de diferentes tamaños que en este trabajo recibirán nombres como ecodistrito, ecosección, ecotopo, cuya explicación veremos más adelante, agrupados alrededor de los factores de control y procesos genéticos que definen uno o más niveles jerárquicos. Los distintos tipos de ecosistemas definidos en cada una de las escalas espaciales consideradas, poseen una determinada integridad ecológica que viene caracterizada por factores y procesos físicos en escalas grandes, por lo que podemos hablar de geosistemas, y por factores y procesos biofísicos y biológicos para escalas intermedias y pequeñas, refiriéndonos, entonces, a ecosistemas en sentido estricto o a biosistemas. El mérito de este proceso de jerarquizar espacialmente la trama de relaciones biofísicas del medio natural, es que permite seleccionar, de una forma sencilla y segura, la escala o escalas más adecuadas para enfocar un fenómeno o un problema ambiental a analizar o también, para dar respuestas sólidas a preguntas relacionadas con el estudio o gestión del medio natural.

Aproximación ecosistémica, clasificación jerárquica y cartografía escalar de sistemas ecológicos.

Por otro lado, la gran heterogeneidad estructural y funcional, así como el elevado dinamismo de los sistemas ecológicos, descrita por su organización jerárquica, explican el hecho de que no exista un modelo general o fórmula universal para la conservación de la integridad de los ecosistemas y, por tanto, para la gestión de sus recursos naturales. Existen unos principios generales, como los planteados por la aproximación ecosistémica, pero es indispensable desarrollar actuaciones de gestión y conservación apropiadas al funcionamiento particular o integridad concreta, de cada tipo de ecosistema definido en una determinada escala espacial. Esto nos conduce a que, sí queremos desarrollar un plan estratégico regional para la explotación-conservación de los recursos naturales de un territorio será necesario elaborar una clasificación jerárquica de los ecosistemas que suministran esos servicios. Utilizando el modelo de organización jerárquica de sistemas y, en función de los problemas y preguntas planteadas, se definen las escalas espaciales y temporales más adecuadas y se jerarquiza el medio natural en ecosistemas de diferentes tamaños y rangos de tiempo de génesis o formación de éstos (ecodistrito, ecosección, ecotopo). A continuación para cada una de esas escalas de ecosistema se elabora una clasificación genético-funcional, es decir basada en la caracterización de la integridad ecológica, de los ecosistemas pertenecientes a cada nivel espacial considerado. De esta forma, más que una clasificación jerárquica de un Gran Ecosistema a diferentes escalas, obtenemos un conjunto de clasificaciones interdependientes o sistema de clasificación, ya que cada nivel espacial tiene su propia clasificación.

