

II Principios e instrumentos de sostenibilidad

Capítulo 6. Principios de sostenibilidad

Ante la insostenibilidad de la civilización industrial, la naturaleza nos ofrece unos comportamientos de los cuales podemos inferir los principios de una economía sostenible. Los cuales suponen la subversión de los fundamentos teóricos (la epistemología) de la teoría económica neoclásica y de su estatus entre las ciencias.

1. Los sistemas complejos adaptativos: los sistemas naturales

En el capítulo 1 hemos visto que uno de los rasgos distintivos del paradigma dominante es el pensamiento lineal y que, sin embargo, lo que prolifera en el mundo son los sistemas complejos, por lo que a partir del pensamiento lineal no se puede entender los comportamientos de los sistemas naturales, sociales, etc. Un sistema, o dicho de otro modo, un conjunto funcional tiene propiedades que no pueden ser inferidas de sus partes. Según Costanza (1993) un sistema complejo se caracteriza por: "(1) fuertes (normalmente no lineales) interacciones entre las partes; (2) lazos complejos de retroalimentación que hacen difícil distinguir entre causas y efectos; (3) significativas diferencias en escalas temporales y espaciales, discontinuidades, umbrales y límites; (4) todo lo cual imposibilita el enfoque de agregar partes o comportamientos a escala pequeña para llegar a conclusiones a gran escala". Habría que añadir que los sistemas complejos necesitan de la aportación continua de un flujo de energía para no dejar de funcionar. Su comportamiento está determinado por las interacciones entre sus elementos, las cuales no son lineales. Por ello tienen una dinámica general difícil de predecir. En un sistema complejo todo está conectado, lo cual determina que cuando un elemento sufre un impacto directo, el resto de los elementos se ven afectados. Y una perturbación pequeña puede desencadenar cambios desproporcionadamente grandes. Cuando tales sistemas tienen capacidad para evolucionar adaptándose a los cambios del entorno, se les define como sistemas complejos adaptativos (SCA). Por medio de interacciones no lineales entre sus componentes los SCA se organizan jerárquicamente en estructuras que determinan, y son reforzados por, los flujos de individuos, materiales, energía e información. Los SCA son abiertos y disipativos, es decir, necesitan aportes exteriores porque están continuamente enviando a su entorno materiales y, sobre todo, energía. Los SCA naturales no pierden otros materiales que los disipados y tienden a disminuir tal flujo a medida que maduran. Estos principios son coherentes con la realidad de que el planeta es un sistema cerrado y finito. Son ejemplos de sistemas complejos adaptativos (SCA) una célula, el cerebro, el sistema inmunológico, un organismo, las colonias de insectos sociales, los ecosistemas, la biosfera, una economía, una sociedad, etc. (Matutinovic, 2002: 422; Nielsen, 2007: 6-16).

Los SCA naturales se caracterizan por su estabilidad, es decir, por su capacidad de mantener sus funciones frente a los impactos exteriores. Los ecosistemas son la primera unidad básica capaz de ser autónoma: "un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, y microorganismos y el medio inerte, interactuando como una unidad funcional" (MEAB, 2006b: 29). Constituye, también, el nivel más bajo que está completo, es decir, que "tiene todos los componentes necesarios para funcionar y sobrevivir a largo plazo" (Odum y Sarmiento, 1997: 46). Dicho de otra forma, constituye el nivel más bajo capaz de cerrar los flujos de los materiales y la mejor estructura para captar y utilizar la energía (Hall y Klitgaard, 2006).

