

LA SOSTENIBILIDAD COMO PROCESO DE EQUILIBRIO DINAMICO Y ADAPTACION AL CAMBIO

*Luis M. Jiménez Herrero**

La sostenibilidad aplicada al desarrollo ha querido mostrarse como una idea simple para responder a problemas complejos. Sin embargo, las dificultades para concretar este concepto de forma integrada, objetivable y generalizable, tanto en el ámbito científico como en el de la acción política, han producido una cierta frustración, aunque han abierto caminos de investigación transdisciplinarios con una perspectiva sistémica. En este artículo se resalta que la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, conceptual y estratégicamente, se entienden mejor como procesos de cambio, adaptación, auto-organización y equilibrios permanentes para ajustar las relaciones de los sistemas ecológicos, económicos y sociales dentro de un sistema global y único. En la evolución conjunta de estos sistemas intervienen aspectos de jerarquía, incertidumbre e ignorancia que se entremezclan con otras consideraciones éticas, pero todos ellos son inherentes a la propia sustancia de la sostenibilidad.

Palabras clave: desarrollo sostenible, ecodesarrollo, ecosistemas.

Clasificación JEL: Q20, Q32.

1. Introducción

El debate sobre medio ambiente y desarrollo, planteado intensamente durante las tres pasadas décadas, se viene centrando en los últimos años alrededor del concepto de «sostenibilidad» sobre el que se basa la doctrina del «desarrollo sostenible». Las cuestiones básicas siguen centrándose, después de tantos años de polémica, en cómo los seres humanos deberían habitar este planeta teniendo en cuenta la existencia de unos límites (exter-

nos o ambientales, e internos o sociales) para satisfacer determinadas necesidades a lo largo del tiempo.

Pero ahora se consolida una nueva conciencia planetaria ante el fenómeno del cambio global, en su doble dimensión ambiental y social, que marca la necesidad de un nuevo estilo de desarrollo mundial. Aunque todavía seguimos siendo más conscientes del significado de la insostenibilidad de nuestros procesos de desarrollo, y modos de producción y consumo, que de lo que realmente queremos hacer sostenible, las respuestas estratégicas, en cualquier caso, se encuadran mayoritariamente en el nuevo marco conceptual de la sostenibilidad del desarrollo. Se trata de facilitar nuevos enfoques para redefinir las relaciones entre los sistemas humanos y ambientales con un sentido de

* Profesor de Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica. Facultad de Ciencias Económicas e Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad Complutense de Madrid.

globalidad, perdurabilidad y corresponsabilidad. Con estos planteamientos, quizá todavía más retóricos que reales, se perfilan la mayoría de las estrategias que los países, especialmente los más desarrollados, están llevando a la nueva Cumbre de la Tierra de Johannesburgo de 2002, («Río+10», Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible)¹.

2. De la sostenibilidad al desarrollo sostenible

El concepto de sostenibilidad ha evolucionado significativamente en los tres decenios de su reciente historia. Con unos antecedentes que se situaban alrededor del concepto de uso sostenible de los recursos (tomando como referencia el añejo concepto de máximo rendimiento sostenible, utilizado en la economía de los recursos renovables), este tema se plantea, después, con una orientación predominantemente ambiental (y más ligada a las restricciones de los límites de los sistemas naturales y la imposibilidad de un crecimiento indefinido), mientras que ahora se está redefiniendo con una visión más integradora, a medida que vamos aprendiendo más sobre las dinámicas complejas y las interacciones entre los sistemas humanos y naturales.

Aunque parezca un tanto irónico o incluso paradójico, el concepto de sostenibilidad está más ligado a la idea de cambio que

a la noción de estabilidad, comúnmente asociada a la de sostener un sistema de forma permanente para mantener un determinado estado². Es, sobre todo, un concepto dinámico y evolutivo, que no es consecuente con la idea de perpetuar una situación (*statu quo*), o de alcanzar un estado futuro estable sobre la base de un equilibrio estático, o un estado estacionario, según el pensamiento económico clásico. Más aún, el cambio y la adaptación pueden considerarse como propiedades constitutivas de la sostenibilidad, tal como lo es en los propios sistemas sometidos a dinámicas evolutivas. En los sistemas naturales y sociales en interacción, su sostenibilidad se entiende mejor como la capacidad de adaptarse a los cambios a través de equilibrios dinámicos para sobreponerse a las fluctuaciones, de acuerdo con sus propiedades de auto-organización y auto-regulación. Por lo tanto, desde la perspectiva actual, la sostenibilidad del desarrollo se relaciona mayormente con la habilidad de los sistemas (ecológico, económico o social), para seguir funcionando sin disminuir o agotar irreversiblemente los recursos claves disponibles.

Si bien es cierto que, comúnmente, se utilizan de forma equivalente, es importante señalar que la sostenibilidad, en general, no es exactamente sinónimo de desarrollo sostenible. Se podría distinguir así la sostenibilidad como un principio funcional (o conjunto de principios) aplicables a determinados sistemas, mientras que el desarrollo sostenible se puede identificar mejor con una opción que incluye objetivos sociales y de satisfacción de necesidades, según determinadas escalas de valores y en contextos variables que van cambiando en el tiempo, como un proceso abierto que se retroalimenta progresivamente.

¹ Si bien se admite que existen muchas interpretaciones del desarrollo sostenible, partiendo de la definición clásica del informe Brundtland («satisfacer las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades», CMMAD, 1987), y con independencia de que el término «necesidades» puede interpretarse de diferentes maneras, especialmente desde las distintas ópticas de los países ricos y pobres, hay un amplio consenso sobre las ideas principales que perfilan las posturas oficiales de los países como un nuevo marco de referencia y una estrategia para garantizar una mejor calidad de vida para la población actual y futura. En este sentido, desde la visión de los países industrializados, como es el caso de la U E, se considera, en esencia:

— Que el desarrollo tiene una dimensión económica, social y ambiental. El desarrollo sólo será sostenible si se logra el equilibrio entre los distintos factores que influyen en la calidad de vida.

— Que la generación actual tiene la obligación, frente a las generaciones futuras, de dejar suficientes recursos sociales, ambientales y económicos para que puedan disfrutar, al menos, del mismo grado de bienestar que nosotros. U E, 2001 a, b)

² En base a la noción de sostenibilidad se construye el concepto de desarrollo sostenible (*sustainable development*). La palabra de raíz latina *sostenere* que da origen al término sostenible, tiene un significado genérico de sostener desde arriba o de soportar desde abajo una determinada acción. Sin embargo, la noción de sustentabilidad (*sustentare*), término preferido por los autores latinoamericanos, aunque se usa en forma equivalente, tiene otras connotaciones con el sustento de un determinado sistema. El término sostenibilidad se usa como referencia oficial en los textos de Naciones Unidas y de la U E.

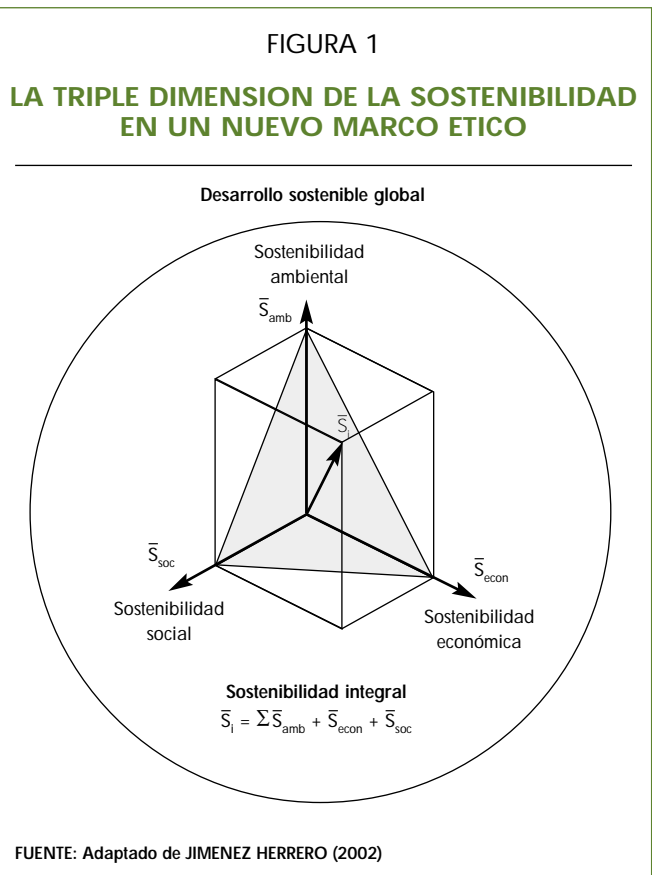
La sostenibilidad es una premisa básica del desarrollo sostenible. Pero no lo es todo para definir una opción social. Podríamos pensar en procesos sostenibles del uso de los recursos naturales sin que necesariamente las condiciones y la calidad de vida del presente y del futuro fueran las más deseables para la totalidad o para parte de la población humana. La sostenibilidad ecológica-ambiental es una condición necesaria, pero no suficiente para lograr el desarrollo sostenible del sistema humano. Porque si, simultáneamente, no se logra especificar qué tipo de sostenibilidad socioeconómica es necesaria para complementar la del entramado natural, no será posible definir un proceso de desarrollo que, siendo bio-físicamente sostenible, sea también más racional en términos de eficiencia y equidad.

El mal uso y abuso de las nociones de sostenibilidad, aplicadas al desarrollo, ha propiciado incluso que se presuponga que aquello que es racionalmente deseable también es posible y, más aún, que todo lo que es posible sea en sí mismo deseable (Pearce, 1993). La sostenibilidad, en consecuencia, no puede convertirse en un fundamento absoluto, sino en un conjunto de principios orientadores que permita conseguir el fin último de lo que realmente se quiere hacer sostenible.

3. Carácter integral, multidimensional e interactivo de la sostenibilidad

El carácter integral de la sostenibilidad se hace más evidente cuando se toma como referencia el conjunto de relaciones de los sistemas ambientales y humanos. La visualización del desarrollo sostenible parte, así, de una perspectiva integradora, y refuerza un enfoque sistémico para operar con un conjunto de relaciones entre sistemas (naturales y socioeconómicos), dinámica de procesos (energía, materia e información) y escalas de valores (ideas, ética).