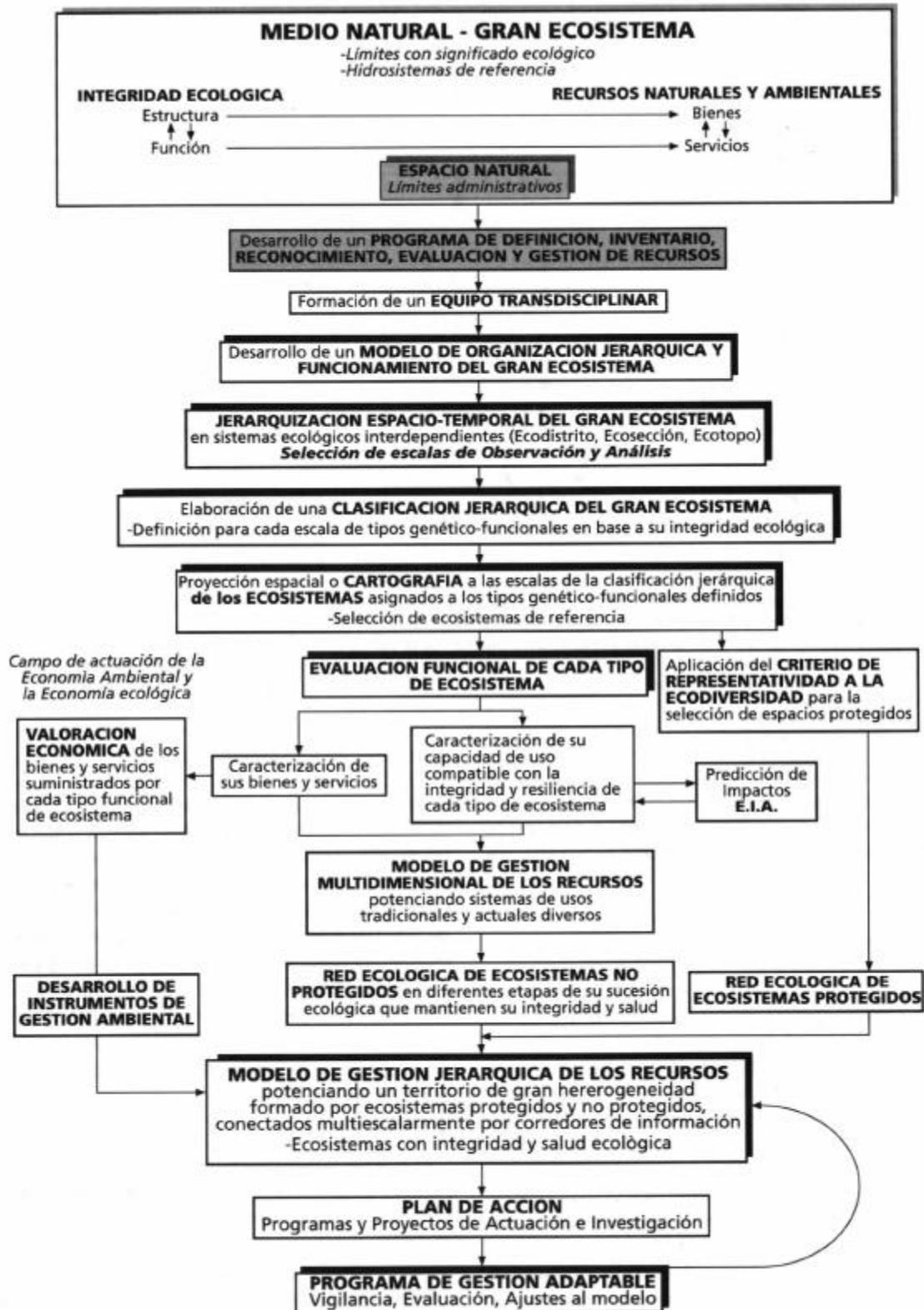


Figura 5.2. Organigrama general que recoge los procedimientos a seguir para el desarrollo de una planificación integrada y gestión ecosistémica es decir, multidimensional y jerárquica de los recursos suministrados por los ecosistemas de un territorio.

Dentro de este contexto, la medida de la integridad ecológica de los ecosistemas es un tema polémico sobre el que existen grandes vacíos de conocimiento y los indicadores estructurales o funcionales desarrollados al respecto, no han dado los resultados esperados. En la actualidad, más que aspirar a medir un nivel de integridad o funcionalidad de los ecosistemas se intenta caracterizar para ecosistemas definidos a escalas grandes (geosistemas) los factores y los procesos físicos distales (climáticos, geoestructurales, morfogenéticos, etc.) que determinan su estructura y funcionamiento, y para ecosistemas de escalas medias y pequeñas, las especies esenciales (claves y/o ingenieras) y los procesos biofísicos básicos. En último término los criterios y parámetros a emplear toman como referencia la evaluación de la resiliencia de los ecosistemas. Las clases del sistema de clasificación de ecosistemas a diferentes escalas espaciales o clasificación jerárquica se definen, por tanto, en función de las relaciones causales o procesos genéticos esenciales que definen su integridad ecológica. De esta manera, los ecosistemas de cada escala espacial seleccionada son asignados a distintos tipos genético-funcionales definidos por una integridad propia. Desde otro punto de vista, también podemos caracterizar la integridad ecológica en términos del capital natural de los distintos tipos funcionales de ecosistemas de un territorio, ya que al conservarla aseguramos el suministro de recursos.

Una vez definidos los ecosistema de un territorio, es decir clasificados jerárquicamente en tipos genético-funcionales podemos, a través de su componente perceptible o paisaje, reconocerlos y cartografiarlos a cada una de las escalas seleccionadas. De esta forma, con los ecosistemas de un territorio cartografiados en mapas a distintas escalas, podemos analizar las relaciones horizontales de intercambio de materia y energía que se establecen entre estas unidades funcionales, y establecer criterios para estudiar y gestionar el medio natural y sus recursos como una entidad integrada. Los mapas de ecosistemas a distintas escalas se constituyen, pues, en un elemento básico de cualquier análisis ambiental. También, en este contexto, las nuevas tecnologías de la información como los S.I.G. y la teledetección espacial suponen, hoy día, herramientas básicas para procesar información georreferenciada e interrelacionada en el espacio y en el tiempo. En resumen, la clasificación jerárquica y la cartografía de ecosistemas a diferentes escalas espaciales se convierten en las dos herramientas básicas que tiene la aproximación ecosistémica para introducirse de lleno en el campo de la planificación integrada y la gestión de recursos naturales.