Los ecosistemas son extremadamente complejos. Tienen muchos compartimentos, con muchas conexiones o flujos que interrelacionan los compartimentos y muchos controles y retroalimentaciones. Para reflejar esta realidad se suele decir que en la naturaleza "todo está conectado con todo" (Nielsen, 2007: 6). Los flujos son de nutrientes, agua, tóxicos, energía, individuos e información. Los ecosistemas integran todas las partes bióticas y algunas abióticas, controlan los flujos de materiales y energía, tienen unos límites definidos, las especies o sistemas que los forman son altamente interdependientes y tienen fuertes lazos de retroalimentación y coevolución con el medio (Abel y Stepp, 2003). A medida que un sistema natural madura, sus mecanismos estabilizadores se vuelven más sofisticados y su relación con el medio más estable. Los ritmos de cambio de las especies son muy diferentes y más rápidos que los de los

ecosistemas. La tasa de fotosíntesis de un bosque es menos variable que la de cada una de sus plantas. Los diferentes ritmos de actividad de los componentes de un ecosistema actúan como un mecanismo equilibrante de éste. A su vez un ecosistema forma parte de otro mayor, que le da estabilidad, el cual ejerce su jerarquía sobre los sistemas que lo conforman. En la naturaleza la jerarquía está determinada por el grado de aportación de cada especie al mantenimiento de los ecosistemas. Sin embargo, cada escala tiene una amplia autonomía. Un ecosistema está formado por subsistemas, los cuales evolucionan más rápidamente que él y, por ello, son el origen de los cambios de adaptación del ecosistema. Esta función se suele definir como *revuelta* (Levin, 2002: 12 y ss.; Callicott, 2002: 273 y ss.).

Las especies interactúan entre sí de forma no lineal: “la maquinaria viviente de la Tierra tiene tendencia al cambio catastrófico con muy poco aviso” (MEAB, 2006a: 18). Hay muchos ejemplos de tales cambios: “la emergencia de enfermedades, las alteraciones abruptas en la calidad del agua, la creación de *zonas muertas* en aguas costeras, el colapso de caladeros, y los cambios en los climas regionales” (MEAB, 2006b: 1). Por todo ello, el desarrollo exitoso de un sistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad, y su integración en una estructura jerárquica cada vez más compleja. Estas características les confieren una gran estabilidad porque les da capacidad para mantener sus funciones frente a procesos disruptivos (sequías, fuegos, plagas etc.) (Levin, 2000: 14, 15).

La vida en el planeta se preserva y desarrolla debido a que los ecosistemas realizan tres funciones fundamentales, que denomino abióticas: cierre de los flujos de los materiales; utilización de la energía solar; y actuación sobre el medio abiótico o inerte para mantener sus propiedades físico-químicas dentro de un intervalo adecuado para la preservación de la vida. Para garantizar las funciones abióticas (y en última instancia, para mantener la enorme estabilidad, dentro de un marco evolutivo, que ha caracterizado a la biosfera) los ecosistemas muestran unas características típicas: evolución, diversidad, estructuras jerárquicas, autosuficiencia, descentralización y competencia y cooperación, pero siendo esta última la dominante. Toda esta estructura compleja y jerarquizada tiene el objetivo de preservar la estabilidad de los sistemas naturales.

Por último, la naturaleza tiene estructuras “económicas”: produce materiales mediante fotosíntesis, el consumo se produce a lo largo de la cadena trófica, la cual determina un intercambio de “bienes”. Y todo funciona con la energía solar (Hall y Klitgaard, 2006).

2. El proceso de creación de la teoría de la sostenibilidad

Las sociedades precapitalistas muestran, en general, un alto grado de equilibrio con el medio. Indudablemente hay ejemplos notables de insostenibilidad y colapso. Por otro lado, resulta curioso que la primera escuela de economía, la fisiocrática, que aparece en los albores del capitalismo, pretenda construir una economía sostenible en las sociedades complejas, entroncando con el enfoque económico del mundo antiguo, cuando empieza a ser destruido.