De esta manera, podemos identificar varias dimensiones fundamentales de la sostenibilidad en términos de relaciones de sistemas básicos (ecológicos, económicos, sociales), con una cuarta dimensión ética envolvente (sistema de valores). De cada uno de estos sistemas emanan procesos, expresados sim-



plificadamente como vectores, que definen una ecuación de la sostenibilidad en forma vectorial, donde la Sostenibilidad Integral (SI) es la resultante de la interrelación entre la sostenibilidad ecológica (S_{ecol}), la sostenibilidad económica (S_{econ}) y la sostenibilidad social (S_{soc}), $SI = S_{ecol} + S_{econ} + S_{soc}$. De acuerdo con cada conjunto de valores y diferentes sistemas de ponderaciones, se pueden establecer distintos espacios de sostenibilidad resultantes de unas fuerzas dinámicas que interactúan en las tres dimensiones mencionadas, según se indica en la Figura 1.

La actual perspectiva integradora enfatiza tanto los vínculos entre las tres dimensiones básicas, como sus complementariedades, pero no puede olvidar sus intereses contrapuestos. Estas dimensiones presentan relaciones complejas con sinergias y compensaciones difíciles de establecer anticipadamente para alcanzar objetivos múltiples. Incluso, tomadas de dos en dos, las

interacciones claves entre los sistemas, o las dimensiones básicas de la sostenibilidad, son suficientemente percibidas pero no son fácilmente cuantificables³. En última instancia, si la sostenibilidad tiene que contemplarse de forma integral, la separación entre sostenibilidades parciales (económica, ecológica y social) puede distorsionar la consecución de los objetivos generales, ya que todas y cada una de ellas dependen sistemáticamente de las demás. Esto remarca, a su vez, el carácter interactivo de la sostenibilidad.

Existe un gran desconocimiento sobre la naturaleza y alcance de muchas de estas interacciones porque dependen, en gran parte, del periodo de tiempo considerado y de los niveles de estabilidad de la relación. Así, a corto plazo, se pueden presentar altos grados de incompatibilidad que requieren compensaciones inmediatas, mientras que, a largo término, determinados objetivos pueden reforzarse mutuamente en distintas dimensiones.

Por otra parte, las relaciones entre los sistemas se hacen más complejas y menos previsibles cuando se producen en entornos de umbrales críticos de estabilidad. Es sabido que actualmente se está superando la producción sostenible de muchos sistemas naturales porque se cruzan peligrosamente los umbrales de estabilidad ecológica. El resultado final es que los sistemas naturales pueden llegar a un colapso de forma repentina y, en la medida en que los sistemas están interconectados, el traspaso

de los umbrales locales se puede convertir en un problema de traspaso de los umbrales globales (Brown, 2000). La previsión de una tendencia sobre las interacciones entre los sistemas ambientales y sociales se sitúa en un campo de conocimiento limitado porque estamos cubiertos por un «velo de ignorancia» (Rawls, 1971) que impide vislumbrar con claridad el futuro para tomar decisiones con resultados predecibles.

Al mismo tiempo, los sistemas, aunque tienen relaciones entrelazadas, responden a lógicas distintas, jerarquías diferentes y también están sometidos a velocidades y caminos de evolución particulares (Köhn, 1998). Posiblemente, a la hora de hacer más comprensible las políticas de desarrollo sostenible sea necesario entender estas peculiaridades de los sistemas humanos y ambientales y, sobre todo, la interrelación de sus procesos para tratar de alcanzar una «coevolución positiva», en beneficio mutuo, en el sentido expresado por Noorgard (1988).

4. Dinámicas espaciales y temporales

El núcleo sustantivo de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible reside en la dinámica espacio-temporal que preside las relaciones entre los sistemas. Los posibles niveles de sostenibilidad tienen que analizarse en un contexto espacial y temporal donde hay que definir las interacciones entre los sistemas humanos y ambientales (Holmberg, 1995). Y, debido a ello, no es posible contar con reglas únicas. Realmente, no hay un modelo único de validez universal y, de hecho, debería hablarse de posibles opciones de desarrollos sostenibles, más que de modelos definidos, dependiendo de cada circunstancia y contexto, y con diferentes grados de sostenibilidad.

Al hablar de sostenibilidad a escala global se suele expresar el deseo de que los sistemas humanos y los sistemas naturales deben estar plenamente integrados en un proceso de evolución conjunta dentro del sistema planetario. Sin embargo, existen dudas razonables de que la suma de sostenibilidades parciales se traduzca en una sostenibilidad global. Incluso, la idea de compensar los desequilibrios entre diferentes niveles locales/

³ En una doble dirección, se pueden contemplar las siguientes interacciones claves (OCDE, 2001):

— Del medio ambiente a la economía: 1) Funciones productivas (fuentes de recursos y sumideros. Costes económicos de protección ambiental.

— De la economía al medio ambiente: 2) Presión del medio ambiente en las actividades productivas. Inversión en mejora ambiental.

— Del medio ambiente a la sociedad: 3) Importancia de los servicios ambientales en el bienestar humano. Riesgos en la salud y en la seguridad por degradación ambiental.

— De la sociedad al medio ambiente: 4) Presión de los recursos ambientales en los patrones de consumo. Conciencia ambiental de los ciudadanos.

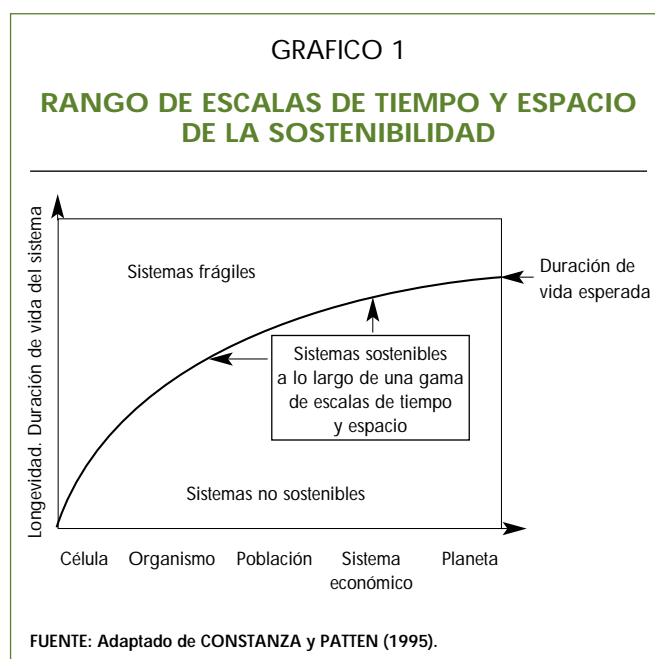
— De la sociedad a la economía: 5) Cantidad y calidad de la fuerza de trabajo. Importancia de las instituciones y normas sociales en las transacciones de mercado.

— De la economía a la sociedad: 6) Distribución de la renta, oportunidades de empleo, nivel de vida.

regionales respecto a la totalidad del sistema (concepto predominante en las teorías del desarrollo sostenible débil) está pasando por alto la ley de la entropía y la irreversibilidad de los procesos naturales. La degradación cualitativa de la energía y la transformación de la materia no permiten que la compensación de un daño se pueda hacer «gratuitamente» sin originar otros desequilibrios en otros sistemas que, a su vez, requerirán nuevas compensaciones posteriores.

Cualquier sistema de carácter local/regional, cuya estructura económica y poblacional sobrepase su capacidad de carga, está subsistiendo en condiciones de insostenibilidad, pero puede mantenerse temporalmente importando sostenibilidad de otras regiones y de otros sistemas. Sin embargo, también se pueden producir impactos negativos para el desarrollo regional cuando se producen importaciones no deseadas de contaminación transfronteriza o flujos negativos procedentes de fenómenos ambientales externos o globales (como las alteraciones debidas al cambio climático, que disminuyen sistemáticamente la capacidad de carga del sistema particular). El desarrollo sostenible local/regional, visto lo anterior, no sólo tendría que contemplar el objetivo primario de asegurar un nivel aceptable de bienestar a la población de la región que pueda sostenerse en el futuro, sino también el objetivo de superar el potencial conflicto con el desarrollo sostenible a nivel supra-regional. (Bergh y Nijkamp, 1994).

Con carácter general, se establecen ciertas singularidades y vinculaciones entre los múltiples ámbitos de aplicación que se dan en la práctica. Igual que en sentido biogeográfico se puede distinguir desde el nivel global hasta el nacional, regional y local (desarrollo sostenible regional y local), en sentido sectorial se empieza a aplicar el enfoque de sostenibilidad a los sectores económicos, aunque con diferentes grados de compromiso. No obstante, la aceptación del nuevo paradigma de desarrollo sostenible va calando progresivamente en todos los campos y, si bien se hace a diferentes velocidades y con distintas intensidades, se confirma una fuerte vinculación entre los ámbitos, según se indica en el Gráfico 1. De hecho, este concepto se está aplicando de forma generalizada e indiscriminada, ya sea para

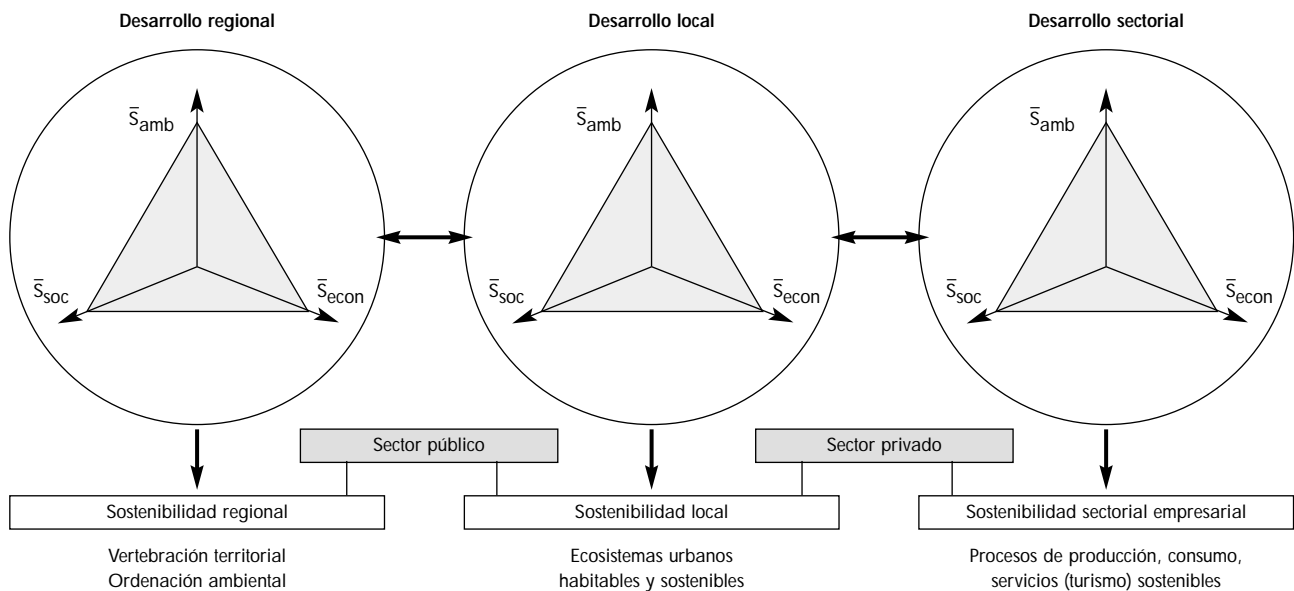


referirse a ambientes concretos (*sostenibilidad local o ciudades sostenibles*), o modos de producción y consumo (*agricultura sostenible, turismo sostenible*)⁴. En todo caso, todavía no se ha construido un cuerpo teórico que explique los vínculos y las interdependencias entre los ámbitos territoriales y sectoriales. La