Por otra parte, no hay que olvidar que para el desarrollo de un modelo simple de organización y funcionamiento del medio natural, a estudiar y gestionar, basado en la teoría jerárquica es necesario, en primer lugar, acotar dentro de un territorio un espacio geográfico de partida o Gran Ecosistema con unos límites naturales lo suficientemente amplios como para incluir en su interior el ámbito administrativo considerado. En segundo lugar, este Gran Ecosistema sobre el que se realiza el proceso de subdivisión o delimitación de las escalas espaciales sobre las que se van a definir (clasificar) y reconocer (cartografiar) ecosistemas, necesita de un hidrosistema de referencia, que generalmente se corresponde con las cuencas hidrológicas y/o acuíferos que drenan sus flujos de aguas superficiales y subterráneas hacia ese gran sistema ecológico.

Aproximación ecosistémica y evaluación funcional de ecosistemas.

Como se comentará posteriormente, el inventario, la clasificación y la cartografía de ecosistemas a diferentes escalas espaciales constituyen una de las etapas básicas e iniciales en el proceso de inventario, clasificación, caracterización espacial, diagnóstico y posterior evaluación y valoración de los recursos naturales renovables de un territorio. De hecho, con los ecosistemas de un medio natural clasificados

jerárquicamente en distintos tipos genético-funcionales y cartografiados a diferentes escalas espaciales, podemos aplicar cualquier método que seleccionemos, entre los disponibles, para la evaluación funcional de cada tipo de ecosistema, y de esta forma caracterizar cualitativa y cuantitativamente los servicios que potencialmente pueden suministrar a los sistemas socioeconómicos de un territorio. Antes de pasar a la valoración económica de este capital natural, organizado jerárquicamente por las clasificaciones y proyectado espacialmente en los mapas de ecosistemas a diferentes escalas espaciales, es necesario definir, desde la evaluación funcional, las cotas o niveles máximos de explotación de los recursos y la capacidad de asimilación de residuos que puede asumir cada tipo funcional de ecosistema sin perder integridad y por tanto, su resiliencia. Este hecho, determina que cada tipo genético-funcional de ecosistema tendrá una determinada capacidad de uso general o vocación y una aptitud específica para determinadas clases y niveles de intensidad de actividades humanas (agricultura, ganadería, forestal, etc.). De esta manera, y en función de las restricciones biofísicas que impone cada tipo de ecosistema al desarrollo determinadas actividades de explotación-conservación de sus recursos, es necesario asignar a los sistemas ecológicos de un territorio aquellos usos humanos que permitan el mantenimiento de su funcionalidad y capacidad de recuperarse frente a las perturbaciones naturales y/o antrópicas. En este contexto, la predicción y evaluación de las consecuencias que conlleva la implantación de usos nos mete de lleno en el campo de la *Evaluación del Impacto Ambiental* (Fig. S.2.).

Aproximación ecosistémica y espacios naturales.

De entre todos los usos posibles, el más relacionado con el análisis ecosistémico y el que debería determinarse en primer lugar, es el de protección legal de ecosistemas; es decir la capacidad de formar parte de la red de espacios naturales protegidos de una administración ambiental. En este sentido y en relación a la política de espacios naturales protegidos, no todos los ecosistemas de un territorio tienen el mismo valor de cara al desarrollo de un programa de conservación. Por ello, y dado que los recursos institucionales suelen ser escasos, es necesario emplear criterios de valoración que generen una lista de preferencias de actuación. El desconocimiento de la mayoría de las comunidades biológicas de los ecosistemas y de sus aspectos funcionales, unido a la urgencia de adoptar medidas de protección, han hecho que la política más efectiva de conservación sea la que viene definida por el *criterio de representatividad* que aplicada a los ecosistemas constituye la protección de la *ecodiversidad*. Dicho de otro modo, la conservación efectiva de una fracción representativa de cada uno de los tipos genético-funcionales de ecosistemas de un determinado territorio, definidos mediante un procedimiento de clasificación jerárquica. De esta forma, preservando la *ecodiversidad* aseguramos los procesos ecológicos esenciales que ligan a los organismos, sus poblaciones y comunidades a sus hábitats, por lo que garantizamos la conservación de la biodiversidad de un medio natural. No hay que olvidar que la *ecodiversidad* debe incluir, como criterio preferente, la conservación no sólo de un porcentaje de los sistemas ecológicos de cada uno de los tipos genéticos-funcionales definidos en la clasificación jerárquica de un Gran Ecosistema, sino también cada uno de sus correspondientes ecosistemas de referencia sobre los que se establecen estándares de cuadros de integridad ecológica.