La sostenibilidad del mundo antiguo

Hasta el siglo XVII predominó una visión organicista y religiosa del mundo, según la cual la sexualidad religiosa era el origen de la acción productiva de la naturaleza. De la unión de la Tierra (madre) y el Cielo (padre) nacían los animales, las plantas y los minerales. Se creía que todas las cosas estaban dotadas de vida, incluso los minerales, que se suponía que crecían en la matriz de la Tierra. Los seres humanos no podían alterar sustancialmente la creación de riqueza, sino actuar dentro del orden de la naturaleza para maximizar la producción física. Esta visión dominó las sociedades de recolectores y cazadores y de agricultura incipiente. Aunque también hay excepciones notables de comportamiento insostenible y colapso, pero también las hay de sociedades que corrigieron su dinámica insostenible y sobrevivieron. En el primer caso, son bien conocidos los casos de la isla de Pascua y de los anazaris del Oeste de EE UU. En el primer caso la competición entre los colonos polinesios por la construcción de gigantescas efigies llevó a la destrucción del ecosistema local y a una reducción de la población 10.000 individuos a unos pocos cientos en estado de gran precariedad. Un caso notable de corrección de un comportamiento insostenible es el de la isla de Tikopia, en el Pacífico sur. Los colonos polinesios que ocuparon lo isla 3.000 años antes de nuestra era fueron destruyendo el ecosistema local para alimentar a un

población en expansión durante 1500 años. Ante la insostenibilidad del proceso desarrollaron una producción agrícola al estilo de la permacultura, crearon un ecosistema altamente productivo y de gran variedad y estabilizaron la población (Gowdy, 2006).

La construcción de las bases teóricas de la sostenibilidad

Los fisiócratas (que constituyen la primera escuela económica) se desprenden del concepto religioso de lo económico, pero mantienen la idea organicista y la preocupación por la base físico-natural sobre la que se asienta, así como por los valores vitales. Consideran que el ser humano es capaz de acrecentar y controlar a voluntad la producción mediante el trabajo, con la ayuda de la ciencia, que suplanta el papel activo atribuido anteriormente a las potencias religiosas. El binomio tierra-trabajo constituye la nueva explicación de la riqueza. En palabras de W. Petty, «Todas las cosas deben ser valoradas por dos denominaciones naturales, que son la Tierra y el Trabajo» (Roll, 1966: 107). Los pensadores de los siglos XVII y XVIII se mantienen dentro de este binomio, variando solamente el peso concedido a cada uno de los dos elementos. Por ello la naturaleza imponía sus límites al trabajo, y sólo el respeto a aquélla podía garantizar la reproducción ilimitada de la actividad económica. Como apuntan Mirabeau y Quesnay, la ciencia económica debía orientarse a «conseguir la mayor producción posible, mediante el conocimiento de los resultados físicos que aseguren la recuperación de los recursos invertidos» (Naredo, 1987: 104 y ss.).

Los fisiócratas pensaban que las únicas actividades productivas, es decir, las que acrecentaban la riqueza, eran aquellas que aumentaban la producción material, las que generaban un incremento neto de materia (producto neto, según su propia terminología). Distinguían tres actividades productivas: agricultura, pesca y minería. La introducción de la minería se explica porque, como era corriente en la época, se creía que la Tierra generaba continuamente nuevos minerales, por lo que sólo era necesario dejar descansar una mina agotada para que volviera a suministrar minerales. El comercio no era considerado una actividad productiva porque no creaba producto neto. Criticaron la separación que estaba teniendo lugar del concepto de producción con respecto al significado físico. Para Quesnay era «asilo de sofismas». Los fisiócratas concedían más importancia al valor de uso de las mercancías que al valor de cambio, aunque aceptaban que el segundo, el valor monetario, era el que otorgaba carácter de riqueza a las mercancías. Según Quesnay, «el valor venal del dinero es la base de toda estimación y de toda imputación en la economía política». Sin embargo, no consideraban posible que la riqueza pudiera desprenderse de forma permanente de su soporte físico, por lo que la única forma de asegurar un crecimiento sostenido de los valores monetarios era colaborar con las leyes de la Tierra para acrecentar el producto neto. En los fisiócratas, por tanto, coexisten dos niveles de análisis. Por un lado, tratan de acrecentar los valores de uso, es decir, se preocupan por el carácter utilitario de la producción. Y por otro, razonan en términos monetarios, de valor de cambio. Y es que, dados los conocimientos científicos de la época, no tenían otro medio de medición que el dinero. Este problema facilitó la crítica de los clásicos y la marginación del pensamiento fisiocrático, es decir, el análisis de *lo económico* a partir de sus repercusiones en el medio físico (Naredo, 1987: 104 y ss.). Con Adam Smith se produce la ruptura con el universo fisiocrático y se sientan las bases del sistema económico imperante, basado en el reduccionismo monetario.