⁴ En la aplicación actual de las estrategias de sostenibilidad se puede distinguir en el ámbito biogeográfico varios niveles, desde el global hasta el nacional, regional y local (desarrollo sostenible regional y local), con una orientación planificadora a largo plazo, mientras que en el ámbito productivo se plantea en la mayoría de los sectores bajo una idea generalizada de estrategia competitiva. La referencia más clara a una estrategia de ámbito mundial nace con la iniciativa de Naciones Unidas de la «Agenda 21», propuesta en la Cumbre de la Tierra de 1992. En términos nacionales, destaca la desigual apuesta de los países, a pesar de ser un compromiso contraído en 1992 y, sobre todo, un imperativo para presentarse a la próxima Conferencia de Naciones Unidas de 2002 («Río + 10»), cuyo objetivo es concretar los avances de las estrategias nacionales en los últimos diez años y precisar la orientación de un desarrollo sostenible global para el primer decenio del siglo XXI. Existe una buena predisposición de las regiones, y más aún de los municipios, para adoptar estrategias de sostenibilidad local, especialmente en los países más desarrollados mediante la implantación de las «Agendas 21 Locales», donde se está dando un fuerte impulso a la definición de procesos urbanos sostenibles, contando con un mayor protagonismo de los ciudadanos y asumiendo la lógica de gestión «ecosistémica» de las ciudades como ecosistemas urbanos (JIMENEZ HERRERO, 2001).

FIGURA 2

**AMBITOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE:
DIMENSIONES INTERRELACIONADAS**



FUENTE: Elaboración propia.

emergencia de enfoques socioecológicos viene a confirmar que es necesario diseñar estrategias de desarrollo local y regional acordes con el contexto productivo específico, teniendo en cuenta las condiciones propias de los agentes socioeconómicos más directamente implicados en esos entornos. En tal sentido, aparecen nuevas estrategias empresariales y sectoriales que amplían las orientadas a potenciar los procesos tecnológicos y de «eco-eficiencia» (mayor productividad en el uso de recursos naturales con menor contaminación y mayor calidad de vida), como los elementos impulsores del cambio de la sostenibilidad, hacia la inclusión de otros elementos de desarrollo moral incorporando factores estructurales, espaciales e institucionales que complementen los criterios de eficiencia productiva, con una especial atención a las condiciones particulares de los agentes más implicados y de los entornos más directamente afectados (Veen-Groot y Nijkamp, 2001).

Por otra parte, se plantea el aspecto de la escala de tiempo propio de los sistemas, según su longevidad. Cuando se dice que el sistema ha adquirido determinado nivel de sostenibilidad no puede concluirse que con ello se ha logrado garantizar una duración infinita, sino más bien una duración consistente con su escala de tiempo y espacio vital. Por lo tanto, un sistema se considera sostenible en un determinado contexto cuando alcanza su máxima duración de vida esperada (o persiste en etapas de comportamiento superiores a su longevidad o tiempo de existencia esperado), (Constanza, *et al.* 1998), como se representa en la Figura 2.

Como la permanencia infinita no es posible, la cuestión es saber diferenciar los cambios que se deben a los límites normales y los cambios que quiebran la duración de vida del sistema. Los sistemas más grandes pueden durar más, debido a que sus partes componentes tienen una duración de vida más corta y

pueden adaptarse mejor a condiciones cambiantes. Pero también los sistemas se vuelven más frágiles cuando sus partes duran demasiado y no se pueden adaptar con suficiente rapidez. O, incluso, volverse insostenibles cuando sus partes no encuentran equilibrios adecuados y no duran suficiente, o bien la longevidad del sistema de nivel superior se interrumpe (Constanza y Patten, 1995). Consecuentemente con lo anterior, la aplicación estratégica de sostenibilidad debería circunscribirse a una escala temporal, acorde con la variabilidad y capacidad de reajuste de los sistemas relacionados, y no en condiciones de procesos abruptos, irreversibles o colapsos.

5. La sostenibilidad como resiliencia

Las primeras acotaciones de la idea de sostenibilidad giran en torno a la gestión de los recursos naturales para asegurar su uso continuado y su disponibilidad en el tiempo. Pero, no se trata sólo de sostener de forma duradera los flujos de producción (*output*) y de insumos (*input*), sino de ajustarlos más equitativamente a la capacidad de existencia y regeneración del capital natural. Desde la visión actual, la sostenibilidad y, por ende, el desarrollo sostenible, en tanto se perciben como procesos, plantean un tratamiento fundamentado en la gestión del cambio. Los sistemas tienen dinámicas internas que provocan cambios propios, mientras que también están sujetos a otras variaciones inducidas. Por lo tanto, más que un estado de «armonía fijo», como se afirmaba ya inicialmente en el Informe Brundtland (CMMAD, 1987), o de un «equilibrio estático», se trata de mantener la capacidad de los sistemas sociales y naturales para hacer frente a las fluctuaciones y adaptarse a los cambios.

Esta capacidad se conoce como «resiliencia», un término introducido a principios de los años setenta por Holling (1973), que ha sido frecuentemente usado en el análisis de los sistemas agrobiológicos para medir la persistencia de las relaciones de un sistema y su capacidad de absorber los cambios y seguir existiendo. Otro término que tiene similitudes con el anterior, aunque no es exactamente equivalente, es el de «estabilidad», entendida como la capacidad de un sistema productivo para

recuperar un estado de equilibrio ante una pequeña perturbación temporal generada por los ciclos y fluctuaciones normales del medio circundante (Conway, 1987; Atkinson, 1995). Sin embargo, desde los enfoques actuales, entre las propiedades más genuinas de la sostenibilidad, destaca la noción de resiliencia, entendida como la capacidad de los sistemas para recuperar los equilibrios o para absorber esfuerzos o fluctuaciones externas teniendo en cuenta su habilidad autoorganizativa

En consecuencia, no sólo desde una perspectiva ecológica-ambiental, sino también socioeconómica, el concepto de resiliencia, como capacidad de recuperación y auto-organización de los sistemas cuando han sido sometidos a esfuerzos, se presenta como un elemento clave de la sostenibilidad. Estas propiedades de resistir fluctuaciones externas y de autoorganizarse dependen, también, de la estructura y disposición funcional de los sistemas, así como de un gran número de variables. Y una variable esencial, tanto en los sistemas naturales como en los sociales, es la de la diversidad de especies que canalizan los flujos de materia y de energía, así como de la forma en que esta diversidad está organizada y mantiene las interacciones entre las partes componentes, lo cual define, finalmente, la salud total del sistema en su conjunto.

Cuando la biodiversidad disminuye, se pierden las habilidades de resistir cambios y se pierde información para que el ecosistema pueda crear nuevas condiciones de equilibrio. De la misma forma, la actividad económica puede perder también resiliencia cuando se encuentra sometida a determinadas presiones ambientales. Por ello, los sistemas económicos y de producción, en general, pueden dejar de ser sostenibles a largo plazo si se debilita su capacidad de superar las tensiones y presiones externas por haberse sobrepasado los límites ambientales y quedar sujetos a saltos bruscos e irreversibilidades. Con esta óptica, la sostenibilidad es un concepto relacionado con la capacidad de un sistema para seguir funcionando de forma permanente en todas sus dimensiones. El aspecto bio-físico se puede considerar primario para absorber los impactos humanos y sostener permanentemente todas las formas y procesos de vida. Pero, además, una comunidad no será sostenible sin tener garantiza-

da una economía productiva no decreciente, y sin mantener la suficiente cohesión de su tejido social.

Una cuestión significativa es la consideración de que determinados desequilibrios naturales deben formar parte de la dinámica interna del sistema. Es más, parece ser que algunas perturbaciones naturales pueden ser cruciales para fomentar la resiliencia autoorganizativa y la integridad del propio ecosistema. Si alguna de estas perturbaciones naturales (tales como algunas alteraciones por fuego, herbívoros, viento, etcétera) no pudiera entrar en la dinámica del ecosistema, probablemente éste se volvería más frágil e, incluso, se podrían presentar, previsiblemente, mayores perturbaciones con el consiguiente riesgo de destrucción masiva (Holling, 1995).

6. La sostenibilidad como proceso de equilibrios dinámicos

Expresar la noción de sostenibilidad en forma vectorial, como hemos indicado anteriormente, es un intento de precisar su esencia como un proceso dinámico de equilibrios y reequilibrios, en lugar de identificarlo con una ausencia de fuerzas que tienden a alterar una situación previa más o menos estabilizada. Aquí, los componentes básicos de dirección, trayectoria, velocidad, etcétera, se derivan de la correlación de fuerzas impulsoras y de resistencia, para establecer las condiciones y capacidad de sostenibilidad.

Como ya hemos expuesto en otros lugares (Jiménez Herrero, 2000), un ejemplo que creemos ilustrativo a este respecto es el de una aeronave en vuelo. Cuando un avión alcanza su régimen de velocidad de crucero (aceleración nula) el equilibrio dinámico se consigue como resultado de la igualación entre la fuerza de impulsión con la fuerza de resistencia, a la vez que se iguala la fuerza de la gravedad (peso) con la fuerza de sustentación. Una vez que se ha conseguido el despegue económico, si se conoce el objetivo final del desarrollo sostenible, la programación de la trayectoria, ajustando los mandos de control, tiene que hacerse en función de las condiciones iniciales de partida, la inercia del proceso y los ritmos de cambio de rumbo para

mantener las condiciones de vuelo adecuadas. Una pérdida temporal de sustentación o de sostenibilidad se puede producir, en un momento determinado, por numerosas razones que alteren el equilibrio dinámico. Para recuperar la sustentación, por ejemplo, se puede propiciar un aumento de la velocidad y de la fuerza de impulsión, o se puede recurrir a mecanismos especiales de «hipersustentación» (como los *flaps* que se utilizan en las operaciones de aterrizaje) (Figura 3).