Por otro lado, la aproximación ecosistémica también aborda el significado y el alcance de la diversidad biológica en relación a los procesos claves que determinan la integridad ecológica de ecosistemas incluidos dentro de sistemas ecológicos-económicos muy dinámicos. De esta forma, se centra en la caracterización y mantenimiento de la *diversidad funcional* de los ecosistemas al objeto de que estos puedan mantener su capacidad de suministrar, bajo un amplio rango de condiciones ambientales, los valores y productos que sostienen a las sociedades humanas. En este sentido el objetivo, popularmente aceptado, de

conservación de la biodiversidad se traduce, bajo la perspectiva ecosistémica, más que en preservar la "librería genética" de un territorio junto con las poblaciones de especies singulares y/o emblemáticas, en desarrollar programas de investigación-conservación que permitan la caracterización y protección de *organismos ecológicamente esenciales (especies claves e ingenieros)* es decir, que controlan o conducen los procesos biofísicos críticos que determinan la funcionalidad de los ecosistemas y por tanto garantizan parte de su capacidad de responder a las perturbaciones naturales y antrópicas manteniendo, en el tiempo, su integridad. La conservación de la diversidad funcional, que implica la protección de estas especies ecológicamente esenciales, supone un "colchon" o amortiguador frente a perturbaciones anómalas y un "seguro natural" para el mantenimiento, a largo plazo, de los servicios que los ecosistemas suministran a la humanidad. Las actividades económicas serán por tanto sustentables mientras que los ecosistemas de los que extraen sus recursos sean resilientes y mantengan su integridad ecológica.

Por otra parte, resulta evidentemente que si conservamos la diversidad funcional y por tanto los procesos de auto-organización de los ecosistemas y los patrones de resiliencia que generan, garantizamos a la vez la protección del patrimonio de biodiversidad de un territorio. De esta forma, el enfoque ecosistémico entiende que el empobrecimiento de la biodiversidad en general y de la diversidad funcional en particular implica una disminución de la resiliencia y una amenaza a la funcionalidad de los sistema afectando a los bienes y servicios que suministran a los sistemas económicos y por consiguiente poniendo en peligro su salud económica y social.

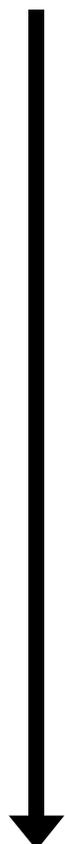
Según lo expuesto anteriormente y dentro de la asignación de usos a los ecosistemas de un territorio, bajo la aproximación ecosistémica los espacios naturales protegidos se consideran sólo un instrumento de la planificación integrada y no, como suele ser frecuente, una finalidad. Lo que se intenta defender y promover, en último término, es un modelo de gestión jerárquica de los recursos naturales, es decir, un modelo en consonancia con los valores instrumentales de los tipos genético-funcionales de ecosistemas definidos a diferentes escalas espaciales. El resultado final sería un territorio con una gran heterogeneidad ecológica y con un elevado grado de intercomunicación multiescalar, a través de corredores físicos, biológicos o culturales de información. Esta meta se consigue impulsando modelos multidimensionales y multiescalares de explotación de los recursos naturales que, al favorecer sistemas tradicionales y actuales de uso muy diversos, conforman un territorio de gran variabilidad ecológica constituido por ecosistemas intercomunicados, protegidos y no protegidos, en diferentes estadios de su sucesión ecológica; desde ecosistemas terminales muy bien conservados, generalmente protegidos, hasta un gradiente de espacios modulados por el hombre.

Aproximación ecosistémica y gestión preventiva del medio natural.

Desde el enfoque ecosistémico se potencia las denominadas estrategias de *gestión preventiva*, que tienen como seña de identidad el desarrollo de actuaciones dirigidas a anticiparse a los problemas ambientales y no sólo a actuar cuando éstos aparecen. Bajo este razonamiento, una vez elaborado el modelo de gestión ecosistémica de los recursos que suministran los ecosistemas de un territorio, se diseña un Plan Jerárquico de Acción formado por programas de actuación e investigación a varias escalas que se acoplan a la jerarquía de objetivos establecida al principio (Fig. S.2). El proceso de planificación finalizaría de una forma recurrente; es decir, se elaboraría y se pondría en marcha un ciclo de *gestión adaptable* mediante el cual, el modelo de gestión es perfeccionado a través de sistemas de vigilancia y autoevaluación de las

actuaciones desarrolladas, empleando variables e indicadores selectos para cada nivel de actuación, y por tanto, de observación y análisis (Tabla S.1) De esta forma la gestión adaptable estudia las relaciones causa-efecto de las actuaciones humanas en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas al objeto de crear un plan permanente de vigilancia que permita el mantenimiento de su integridad ecológica frente a cualquier perturbación de origen natural o antrópica que pueda ponerla en peligro. Por tanto es necesario que en el diseño de cualquier Plan de Acción se incorpore y se aseguren los fondos para el desarrollo del programa de seguimiento y evaluación que se ejecute de una forma paralela con los proyectos de actuación.

Tabla S.1. Algunas variables a considerar en relación a una jerárquia de escalas para el desarrollo de un plan de vigilancia y seguimiento de la integridad de los sistemas ecológicos de una Gran Ecosistema.



ECODISTRITO	Factores climáticos Tasas erosión/sedimentación Fragmentación del habitat Evolución geoquímica agua subterránea Evolución hidrodinámica agua subterránea
ECOSECCION	Evolución procesos geodáficos Evolución niveles piezométricos
ECOTOPO	Ciclo de nutrientes básicos Tasas de descomposición Metabolismo Sucesión
COMUNIDAD	Riqueza y diversidad de especies Redes tróficas
POBLACION	Abundancia y distribución Tamaño mínimo viable de poblaciones claves e ingenieras de ecosistemas Dinámica de poblaciones claves e ingenieras de ecosistemas
ORGANISMO	Tasas de crecimiento y reproducción de especies claves e ingenieras Ciclo vital Plasticidad fenotípica



Figura 5.3. Esquema conceptual que muestra cómo a través del análisis ecosistémico y, basándose en el modelo de organización jerárquica y funcionamiento del medio natural, puede realizarse una gestión coordinada, *multidimensional y jerárquica*, de sus recursos; en otras palabras, el territorio a explotar-conservar se entiende como un todo, como una entidad integrada y unitaria. En cierta manera justifica la filosofía de la célebre máxima "piensa globalmente y actúa localmente".

Aproximación ecosistémica y gestión unitaria y jerárquica del medio natural.

Como resumen, la jerarquía de objetivos a alcanzar por el modelo de gestión de recursos determinará en cada momento qué factores de control, procesos y escalas espaciales o tamaños de ecosistemas serán los más adecuados para iniciar la clasificación jerárquica del medio natural. Este sistema de clasificación permitirá la elección del mapa o mapas de ecosistemas a las escalas más adecuadas que recoja, con la mayor fiabilidad posible, la heterogeneidad de la estructura ecológica de un territorio. De esta manera, se facilita los procedimientos de evaluación y valoración de los recursos, incluyendo la caracterización de la vocación de los distintos tipos funcionales de ecosistemas de un territorio a los diferentes usos potenciales. Se pone así de manifiesto la importancia de vincular la jerarquía de los ecosistemas a una jerarquía de objetivos de gestión, ya que al concebir el territorio como un conjunto de ecosistemas interdependientes, grandes y pequeños, permite planificarlo y gestionarlo desde una perspectiva multidimensional y multiescalar, como una entidad integrada y unitaria (Fig. S.3.). En general, las escalas amplias por encima de ecodistritos son adecuadas para definir las grandes directrices de la política ambiental de territorios extensos; mientras que las escalas reducidas, las desarrolladas en los niveles de ecosecciones y ecotopos, constituyen excelentes referentes para la puesta en marcha de programas concretos de diagnóstico, evaluación y valoración de impactos y ordenación de recursos naturales.

En este contexto, la aproximación ecosistémica al superar, mediante la teoría jerárquica de sistemas, los problemas de integración y las formas de expresarse espacialmente y de operar en el tiempo los componentes abióticos y bióticos de los ecosistemas, contribuye a resolver uno de los problemas más importantes relacionado con la viabilidad a largo plazo de los programas y proyectos de gestión de recursos: la fragmentación y falta de coordinación entre las distintas administraciones implicadas en la explotación-conservación del medio natural. Actualmente distintas entidades europeas, nacionales, autonómicas, provinciales, municipales, ponen en práctica programas de gestión que se manifiestan a diferentes escalas espaciales y temporales y actúan a distintas velocidades e intensidades. Normalmente, al no existir una coordinación entre ellas se genera un complejo sistema de interrelaciones desordenadas que dificultan, limitan y lo que es más frecuente impiden el desarrollo de modelos de gestión que sean capaces de abordar con eficacia la complejidad de la mayoría de los problemas ambientales. Se suele llegar a una ausencia de objetividad a la hora de aplicar los instrumentos de gestión ambiental imperando, en muchos casos, los criterios de oportunismo político frente a una gestión racional de los recursos. De esta forma, aunque se dictaminan y se ratifican Convenios internacionales, Programas, Directivas de la Unión Europea junto con legislaciones nacionales y autonómicas, la diversidad de competencias y la falta de coordinación en el campo legislativo y de gestión, crea un marco de confusión muy importante que se traduce en una ausencia de actuaciones dinámicas y eficaces encaminadas a conseguir una política de conservación de la integridad de los ecosistemas de un territorio.