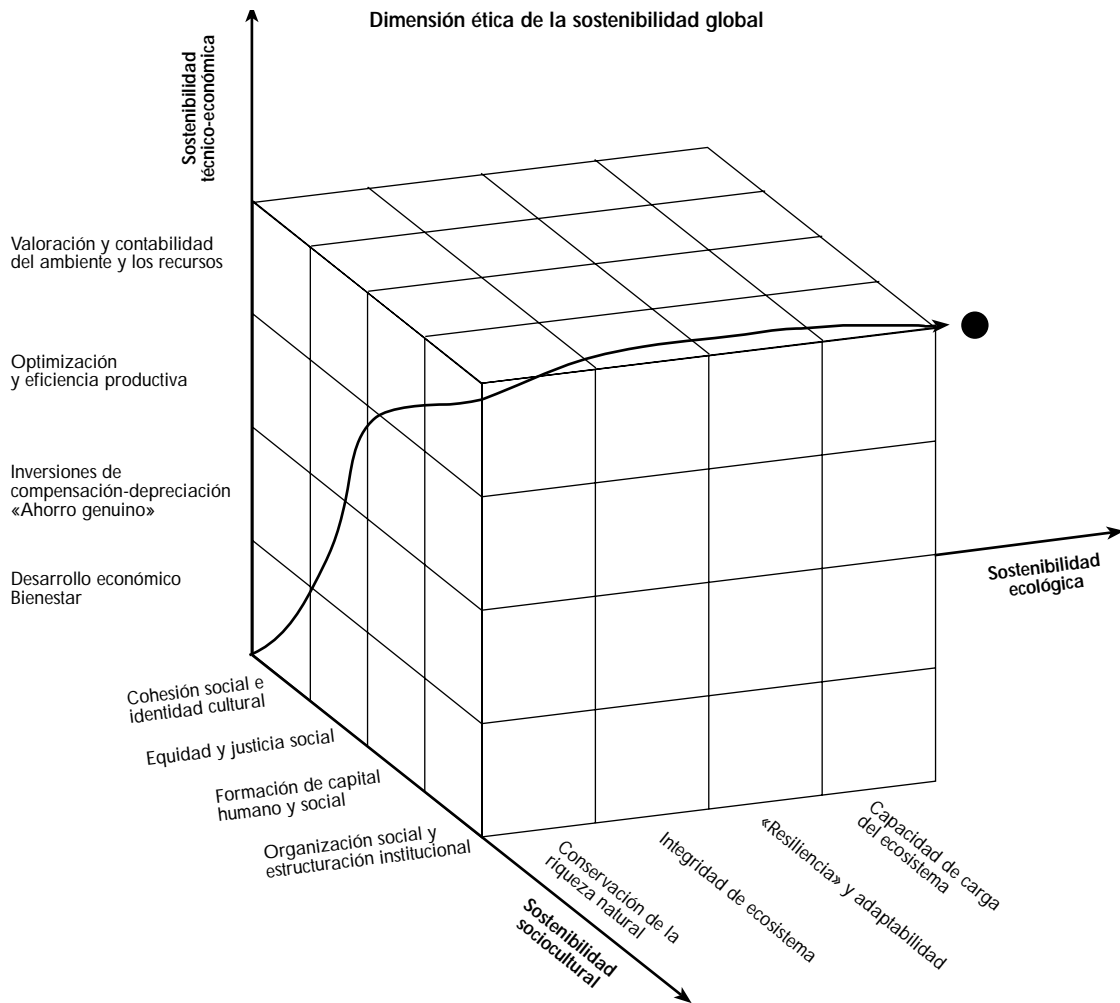
Contar con las condiciones mínimas de sostenibilidad (velocidad, impulsión, etcétera) y compensar las posibles pérdidas para mantener la estabilidad dinámica, depende de numerosos factores que no siempre son identificables y controlables en la evolución de los sistemas complejos, y, menos aún, de los acontecimientos bruscos de carácter contingente e imprevisible por efecto de las sobretensiones acumuladas.

La idea de reequilibrio mediante la compensación de las pérdidas coyunturales y permanentes de sostenibilidad, o descompensación por las ganancias, se refuerza cuando contemplamos la tendencia entrópica de los procesos naturales. La energía se degrada irremediablemente, la materia se dispersa y se concentra, la información se acumula y se pierde, los recursos se convierten en residuos, la muerte es parte de la vida. En la ecuación de sostenibilidad entran todos los factores, porque en el sistema global nada es permanente. Como señala Dahl (1996), para que el equilibrio final sea sostenible, los procesos de mantenimiento, reposición y renovación deben ser iguales o mayores que los procesos de depreciación, degradación y pérdida. Ahora bien, la cuestión fundamental sigue estando en decidir hasta qué punto son admisibles las compensaciones de las riquezas naturales y sociales que se pierden y en cómo, cuánto y dónde hay que «reinvertir» para compensar los desequilibrios, los desgastes y las deudas contraídas para mantener la composición dinámica del equilibrio, incluso contando las posibles ganancias, a la vez que se corrigen las tensiones internas y las presiones externas sobre el sistema.

La definición de las diversas «inversiones netas de compensación» tiene que plantearse desde la múltiple dimensión de la sostenibilidad ecológica, económica y social. Mientras que la

FIGURA 3

EQUILIBRIOS DINAMICOS EN PROCESOS DE SOSTENIBILIDAD



FUENTE: Adaptado de JIMENEZ HERRERO (2000).

sostenibilidad ecológica, por ejemplo, pretende mantener los procesos esenciales de la vida, utilizando la capacidad de regeneración y autodepuración de los ecosistemas, la sostenibilidad económica supone mantener los *stocks* de capital natural y artificial y los correspondientes flujos en niveles apropiados para

garantizar la productividad de los activos. Con lo cual, se deben contabilizar también las inversiones requeridas para compensar las depreciaciones habidas con objeto de mantener una renta sostenible («renta hicksiana», Hicks, 1945) o un consumo sostenible (Hartwick, 1977), esto es, consumir el máximo sin empo-

brecerse, de lo que se deriva la «regla del capital constante» (Solow, 1986). Igualmente, desde la dimensión social, el conocimiento humano es un potencial vital y una parte sustancial del capital social, que hay que mantener con inversiones educativas, al igual que resultan necesarias inversiones sociales para sostener las estructuras organizativas e institucionales. No hay, por tanto, una función única, sino un conjunto de funciones interrelacionadas con sus complejas variables en cada dimensión. De esta manera, tendremos las siguientes funciones (Jiménez Herrero, 2000):

Sostenibilidad ecológica = función (conservación de la riqueza natural; integridad de los ecosistemas; resiliencia y adaptabilidad; capacidad de carga de los ecosistemas, etcétera)

Sostenibilidad económica = función (desarrollo económico y bienestar; «ahorro genuino» [compensación depreciación y degradación ambiental]; optimización y eficiencia económica; valoración y contabilización del ambiente y sus recursos, etcétera)

Sostenibilidad social = función (cohesión social e identidad cultural; equidad y justicia social; formación de capital humano y social; organización social y estructuración institucional, etcétera)

7. Orientaciones para la toma de decisiones: grados de sostenibilidad y principios operativos

Con independencia de la dificultad de definir nítidamente las formas sostenibles para el desarrollo, lo más polémico todavía sigue siendo con qué criterios y bajo cuáles principios operativos se pueden traducir los conceptos en estrategias concretas. Bien es verdad que la ausencia de principios absolutos no ha impedido la definición de principios relativos para conseguir sistemas «más» sostenibles en cada caso, tomando en consideración los posibles grados o niveles de exigencia.

Así como existen múltiples realidades y contextos espacio-temporales que dan lugar a variadas opciones, también se definen diferentes niveles entre posiciones de sostenibilidad fuertes y débiles. Detrás de estas posiciones existen, inevitablemente, distintas ideologías (con posturas y visiones contrapuestas) que

amparan diversas tendencias a la hora de concretar el grado de sostenibilidad de los procesos y, por tanto, el sentido del desarrollo sostenible. La distinción entre los diferentes grados seguramente tiene mucho más interés en el plano científico que en el político. De hecho, si es difícil separar aspectos de sostenibilidad económica, ecológica y social, lo es más aún en el plano de la acción política. En realidad, la sostenibilidad debería ser un concepto unificador e integrador que no admite un tratamiento separado en planos distintos.

Desde la perspectiva dominada por el pesimismo neomalthusiano se llega actualmente a posiciones de conservacionismo radical y de sostenibilidad muy fuerte. Desde el ángulo dominado por el optimismo, se enmarca el conservacionismo moderado y la sostenibilidad muy débil, de las cuales se derivan otras posiciones intermedias que responden a una visión más o menos acomodaticias (Daly, 1993; Turner; 1993)

La distinción entre fuerte y débil pivota sobre el enfoque económico que asume el concepto del medio ambiente simplemente como capital natural⁵. En términos generales, en las posiciones débiles predominan los planteamientos económicos neoclásicos basados en la sustituibilidad del capital natural por artificial (hecho por el hombre). Bajo esta óptica, lo más impor-

⁵ El debate se centra en las posibilidades de sustitución del capital natural, K_n , creado por la Naturaleza como *stock* que proporciona flujos de bienes y servicios útiles para el presente y el futuro (sistemas que soportan la vida, biodiversidad, bosques, especies, recursos naturales, fuentes-sumideros, etcétera), por otras formas de capital como el artificial o manufacturado, K_m , hecho por el ser humano mediante medios de producción (edificios, carreteras, maquinaria y bienes de equipo, etcétera), como el capital humano, K_h (conocimientos humanos y capacidad intelectual), y el capital social, cultural e institucional, K_{sci} , que proporciona integridad, cohesión, estabilidad y capacidad organizativa a los sistemas sociales (éste es un aspecto todavía poco desarrollado que tiene una difícil medición, por los posibles mecanismos de compensación entre generaciones actuales y con las generaciones futuras). Y, en esencia, se trata de discernir si el desarrollo sostenible es más o menos viable a largo plazo tomando como factor más limitativo el *stock* de capital proporcionado por la Naturaleza, en la medida en que el crecimiento de la economía se produce por el incremento de la transformación de capital natural en capital artificial que da lugar a la producción y consumo de productos que se devuelven al medio ambiente como residuos, o si es posible garantizar el bienestar de las futuras generaciones manteniendo el capital total ($KT = K_n + K_m + K_h + K_{sci}$), admitiendo la sustituibilidad de sus componentes. (JIMENEZ HERRERO, 2000, 2002)

tante es que se mantenga el capital total para garantizar el bienestar de las futuras generaciones, confiando en las posibilidades de desvinculación del crecimiento económico y el impacto ambiental generado, en base a las mejoras tecnológicas y de eficiencia. Otros enfoques se apoyan en la idea de que el capital natural debe ser conservado intacto, dando lugar a las posiciones fuertes, donde predomina la visión ecológica exigiendo el mantenimiento del *capital natural* como requisito imprescindible, ya que, en gran medida, no es sustituible por capital artificial, o por otras formas de capital, y su pérdida no es compensable.