Para superar este problema, el análisis ecosistémico, a través del modelo de organización jerárquica y funcionamiento del medio natural, facilita el desarrollo de una gestión coordinada, multidimensional y jerárquica, de sus recursos. En definitiva, permite desarrollar modelos integrados de gestión del medio natural a diferentes niveles de planteamiento territorial, proporcionando mediante la clasificación jerárquica y la cartografía ecológica, información georreferenciada, desde escalas regionales a locales sobre la integridad de sus ecosistemas y los recursos que representan. Facilita por tanto el establecimiento de un flujo de información integrada sobre el medio natural destinada a gestores, planificadores, científicos, técnicos y usuarios en general.

Aproximación ecosistémica y predicción de impactos ambientales.

Por otra parte, el modelo de organización jerárquica y funcionamiento de los ecosistema también sirve para facilitar y simplificar la toma de decisiones relacionadas con las respuestas que tendrán los ecosistemas frente a determinadas perturbaciones de origen natural y/o humano (impactos). Según el modelo jerárquico, dado que los ecosistemas se definen a diferentes escalas espaciales y que éstos se presentan ligados por relaciones de dependencia, básicamente desde los niveles superiores a los inferiores, una modificación en un nivel del sistema afecta siempre a los componentes más pequeños. Este enfoque nos permite caracterizar las conexiones que se establecen entre una acción realizada en un nivel jerárquico, y por tanto a una determinada escala espacial, y su efecto en otro nivel o escala.

Por estas relaciones de interdependencia que se establecen entre los ecosistemas, y habida cuenta de que también los planes de gestión actúan a diferentes niveles territoriales (nacional, autonómico, regional, comarcal, municipal, local), se impone un análisis multiescalar de las perturbaciones naturales e impactos. Es decir, un examen de sus efectos a diferentes escalas espaciales para, de esta manera, evaluar y predecir sus consecuencias globales. También hay que tener en cuenta que las perturbaciones e impactos van a afectar de diferente manera e intensidad a distintos tipos genético-funcionales de ecosistemas. Bajo esta idea, dos ecosistemas pertenecientes al mismo tipo funcional tendrán respuestas muy parecidas frente a similares perturbaciones naturales y/o antrópicas. En este contexto, la clasificación jerárquica y cartografía de ecosistemas se convierten en excelentes instrumentos para reconocer y delimitar áreas homogéneas con distinta sensibilidad a riesgos ambientales y, de esta forma, obtener criterios particulares para desarrollar actuaciones de conservación y gestión apropiadas a cada tipo genético-funcional definido.

Partiendo de las consideraciones anteriores, el efecto de las perturbaciones sobre los ecosistemas pueden analizarse a modo de un *sistema proceso-respuesta*, el cual se manifiesta en forma de una cadena o "cascada" de acontecimientos que evolucionan desde los niveles superiores a los inferiores, de arriba a abajo en la jerarquía de escalas. El encadenamiento de procesos que se desata tras la perturbación sigue la dirección de los flujos de energía y materia que indican el itinerario del modelo de organización jerárquica de los ecosistemas. Al final, y en todos los casos, los componentes estructurales menores como la vegetación, la fauna o los microorganismos terminarán por verse afectados. En su análisis, para cada perturbación es necesario caracterizar el nivel jerárquico o escala espacial prioritaria de donde ésta parte (*punto de ataque*) y posteriormente se evalúa, mediante diferentes métodos, la cascada de efectos que se transfieren a los niveles inferiores (Klijn, 1994).

Aunque el efecto transferido a los niveles por encima de donde se produce el punto de ataque no se suele considerar en los tramos medios y de detalle (ecosección, ecotopo), hay que tener también en cuenta la existencia de un control biológico dirigido hacia los niveles superiores. Así, en Doñana por ejemplo, el efecto sobre la cobertura de la vegetación, a escala de ecotopo, afectará directamente a la estabilidad de los mantos eólicos sobre los que se desarrolla y por tanto a la integridad ecológica del nivel superior de ecosección. En cualquier caso, el modelo jerárquico ayudará a decidir cual será la escala más relevante desde donde enfocar el problema.