En tanto sean admisibles posibles formas de compensación de los desgastes o pérdidas ocurridas, resulta que, en una situación como la actual, donde el subsistema económico está próximo a sobrepasar los límites del ecosistema global, los factores naturales cada vez son más condicionantes y más limitativos, de tal manera que su desarrollo depende más de la relación complementaria entre el capital natural y el capital artificial, que de sus posibilidades de sustitución (Daly, 1990).

Teniendo como telón de fondo los grados de sostenibilidad, las consideraciones sobre los principios relativos a qué debe ser lo sostenible y cómo hacerlo de forma equitativa, siguen siendo las claves del nuevo enfoque estratégico del desarrollo. Hasta el momento, se ha avanzado principalmente en la dimensión ambiental, quedando más relegadas las consideraciones sociales que parecen más difíciles de concretar (como, por ejemplo, la propia definición de capital social). Y, ello significa que las prioridades se concentran en la aplicación de determinados principios de actuación que proporcionen, en primer lugar, pautas racionales para el uso y gestión del medio ambiente en su doble calidad de fuente de recursos y sumidero de residuos, encontrando equilibrios entre los flujos de entradas y salidas de materia y energía, como ha sido inicialmente indicado por varios autores (Daly, 1990; Turner, 1993; Meadows, 1992): Los recursos renovables tienen que usarse a una tasa equivalente a su propia tasa de renovabilidad; los recursos no renovables no deberían agotarse antes de encontrar sustitutos duraderos; la actividad económica no puede

generar más contaminación que la que la naturaleza es capaz de absorber.

Es evidente que la salud de los ecosistemas y su capacidad de carga deben estar en el centro de cualquier estrategia de sostenibilidad. Un desarrollo ambientalmente sostenible requiere que la biosfera proporcione suficientes bienes y servicios naturales a largo plazo. Esto incluye energía, materiales, espacio, condiciones geofísicas, ciclos hidrológicos y biogeoquímicos funcionales, la biodiversidad, etcétera. Y de forma especial hay que asegurar ese conjunto de bienes y servicios naturales críticos, centrándose, en particular, en los cambios irreversibles, y teniendo en cuenta los efectos indirectos y las cadenas causales complejas. En la actualidad, se están ampliando los principios operativos básicos con una serie de criterios de actuación para reforzar los elementos más críticos de la sostenibilidad ambiental, tal como propugna actualmente la OCDE (2001), al tiempo que se intentan abordar otros componentes éticos y socioculturales más difíciles de precisar y consensuar.

De esta manera, se pueden plantear ahora principios operativos de la sostenibilidad, más amplios y ambiciosos, no sólo contando con un uso racional de las fuentes de recursos y los sumideros de contaminación (producción-consumo sostenibles), sino aceptando actuaciones con eficiencia económica, equidad social y compromisos éticos con la biosfera, y asumiendo el principio de precaución, para actuar sin necesidad de esperar a tener una certeza científica absoluta, y prevenir situaciones irreversibles, de acuerdo con el Principio 15 de la Declaración de Río. Se trata de gestionar situaciones caracterizadas por la incertidumbre, especialmente en los ámbitos del cambio climático, diversidad biológica y bioseguridad. Más en concreto, se pretende evitar efectos adversos irreversibles de las actividades humanas sobre los ecosistemas y los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos y, al tiempo, mantener los procesos naturales capaces de garantizar o restaurar la integridad de los ecosistemas y sus diferentes niveles de resiliencia y capacidad de carga. A consecuencia de lo anterior, se plantean actuaciones cautelares ante los cambios globales y los procesos de alto riesgo e incertidumbre con la adopción de «estándares mínimos de seguridad»

(Ciriacy-Wantrup, 1952), buscando un equilibrio entre las preferencias morales y el libre uso de los sistemas ambientales, y con la definición de «umbrales de coexistencia racional» entre actividades económicas y servicios ambientales (Jiménez Herrero, 2002)

8. Implantación de políticas de sostenibilidad, indicadores y modelos de decisión

Implantar esquemas de sostenibilidad y orientar los procesos hacia un desarrollo más sostenible es mucho más difícil que definirlos.

A pesar de todo, por el momento, aún considerando los notables avances habidos, todavía no contamos con definiciones totalmente perfiladas sobre los procesos de sostenibilidad. De alguna manera, percibimos una cierta frustración —más palpable en la esfera de la acción política— ante la falta de criterios de validez absoluta, porque los variados enfoques de tipo moral, institucional y tecnológicos (y entre los distintos grados de fuertes y débiles) han sido poco operativos para encontrar una definición objetiva y centrar el objetivo que sirva fundamentalmente para gestionar la sostenibilidad y poder aplicarla. Incluso algunos autores (Sikor y Noorgard, 1999) insisten en que la sostenibilidad debería verse como un resultado continuo de procesos sociales apropiados. Lógicamente, la interpretación de lo que significa «procesos apropiados» solamente puede ser juzgado por la calidad de los resultados, ya que esa imposibilidad de definición objetiva indica que el conocimiento de lo que verdaderamente se puede identificar como sostenibilidad es algo real que está fuera de la propia sociedad, por lo que debe ser tratado como un proceso empírico (Godwy, 1999).

Más aún, cualquier definición de objetivos, al tener que relacionarse con las escalas espacio-temporales, es difícilmente ajustable *a priori*. Las condiciones de aptitud de los procesos sostenibles, según algunos autores (Godwy, 1999; Constanza, 1998), sólo pueden determinarse realmente «después del hecho» y, por eso, las condiciones de sostenibilidad sólo pueden concretarse después de que se haya producido el hecho cierto.

La mayoría de las definiciones de sostenibilidad se refieren más bien a pronósticos sobre acciones actuales que se espera que conduzcan a una determinada situación más sostenible en un tiempo futuro. Y esto es más un pronóstico que una definición.

Así es que mientras los enfoques tradicionales asumen que la sostenibilidad puede ser definida por una función objetiva independiente de factores históricos y sociales, los modernos enfoques cambian el énfasis de las metas definidas *a priori* a las condiciones básicas bajo las cuales los objetivos apropiados pueden ser constante y sistemáticamente evaluados. En realidad, la sostenibilidad resulta ser un proceso social que integra diversas perspectivas, a la vez que conjuga diversos intereses sobre los recursos, al efecto de proporcionar suficientes oportunidades para satisfacer las futuras demandas de recursos. Por tanto, es necesario asumir que la sostenibilidad del desarrollo no puede determinarse objetivamente porque su definición implica juicios de valor respecto a las calidades y tipo de recursos que deberían ser mantenidos por determinados medios y por quién deberían ser implantados. En consecuencia, la sostenibilidad se asienta en el contexto de procesos sociales que modifican, conservan, aumentan y sustituyen las potencialidades de los recursos (Sikor y Noorgard, 1999).

Adicionalmente a lo anterior, habría que encontrar nuevas formas de medir la sostenibilidad, identificando los progresos que se pretenden en una determinada dirección (entendida más o menos sostenible). Los sistemas de medición deben proporcionar señales adecuadas para indicar los reajustes de un proceso dinámico en permanente sucesión de equilibrios y desequilibrios temporales. Para explicitar la tendencia hacia un desarrollo sostenible «real» hay que tomar en consideración las interacciones más representativas con el fin de señalar las variaciones positivas frente a las pérdidas, depreciaciones y daños, estimando, asimismo, las alteraciones en la riqueza y en la capacidad productiva. A este respecto, es importante destacar que las estimaciones de todo proceso de desarrollo sostenible deben centrarse, especialmente, en la medición del valor real añadido, esto es, como señala Dahl (1996), de la productividad primaria o de la transformación que añaden funcionalidad, utilidad, durabi-

lidad e información. Pero sin desatender la restitución del valor real perdido para equilibrar las fuerzas de sustentación, lo cual siempre se producirá a costa de otro desequilibrio espacio-temporal, siguiendo la tendencia entrópica.

En entramados complejos, las interpretaciones difícilmente se pueden reducir a relaciones directas causa-efecto. Más bien, hay que considerar las relaciones de causalidad circular, no lineales y sinérgicas. En muchos casos, la información relevante solamente puede proporcionarse a través de la combinación de un conjunto de indicadores en forma georreferenciada, y no por la agregación de ellos (Gallopín, 1994). La interpretación correcta de la cadena de causalidad depende de cómo el carácter originario y la magnitud de los problemas se amplifican, se acumula o se refuerza en el tiempo a lo largo de diferentes escalas (local, regional, global), según los ámbitos de actuación (ambiental, económico, social).

Por otro lado, la toma de decisiones, desde esta perspectiva, se orientaría mejor utilizando metodologías de análisis multicriterio y de evaluación multiobjetivo. Con ello, se puede avanzar en los sistemas de gestión, racionalizando los análisis de sostenibilidad con enfoques de usos múltiples de recursos y sistemas, de tal manera que se puedan encontrar soluciones que, aunque no sean óptimas, al menos sean satisfactorias para los usuarios, en la medida en que éstos sepan repartir los beneficios potenciales del conjunto⁶.