Los puntos de ataque pueden partir desde diferentes escalas espaciales y por tanto tienen diferentes dimensiones temporales (Fig. S.4.). Por ejemplo los efectos que atañen a la composición de la atmósfera, es decir, a geosistemas que se expresan a una escala espacial muy amplia, tendrán un efecto muy tardío sobre

la vegetación o la fauna ya que actúan en periodos de tiempo muy dilatados. En cambio, perturbaciones que afectan a la vegetación tienen una incidencia inmediata sobre la fauna y las comunidades de microorganismos. En el mismo contexto y utilizando las ideas del modelo de organización jerárquica es posible construir un *continuum* de sensibilidades de los ecosistemas de un territorio, definidos a diferentes escalas espaciales, a las perturbaciones naturales o antrópicas en términos de su estabilidad evaluada por su resiliencia (Fig. S.5.). Para el caso del Gran Ecosistema Litoral de Doñana, sus ecosistemas a escala de ecoelementos o ecotopos son muy sensibles, pero en general, la mayoría de sus tipos genético-funcionales tienen una gran capacidad de recuperación (altamente resilientes), frente a las perturbaciones naturales (fuego, sequía, riadas) o antrópicas (sobrecarga de herbívoros, alteraciones de la vegetación, pisoteo, fragmentación, etc.) que afectan prioritariamente a esas escalas menores. Por otro lado, las ecosecciones o ecodistritos son menos sensibles a los cambios generados por perturbaciones naturales (cambios de clima, dinámica litoral, hidrodinámicos del acuífero) o antrópicas (explotación intensiva de aguas subterráneas, grandes espigones costeros), pero una vez producidos tiene una baja capacidad para recuperar su estado de referencia y, por tanto, su integridad ecológica.

Por último, la puesta en marcha de un proceso de planificación integrada y gestión de los recursos naturales, entendidos como los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas de un territorio a las sociedades humanas, implica procedimientos complejos que requieren el manejo de estructuras integradas de almacenamiento, manipulación, evaluación y modelado de información. En otras palabras es necesario emplear como marco de referencia un Sistema de Información Ambiental, que no es más que una estructura lógica que permite elaborar modelos dinámicos y predictivos de planificación y gestión multidimensional y jerárquica de los recursos de un territorio. En nuestro caso, se ha utilizado el Sistema de información ambiental de Andalucía o SinambA.

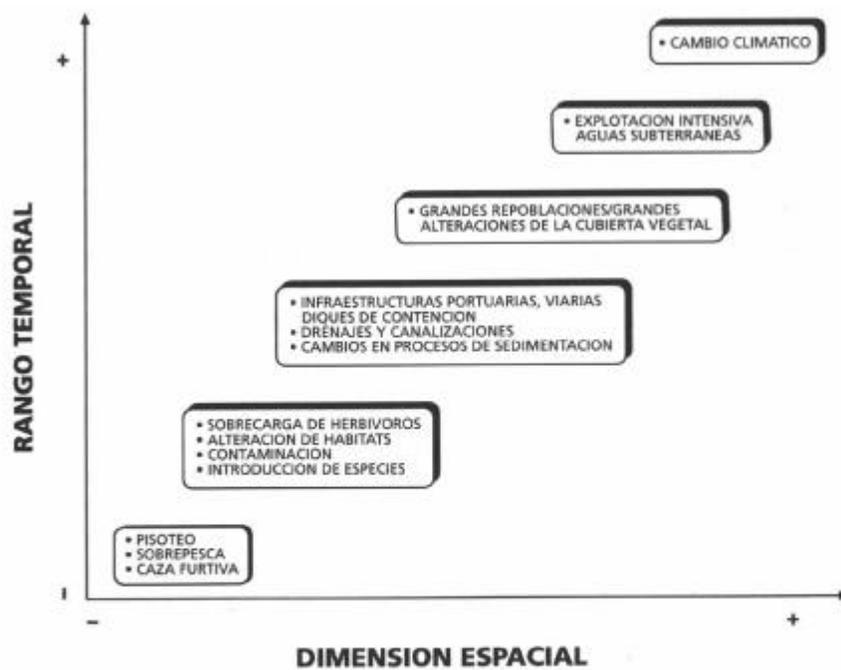


Figura 5.4. Relación entre las dimensiones espaciales y los rangos temporales de actuación de algunas perturbaciones antrópicas o factores de tensión más importantes que inciden de una forma negativa en la integridad de los sistemas ecológicos del Gran Ecosistema Litoral de Doñana.