⁶ Un análisis multiuso resulta más relevante cuanto mayor es el número de interacciones que se presentan, esto es, en situaciones donde se producen combinaciones complejas de diferentes grupos de usuarios que actúan sobre determinados recursos con usos alternativos y que forman parte de un conjunto ecosistémico, el cual es interdependiente con otros sistemas ecológicos y sociales. Un ejemplo ilustrativo puede ser el caso de un bosque (ecosistema) utilizado por varios usuarios, con diferentes usos directos (producción de madera, esparcimiento, investigación científica, etcétera) y que, además, tiene otras funciones (usos indirectos) como unidad sistémica interrelacionada (regulación hidrológica, mantenimiento de biodiversidad, fijación de CO₂, regulación del clima, etcétera). Las complejas redes de relaciones entre usos y usuarios, manteniendo la integridad del sistema, se van estructurando de acuerdo con determinados intereses socioeconómicos en conflicto y dependiendo de ciertas condiciones de propiedad y regulación (propiedad colectiva o privada, asignación de derechos de propiedad, regulación social de los bienes globales). A la postre, se trata de resolver estos conflictos en condiciones de sostenibilidad integral, en comparación con

En línea con estos planteamientos, se refuerzan cada vez más las tendencias a usar sistemas de indicadores múltiples que sean apropiados para clarificar la toma de decisiones admitiendo la esencia evolutiva de la sostenibilidad. En este sentido, ya hemos señalado en otras ocasiones (Jiménez Herrero, 2000, 2002) algunas iniciativas que tratan de articular indicadores físico-energéticos (en la vertiente de sostenibilidad fuerte) con otros de tipo económico (en la vertiente de sostenibilidad débil), conjuntamente con otros de tipo social. Un enfoque concreto sobre esto ha sido propuesto por Ruth (1995), en un intento de integración de los conceptos centrales de ecología (para representar los ciclos e interacciones económicas con el entorno), de termodinámica (para tener en cuenta la calidad y cantidad de materia/energía de los sistemas) y de economía (para la asignación óptima de recursos). Se perfilan así, importantes elementos de decisión política y empiezan a vislumbrarse tendencias en el uso de indicadores más orientados a definir la toma de decisiones acordes con la trayectoria evolutiva de la sostenibilidad. En línea con lo anterior, se han planteado modelos dinámicos de decisión mediante indicadores físico-energéticos con otros de tipo económico-social en esquemas de sostenibilidad dinámica con una racionalidad procedimental y concebidos como un «árbol de sostenibilidad dinámica» (Faucheux, 1993; y Faucheux y Froger, 1994)⁷.

una situación de uso único, a costa de renunciar a una parte de sus ganancias, pero manteniendo flujos de beneficios competitivos y compatibles entre los diferentes beneficiarios.

⁷ Este planteamiento se basa en sustituir la medición de un objetivo global difícilmente medible, como es la sostenibilidad del desarrollo, por otros *objetivos intermedios* o por *subobjetivos intermedios* de sostenibilidad ecológica, económica y social. Con este procedimiento se pueden utilizar técnicas de evaluación y análisis energéticos con algunos indicadores específicos, tales como: *excedente eMergético*, que mide el subobjetivo intermedio de reproducción de recursos naturales, teniendo en cuenta la transformidad social; *generación de entropía mínima*, como subobjetivo intermedio de minimización de la contaminación ambiental; *excedente eXergético*, como subobjetivo intermedio de rendimiento energético del sistema económico. Frente a los indicadores «débiles» encuadrados en el reajuste ambiental de los indicadores económico y de desarrollo convencionales («PNB verde», «Ahorro genuino», «Índice de Bienestar económico sostenible», etcétera), se pueden mencionar algunos de los fuertes, especialmente relevantes como sistemas de medición basados en la «utilización del espacio ambiental»; la «relación entre la huella ecológica» y

Pero, en cualquier caso, no deberíamos tomar los indicadores y los modelos como instrumentos en sí mismos, ni mucho menos convertirlos en los fines del desarrollo sostenible. Existen siempre juicios de valor, y los indicadores y las metodologías de evaluación no son siempre tan asépticos como para conducirnos a un modelo homogéneo de sociedad por criterios parciales de sostenibilidad. Cada país, cada cultura y cada ecosistema, tiene sus propias necesidades, condiciones y características que condicionan el modo en que las sociedades puedan aspirar hacia una mayor unidad a través de su diversidad, tratando de controlar su propio destino

9. Relaciones entre sistemas para la gestión de la sostenibilidad. Jerarquías y estrategias adaptativas

La aplicación de los criterios de sostenibilidad al desarrollo depende de la estructura de relaciones entre los sistemas económicos, ecológicos y sociales. Estos sistemas interactúan entre sí de forma interdependiente, y su integridad y funcionamiento están condicionados por el tipo de relaciones e interdependencias que se presentan entre sistemas que son intrínsecamente complejos y no lineales. Precisamente, estas características hacen que estas relaciones sean temporalmente dependientes y esto supone una multitud de soluciones posibles. Por ello, cobran especial relevancia las consideraciones acerca de la jerarquía de sistemas y la estrategia adaptativa.

Es evidente que, a la hora de hacer operativo el concepto de sostenibilidad e implementarlo, aparecen las diferencias entre escalas geográficas, espaciales y temporales. En la propia esfera biológica existen componentes que operan en escalas muy diferentes, al igual que ocurre en la esfera humana en sus ámbitos económicos sociales e institucionales. Las decisiones definidas desde uno de los ámbitos pueden tener consecuencias impredecibles sobre los otros, por lo que llegar a verdaderos estados de

sostenibilidad requiere que se consideren conjuntamente todos los ámbitos de los sistemas interconectados. Las decisiones deberían tener en cuenta la organización jerárquica de los sistemas y de los vínculos entre los órdenes superiores e inferiores, considerando las conexiones funcionales y estructurales entre ellos y cómo los cambios producidos en un subsistema afectan a otros y al sistema general.

Una actividad es más o menos sostenible dependiendo de sus motivaciones o *input* (vínculos con la sociedad y las fuentes ecológicas), así como de sus resultados o *output* (vínculos con la sociedad y los sumideros ecológicos), además de otras características. Tratar de hacer operativa la noción de sostenibilidad usando estos vínculos nos permite usar una visión jerárquica del mundo donde los problemas se enfocan desde varios planos y las soluciones pueden presentarse mirando los vínculos entre estos planos jerárquicos (Kane, 1999).

Por otra parte, la gestión de los procesos de sostenibilidad desde una visión convencional presenta la dificultad de separar las relaciones entre los sistemas, y no tiene en cuenta la existencia de una jerarquía de sistemas. Los sistemas complejos se organizan en niveles jerárquicos que tienen una disposición de orden descendente desde los niveles superiores, que controlan a otros situados en niveles inferiores, aunque esta subordinación entre niveles siempre es incompleta, ya que cada nivel tiene sus propias reglas de conducta y sus características específicas (Eldredge, 1985).

El estudio de los sistemas jerárquicos puede aportar interesantes elementos de gestión, teniendo en cuenta las jerarquías interconectadas de los sistemas biofísicos y socioeconómicos, que operan en diferentes escalas de tiempo y espacio. La perspectiva termodinámica introducida en la economía por Georgescu-Roegen (1971), mediante la aplicación de la Ley de la Entropía, inició un nuevo campo de análisis de las relaciones entre economía y ecología. La entropía define una jerarquía entre estos sistemas, en la medida en que la economía productiva importa baja entropía del medio ambiente (dependiendo de los combustibles fósiles) y devuelve más desorden a los sistemas naturales. Más aún, si la entropía se concibe como información,

la «capacidad de carga apropiada»; la «intensidad material por unidad de servicio»; «necesidades materiales totales»; y el «índice de proceso sostenible» (JIMENEZ HERRERO, 1997, 2000).

a través de los desequilibrios ecológicos se está produciendo una pérdida de baja entropía, tal como es la información genética, con lo cual se está perdiendo una capacidad que puede ser crítica para la estabilidad de los sistemas naturales y, en última instancia, para poder seguir «subsidiando» temporalmente el crecimiento de la economía material (Gowdy, 1999). Para explicar la existencia de vida, su evolución, y su tendencia a la complejidad hay que percibir otras reglas de funcionamiento (no mecanicistas) de los sistemas lejos del equilibrio. Los sistemas abiertos y los organismos vivos separándose del equilibrio son capaces de mantener un estado estable importando del exterior energía libre y almacenando información (negentropía) para contrarrestar el aumento de entropía y lograr mayor organización, creando orden del desorden, por fluctuación y por la acción de «procesos disipativos» (Prigogine, 1974, 1983, 1997).

De otro lado, las relaciones entre sistemas se producen con procesos lógicos y racionalidades diferentes, incluso contrapuestos, como han sido los de la ecología profunda y los de la economía profunda. La economía, para ser sostenible, tendría que asumir la lógica del sistema global, de las esferas de lo vivo, de lo físico y de lo social, además de lo puramente económico o la «lógica de la biosfera», como señala Passet (1979), para poder trascender el objetivo de lo monetario y lo cuantitativo, y aspirar a la reproducción del medio natural, al desarrollo sostenible y a la supervivencia del sistema planetario. Asimismo, es obvia la gran diferencia que existe entre la escala temporal, en la que opera la economía de mercado, frente a la escala de tiempo, en la que operan las instituciones políticas y sociales, y que es muy inferior, en cualquier caso a aquéllas en las que operan los ecosistemas. Por esas diferencias temporales de información, la aparición de inestabilidades en los sistemas naturales no puede ser considerada en las decisiones económicas a corto plazo. Cuando los flujos de información de sistemas jerárquicos se interrumpen, porque las diferencias de escala son demasiado elevadas, existe un riesgo potencial de que las decisiones basadas en señales cotidianas, como las que provienen del mercado y que están en el ámbito de los niveles inferiores, no puedan reflejar las señales de los niveles superiores para establecer, en

consecuencia, procesos de adaptación. Un ejemplo de esta dificultad se puede apreciar en el valor y uso de la biodiversidad definida, en un nivel jerárquico superior del ecosistema, y con un papel fundamental para el mantenimiento de su capacidad adaptativa y de su resiliencia auto-organizativa (Gowdy, 1999). La pérdida de diversidad biológica pone en peligro la preservación del potencial evolutivo de las especies, de los genes y de los hábitats, lo que aumenta el riesgo de impedir la adaptación a los cambios y facilita la coevolución con otros sistemas. La coevolución sugiere que las características de una especie dependen predominantemente de otras especies y de sus propias características. Los sistemas naturales y sociales se interconectan de tal manera que cada subsistema ejerce una presión selectiva sobre los otros y todos ellos evolucionan, por lo que cada uno refleja las características de los otros. En este sentido, Noorgard (1987) considera que el actual modelo de desarrollo de la humanidad es el resultado de un proceso de coevolución entre conocimiento, valores, organización, tecnología y medio ambiente. Y que, en síntesis, la insostenibilidad de las sociedades modernas es consecuencia de un modelo basado en una economía energética que ha permitido controlar los ambientes inmediatos en el corto plazo mientras se desplazaban los impactos ambientales en el tiempo y hacia las futuras generaciones.