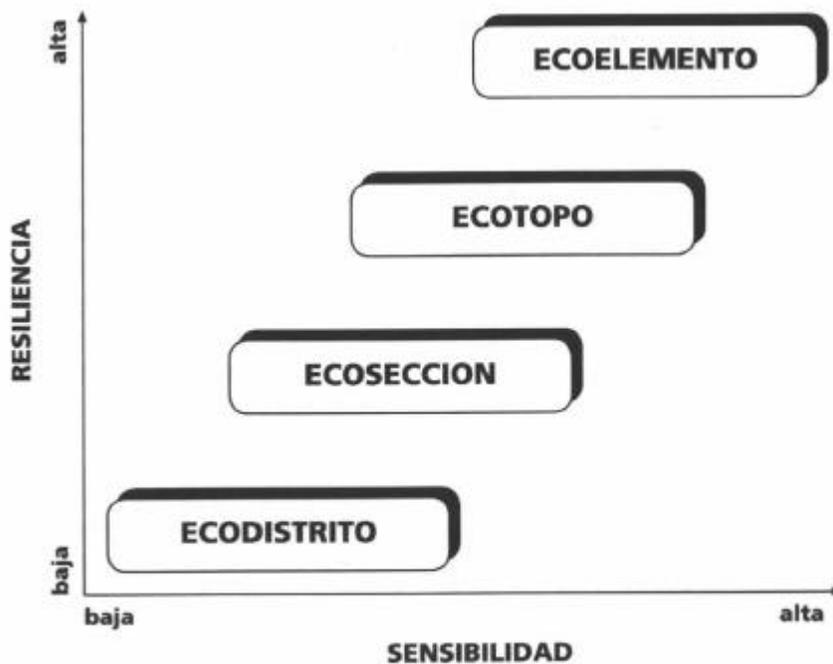


Figura 5.5. Relación entre la sensibilidad (fragilidad) o capacidad de cambio, frente a perturbaciones naturales o antrópicas, de ecosistemas definidos a diferentes escalas espaciales y su respuesta en términos de resiliencia o capacidad de recuperar su cuadro ecológico de referencia después de que cede la perturbación.

Consideraciones finales.

Es evidente que propuestas de explotación-conservación del medio natural como la que se presenta en este libro no son fáciles de acometer ya que implican cambios de fondo importantes en los modos actuales de gestionar los sistemas ecológicos y los recursos que ellos representan. Pero entendemos que sólo a través de aproximaciones y actitudes ecosistémicas, es decir, sólo si tenemos en cuenta en la planificación territorial los principios ecológicos que explican cómo se organizan, funcionan y evolucionan sus ecosistemas, se pueden superar los errores de intervención y gestión cometidos en el pasado.

En este contexto, el futuro de los sistemas naturales de un territorio y sus recursos no van a ir ligados al desarrollo de nuevas normativas legales o a la declaración de nuevos espacios protegidos, sino al incremento de conocimientos relacionados con su organización, funcionamiento y evolución en el tiempo. Por este motivo, es necesario que dentro de los modelos integrados y multidimensionales de planificación territorial, exista un equilibrio entre los tres pilares básicos que deberían sustentar cualquier estrategia de toma de decisiones sobre la gestión de los recursos suministrados por los ecosistemas; el científico, el social y el económico. Sólo unos principios de cooperación y no de competencia entre una investigación teórica y aplicada y entre científicos, técnicos, gestores y planificadores pueden generar un marco de trabajo común. De aquí la importancia de promover una política científico-técnica dirigida hacia el conocimiento de la integridad ecológica de ecosistemas y por consiguiente para la prevención y solución de problemas ambientales. Desgraciadamente esta armonía no suele existir y los aspectos científicos, especialmente los relacionados con ciencias como la Ecología y la Geografía Física, tienen una influencia muy limitada frente a los tecnológicos en el diseño y desarrollo de políticas ambientales vinculadas con la explotación-conservación de ecosistemas. La única forma de eliminar incertidumbres, y por tanto, riesgos a la hora de elaborar modelos de gestión consistentes y factibles a largo plazo, es mejorar la comunicación entre científicos, gestores y políticos. Una forma de alcanzar este objetivo es mediante la creación de marcos conceptuales y metodológicos, como el desarrollado aquí, que faciliten y potencien el trabajo conjunto entre todos los colectivos implicados en la gestión del medio natural para conseguir un objetivo común: un sistema ecológico-económico ambientalmente sostenible. La aproximación ecosistémica con sus fundamentos teóricos y herramientas de trabajo contribuye eficazmente a este fin.

Por último no hay que olvidar los aspectos educativos, formativos y éticos del análisis de las relaciones hombre-naturaleza. Hay que tener en cuenta que el futuro de la integridad de los sistemas ecológicos pasa también por una aceptación popular de la importancia que poseen los servicios de los ecosistemas para el bienestar general de los sistemas humanos actuales y futuros. En este sentido, es necesario hacer comprender a la sociedad, mediante programas de educación ambiental, que debemos convertirnos en los artífices del futuro de nuestros ecosistemas y no en los herederos de su triste pasado.