Por tanto, desde la óptica coevolucionista comprendemos mejor que las condiciones de insostenibilidad no se pueden resolver con correcciones externas a la propia sustancia del modelo actual; porque, en sí mismo, esto limita nuestras habilidades para percibir los problemas y resolverlos fuera de los esquemas dominantes, cuya definición de valores y organización son poco pertinentes para enfrentarse a los ajustes de la dinámica de los sistemas complejos (Noorgard, 1994).

En paralelo a esta línea de pensamiento surgen nuevas orientaciones para tratar de gestionar la complejidad organizada o, más modestamente, para no interferir negativamente. En estos sistemas las condiciones de permanente incertidumbre y otras características ecosistémicas, como la variabilidad dinámica, la resiliencia, etcétera, imponen una estrategia adaptativa. Un determinado nivel de sostenibilidad es el resultado de procesos

interactivos enrevesados. La modificación de un componente del sistema también es una propiedad del mismo, de tal suerte que esta alteración puede reverberar en el conjunto mismo y en otros sistemas dependientes. Se establecen así múltiples redes de causa-efecto, las cuales, más que lineales, suelen ser aditivas y sinérgicas, y cuyos resultados, adicionalmente, cuando se trata de elevados impactos de origen humano, cuentan con grandes posibilidades de que se presenten discontinuidades y puntos críticos que pueden ocasionar catástrofes. En consecuencia, los enfoques integradores y adaptativos deben considerar el conjunto del sistema en su complejidad, totalidad y dinámica propia, al tiempo que deben potenciar que el sistema pueda moverse hacia grandes modos de comportamiento que sean deseables, dejando que él mismo realice sus ajustes y aumente su capacidad de reacción ante las perturbaciones (Holling, 1987; Jiménez Herrero y Mohamadian, 1997)

Además de la anticipación, es imprescindible tener en cuenta la dinámica de las interacciones sociales y naturales. Algo que el enfoque tradicional de planificación, con su racionalidad funcional, su orientación sectorial y su tratamiento independiente, ha venido ignorando. La estrategia o gestión adaptativa es un interesante enfoque derivado de la evidente insuficiencia de los métodos convencionales de gestión de la naturaleza y de las propias incapacidades humanas para ejercer adecuadamente esas funciones. La intervención humana en la dinámica de los sistemas complejos puede provocar reacciones imprevistas del sistema intervenido. Es más, en ocasiones, los intentos humanos de administrar sistemas naturales han fracasado porque algunas prácticas que son positivas para una parte del sistema, a veces no son apropiadas para la totalidad del mismo sistema. Las propuestas, en este sentido (Holling, 1987, 1995; Gallopín, 1987), insisten en la necesidad de una administración adaptativa para los sistemas naturales, combinando elementos científicos con elementos de gestión, de tal manera que las intervenciones humanas deben de estar más orientadas por criterios de experimentación y control, de los que hay que aprender continuamente. Es decir, que no es imprescindible recurrir a la ciencia para determinar las prácticas de gestión más adecuadas, sobre todo

cuando estamos sometidos a procesos de permanente incertidumbre, sino que hay que tomar conciencia de que esta intervención humana es, particularmente, un proceso de experimentación y aprendizaje porque los sistemas ecológicos no están en un equilibrio fijo.

10. Abriendo puertas al conocimiento: transdisciplinariedad, postnormalidad y postmodernidad

Teniendo en cuenta que la sostenibilidad y el desarrollo sostenible son conceptos firmemente relacionados con la capacidad de los sistemas para absorber perturbaciones, evolucionar y coevolucionar con otros sistemas en interacción, las políticas en torno a la sostenibilidad, en la medida que tratan de lograr una profunda transformación de la organización social y de la actividad económica, tienen que ir más allá de los enfoques multi e interdisciplinarios para llegar a una visión transdisciplinaria que permita tratar los problemas y los interrogantes en su conjunto y en escenarios cambiantes. Ello supone, además, abrir las puertas a un nuevo enfoque científico en el ámbito de la ciencia «postnormal» (o de segundo orden), para tener la capacidad de relacionar la ciencia con los procesos de toma de decisiones de alto riesgo en un contexto sometido a grandes dosis de incertidumbre. Es decir, admitir un enfoque identificado como una evolución y ampliación de la ciencia tradicional para adecuarla a las condiciones del presente, con el reconocimiento de la incertidumbre y la ignorancia, y su empeño es gestionar el bien común.

Porque si, efectivamente, los hechos son inciertos, los valores están en discusión, los intereses en juego son altos y las decisiones son urgentes, es preciso «reconciliar la razón con la pasión» (Funtowicz y Ravetz, 1991). En este sentido, se pueden impulsar cambios de paradigmas en el ámbito de la economía y el desarrollo en clave de sostenibilidad, bajo el principio de precaución, para ajustar los costes de la incertidumbre (Jiménez Herrero, 2000). Aquí se presenta el gran desafío de asignar responsabilidades y definir incentivos, como señala Peskin (1991), para que

las partes correspondientes carguen con los costes de la insostenibilidad, incluyendo los costes totales del daño al entorno, y también para que los subsidios perjudiciales para el medio ambiente no queden fuera de la contabilidad, y no ayuden, con ello, a sobrepasar los niveles de sostenibilidad.

Finalmente, los objetivos de sostenibilidad y de desarrollo sostenible, además de incluir principios generales de protección, inversión y cooperación, deberían contener también en el ámbito científico una permanente investigación sobre nuevas opciones técnicas e institucionales para proteger los recursos de las fuerzas destructoras, así como invertir en las posibilidades de los recursos futuros y equilibrar diferentes intereses en el uso de los mismos. De esta manera, la innovación se convierte en un mecanismo crucial para ajustar mucho mejor las prácticas del uso de los recursos a condiciones ecológicas y socioeconómicas heterogéneas y adaptarse a los cambios, de acuerdo con estas condiciones. (Sikor y Noorgard, 1999)

Pero, más aún, la filosofía de la postmodernidad debería alentar un enfoque científico en línea con la ciencia postnormal. La postmodernidad ha cuestionado las bases del conocimiento científico que ha conformado el pensamiento moderno y niega la objetividad de la ciencia, el determinismo, la cultura unitaria, la racionalidad de la relación entre objeto y sujeto (el hombre racional frente a un mundo de cosas), mientras que admite la fragmentación, la discontinuidad y el caos. El pensamiento actual que trata de reflexionar sobre las interacciones profundas entre los sistemas humanos y los sistemas ambientales requiere manejar ambigüedades, incertidumbres, cualidades, multiculturas, visiones múltiples y realidades heterogéneas. Necesita, pues, esos fundamentos postmodernos donde la única norma es la ausencia de norma

11. Conclusiones

La dificultad de objetivar cualquier función de sostenibilidad y de gestionar el cambio y la adaptación al mismo, tiene una especial significación dentro de la esfera de la acción política y la toma de decisiones. Más aún, si la sostenibilidad se concibe como

un principio integrador y unificador que se asienta sobre la resiliencia de los sistemas, las respuestas políticas tienen que contextualizarse en el mundo de las incertidumbres, que son inherentes a las dinámicas auto-reguladoras de los sistemas. Para implantar esquemas de sostenibilidad no sólo es imprescindible el mantenimiento de las capacidades de los ecosistemas, sino que es prioritario fomentar la habilidad de los sistemas humanos para crear dispositivos de sustentación sociales, económicos e institucionales que sean capaces de potenciar su resiliencia autoorganizativa y su funcionamiento adaptativo.

Se hace cada vez más necesaria una nueva visión orientada por enfoques preventivos y adaptativos, que permita administrar más racionalmente los sistemas complejos en transformación. Y ello es más pertinente cuando, como ahora se vislumbra, las incertidumbres son permanentes y el criterio de precaución se convierte en un principio básico de actuación, simplemente debido a la insuficiente capacidad y conocimiento humano ante el complejo mundo real. El profesor Lovelock (1992) señala, incluso, la incapacidad de la especie humana para intervenir en los sistemas ambientales por falta de comprensión y conocimiento de las reacciones que pueden derivarse. Destaca, así, la incapacidad humana de gestionar la complejidad organizada, y la conveniencia de asignar un modesto papel a nuestra especie en la historia de la evolución, tratando solamente de aspirar a ser un buen «representante sindical» de las otras especies vivas del «superorganismo» Gaia (Diosa Tierra).

En consecuencia, parecen sugerentes los planteamientos de algunos autores, en línea con Holling (1987, 1995), que insisten en que los modelos de gestión y las políticas basadas en ellos no se deben considerar como acciones finales, sino más bien como un proceso de experimentación orientativo y adaptativo entre los sistemas que se están gestionando y que recalca la importancia de los procesos de retroalimentación. Hacer más sostenibles los sistemas que son considerados complejos y también adaptativos (donde se pueden incluir los sistemas naturales y humanos que interactúan sistémicamente) depende esencialmente de comprender los problemas y restricciones de su dinámica evolucionista (Constanza 1998).

Pero en esa dinámica hay que tener presente que, en determinadas circunstancias, cuando los sistemas se encuentran sobretensionados, los procesos de cambio no son graduales, sino que surgen puntos de bifurcación (Lazlo, 1990), y saltos bruscos. Así es que, cuando se produce un conjunto de condiciones críticas, tanto de índole natural como de índole social, se pueden esperar rápidas transformaciones derivadas de haber traspasado los umbrales críticos. Y los cambios que se producen no son ni graduales ni lineales, sino que sobrevienen de forma abrupta. Según Gould (1986), el mundo natural evoluciona a través de largos periodos de estancamiento interrumpidos por súbitos saltos hacia adelante. El sistema humano ha impactado de tal manera sobre el medio ambiente que ha interferido en el ritmo de evolución de la naturaleza. Con ello estamos inmersos en un proceso de adaptación al cambio ambiental, si bien la sociedad humana evoluciona de forma mucho más rápida que los sistemas naturales, y que nuestra dotación genética subyacente, y también mucho más acelerada, permitiendo introducir cambios dentro de la misma generación y con personas con las que no se guarda relación directa, incluyendo los cambios tecnológicos, institucionales, e, incluso, de los sistemas de valores.

A pesar de todo, quedan atisbos de esperanza. Como señala Paul Ehrlich, la aceleración de la evolución cultural es un factor característico de la especie humana que se distingue del cambio natural porque las personas tienen capacidad de planificar y alterar el curso del desarrollo humano siendo un factor más determinante de nuestro destino que la propia evolución biológica (Ehrlich, 2000).

Ciertamente, en la medida en que podemos estar «sobrepasando» los límites de la biosfera, la sostenibilidad global depende más que nunca de un cambio de valores sobre la pretendida dominación humana de la naturaleza. Y eso requiere mejorar los conocimientos, modificar las creencias, las instituciones y los intereses dominantes. En definitiva, acelerar la evolución cultural potenciando el ingenio humano con dignidad y equidad para saber reaccionar ante la incertidumbre, superar los conflictos y ajustar los desequilibrios permanentes.

Referencias bibliográficas

- [1] ATKINSON, A. (1995): «La sostenibilidad como resiliencia en sistemas agroecológicos», en CADENAS, A. (ed), *Agricultura y Desarrollo Sostenible*, Ministerio de Agricultura, Madrid
- [2] BERGH, J. C. y NIJKAMP, P. (1994): «Modeling Ecologically Sustainable Economic Development in a Region: A Case Study in the Netherlands», *Annals of Regional Science*, volumen 28, páginas 7-29.
- [3] BROWN, L., et al. (2000, 2001): *La situación en el mundo*, ICARIA, Madrid.
- [4] CIRIACY-WANTRUP (1952). *Resource Conservation: Economics and Policies*, Berkeley, University of California Press.
- [5] CMMAD (1987): *Nuestro Futuro Común*, Madrid, Alianza Editorial.
- [6] COMMON, M. y PERRINGS, C. (1992): «Toward an Ecological Economics of Sustainability», *Ecological Economics*, volumen 6.
- [7] CONSTANZA, R. y PATTEN, B. C. (1995): «Defining and Predicting Sustainability», *Ecological Economics*, 15, páginas 193-196.
- [8] CONSTANZA, R., et al. (1997): «The Value of the World's Ecosystem and Natural Capital», *Nature*, 15 de mayo, volumen 387.
- [9] CONSTANZA, R. et al. (1998): *An Introduction to Ecological Economics*, CRC Press, Washington DC.
- [10] CONWAY, E. B. (1987): «The Concept of Sustainable Economics Development», *Environmental Conservation*, número 14 (2), páginas 101-110.
- [11] DAHL, A. L. (1996): «To Measuring the Unmeasurable». *Our Planet*, volumen 8, junio, páginas 17-23.
- [12] DALY, H. E. (1990): «Toward Some Operational Principles of Sustainable Development», *Ecological Economics*, volumen 5.
- [13] DALY, H. E. (1991): «From Empty-world Economics to Full-world Economics», en GOODLAND et al. (eds.): *Environmentally Sustainable... Economic Development: Building on Brundtland*, París, UNESCO.
- [14] DALY, H. E. (1992): «Allocation, Distribution and Scale: Towards an Economics That is Efficient, Just, and Sustainable», *Ecological Economics*, volumen 6.
- [15] EHRLICH, P. (2000): *Human Nature*, Island Press, Washington DC.
- [16] ELDEREDGE, N. (1985): *Unfinished Sintesis*, Oxford University Press, Nueva York.
- [17] FAUCHEUX, S.; FROGER, G. y NOEL, J. F. (1993): «Quelles hypothèses de rationalité pour le développement soutenable?», *Economie Appliquée*, número 46 (4).
- [18] FAUCHEUX, S. y FROGER, G. (1994): «Decision-Making under Uncertainty», *Ecological Economics*, volumen 4.
- [19] FUNTOVICZ, S. O. y RAVETZ, J. R. (1991): «A New Scientific

- Methodology for Globalenvironmental Issues», en COSTANZA (ed.) (1991): *Ecological Economics*, Columbia Univ. Press.
- [20] GALLOPIN, G. (1994): «Agroecosystem Health: A Guiding Concepts for Agricultural Research», en *Proceedings of an International Workshop Agroecosystem Health*, University Guelph, Ontario, Canadá.
- [21] GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971): *The Entropy Law and The Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge, Mas.
- [22] GOULD, S. y ELDREDG, N. (1986): «Punctuated Equilibria at the Third Stage», *Systematic Zoology*, 35, 143-148.
- [23] GOWDY (1997): «The Value of Biodiversity: Markets, Society and Ecosystems», *Land Economics*, 73, 1, 25-41.
- [24] GOWDY (1999): «Hierarchies in Humans Affairs: Microfundations and Environmental Sustainability», en KÖHN, J. et al. (ed.) (1999): *Sustainability in Question*, Edward Elgar Publishing, Mass.
- [25] HARTWIC, J. M. (1977): «Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustive Resources», *American Economic Review*, 67, 5.
- [26] HICKS, J. R. (1945): *Value and Capital*, Oxford University Press. Oxford.
- [27] HOLLING, C. S. (1973): «Resilience and Stability of Ecological Systems», *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- [28] HOLLING, C. S. (ed.) (1978): *Adaptative Environmental Assessment and Management*, Wiley, Chichester.
- [29] HOLLING, C. S. (1987): «Simplifying the Complex: The Paradigms of Ecological Function and Structure», *European Journal of Operational Research*, 30, 139-146.
- [30] HOLLING, C. S. et al. (1995): «Biodiversity in the Functioning of Ecosystems», en PERRING, C. A. (ed.): *Biodiversity Loss: Ecological-land Economics Issues*, Cambridge University Press, Cambridge, R. U.
- [31] HOLMBERG, J. (1995): *Socio-Ecological Principles and Indicators for Sustainability*, Institute of Physical Resource Theory, Göteborg, Suecia.
- [32] JIMENEZ HERRERO, L. (1992): *Medio ambiente y desarrollo alternativo: gestión racional de los recursos para una sociedad perdurable*, Madrid, IEPALA.
- [33] JIMENEZ HERRERO, L. (1996): *Desarrollo sostenible y economía ecológica*, Editorial Síntesis, Madrid.
- [34] JIMENEZ HERRERO, L. y MOHAMMADIAN, M. (1997): «Bio-economics and Sustainable Development», *14th International Conference of WACRA-EUROPE on Sustainable Development: Towards Measuring the Performance of Integrated Socioeconomic and Environmental Systems*. 16-19 septiembre, Madrid.
- [35] JIMENEZ HERRERO, L. (2000): *Desarrollo sostenible: transición hacia la coevolución global*, Ed. Pirámide, Madrid.
- [36] JIMENEZ HERRERO, L. (2001): *Desarrollo sostenible y la agenda local 21*, CES, Comunidad Valenciana Medioambiente, Municipio y Urbanismo, Castellón.
- [37] JIMENEZ HERRERO, L. (2002): «Bases económicas del desarrollo sostenible», en VV. AA.: *Ecología: Perspectivas y Futuro*, Fundación Alternativas y Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.
- [38] KANE, M. (1999): «Sustainability Concepts: From Theory to Practice», en KÖHN, J. et al. (ed.) (1999): *Sustainability in Question*, Edward Elgar Publishing, Mass.
- [39] KHÖN, J. y GOWDY, J. (2001): «Sustainability as a Management Concept», en KHÖN, J. et al. (ed.): *Sustainability in Action*, Edward Elgar Publishing, Mass.
- [40] LASZLO, E. (1990): *La gran bifurcación*, Barcelona, Gedisa.
- [41] LOVELOCK, J. (1992): *GAIA. Una ciencia para curar el planeta*, Barcelona, Integral, Oasis.
- [42] MEADOWS, D. H. et al. (1972): *Los límites al crecimiento*, México, F.C.E.
- [43] MEADOWS, D. H. et al. (1992): *Más allá de los límites de crecimiento*. Madrid, El País-Aguilar.
- [44] NORGAARD, R. B. (1988): «Sustainable Development: A Co-evolutionary View», *Futures*, diciembre.
- [45] NORGAARD, R. B. (1994): *Development Betrayed: The End of the Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future*, Routledge, Londres.
- [46] OCDE (2001): «Policies to Enhance Sustainable Development», OCDE, París.
- [47] PASSETT, R. (1979): *L'Économique et le vivant*, París, Petit Biblioteque Payot.
- [48] PEARCE, D. W. et al. (1993): *Blueprint 3*, Erthscan Publications, Londres.
- [49] PEARCE, D. W. y WARFORD, J. J. (1993): *World Without End*, Nueva York, Oxford University Press.
- [50] PESKIN, H. M. (1991): «Alternative Environmental and Resource Accounting Approaches», en COSTANZA (ed.): *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability*, Columbia University Press, Nueva York.
- [51] PRIGOGINE, I. (1974): *Introducción a la dinámica de los procesos irreversibles*, Barcelona, Selecciones Científicas.
- [52] PRIGORINE, I. (1983): *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Barcelona, Tusquets-Metatemás.
- [53] PRIGOGINE, I. (1997): *Las leyes del caos*, Barcelona, Crítica.
- [54] RAWLS, J. R. (1971): *A Theory of Justice*, Cambridge, Harvard University Press.
- [55] RUEDA, S. (1997): «La ciudad mediterránea, un modelo de ciudad sostenible», *Win Empresa*, número 12, junio.
- [56] RUTH, M. (1995): «Thermodynamics Constraints on Optimal Depletion», *Ecological Economics*, 1, 197-213
- [57] SIKOR, T. y NORGAARD, R. (1999): «Principles for Sustainability: Protection, Investment, Co-operation, and Innovation», en

KÖHN, J. *et al.* (ed.) (1999): *Sustainability in Question*, Edward Elgar Publishing, Mass.

[58] SOLOW, R. M. (1986): «On the Intergenerational Allocation of Exhaustive Resources», *Scandinavian Journal of Economics*, 88.

[59] TURNER, R. K. (1993): «Sustainability: Principles and Practice», en TURNER, R. K. (ed.): *Sustainable Environmental Economics and Management: Principles and Practice*, Londres, Belhaven Press.

[60] UE (2001a): «Diez años después de Río», COM (2001) 53 final.

[61] UE (2001b): *Documento de trabajo* de los servicios de la Comisión sobre la preparación de la estrategia comunitaria de desarrollo sostenible, febrero.

[62] VEEN-GROOT, D. y NIJKAMP, P. (2001): «Sustainable Transport and Factor Four», en KHÖN, J. *et al.* (ed.): *Sustainability in Action*, Edward Elgar Publishing, Mass.