Los economistas clásicos, a pesar de su ruptura con el pensamiento fisiocrático, consideraban que era imposible una economía de crecimiento perpetuo. David Ricardo considera que la explosión poblacional se pararía al alcanzarse la máxima producción de alimentos y saca la conclusión de que la economía tendería al estancamiento, debido a los altos costes salariales provocados por la necesidad de utilizar hasta las tierras menos productivas. Y plantea que de esta tendencia estructural al estancamiento económico sólo puede ser superada mediante la intervención del Estado, inaugurando así la escuela neo-ricardiana o keynesiana. Marx criticó el expolio de la tierra por parte del capitalismo. Sin embargo, John S. Mill es el único que propone una visión de economía sostenible al propugnar una economía de estado estacionario, es decir, una economía que evoluciona y se perfecciona, pero que no crece físicamente. En el siglo XX Georgescu-Roegen es considerado como definidor de las bases de una economía sostenible (que denominaba bioeconomía). Su reflexión parte del mecanicismo de la economía ortodoxa, que la incapacita para dar respuestas adecuadas a una realidad que no sabe explicar. Considera que el

crecimiento económico es imposible, porque lleva al agotamiento de las fuentes energéticas, dado que se degrada con el uso en base al segundo principio de termodinámica, que muestra que la energía al ser usada se degrada y no puede volver a ser utilizada. Por ello se convierte en un defensor de la evolución, frente al crecimiento perpetuo, y de la transdisciplinariedad, ya que desde la economía no se podía construir la bio-economía (Carpintero, 2006: 103-105). H. Daly (discípulo de Georgescu-Roegen y el referente moderno de la economía ecológica) retoma la visión del estado estacionario de Mill y lo profundiza. Las premisas de la misma son la constancia de la población, del capital construido (infraestructuras, edificios, máquinas, etc.) y la minimización del uso de energía agotable y de materiales. Un rasgo común de los tres últimos autores es que “interpretan el sistema económico como un subsistema concreto dentro de un sistema más general que es la biosfera”, por lo que no puede “estar al margen de las leyes que gobiernan el funcionamiento de la biosfera” (Carpintero, 2006: 213).

Esta visión venía siendo propuesta durante décadas por prestigiosos ecólogos como E. Odum, Hutchinson, Hall, Margalef y otros (Erkman, 1998: 22, 41). Incluso Marshall, considerado como el gran sintetizador del discurso neoclásico, consideraba que la biología representa un paradigma más apropiado para la economía. El referente está “más en la biología económica que en la dinámica económica” (Carpintero, 2006: 217). Leontief pedía que otras ciencias (entre las que se encontraban la ecología y la biología) contribuyeran a remover la economía dominante del “espléndido aislamiento en que se encuentra” (Hall y Klitgaard, 2006). Un manifiesto de un numeroso y destacado grupo de científicos (encabezado por el Nobel Kenneth Arrow) alerta sobre el proceso de destrucción rápida de la base de recursos naturales, “que es finita”, y afirma que es posible que la economía y la población crezcan “durante algún tiempo”, si se producen “cambios estructurales en la economía” en relación con la gestión de los recursos naturales (Arrow y otros, 1995). Los también Nobel Haavelmo y Tinberger defienden esta visión. En el informe de síntesis de un seminario de la Universidad de Maryland (cuyo objetivo era definir un “Estados Unidos Sostenible y Deseable” para 2100) se afirma: “La gente reconocerá que los seres humanos somos parte de la naturaleza, una especie entre muchas, y que debe obedecer las leyes impuestas por la naturaleza” (Farley y Costanza, 2002: 246). Para el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2001) “los diseños biológicos de la naturaleza constituyen un modelo de sostenibilidad”. Así que, como nos recuerda Benyus, “no necesitamos inventar un mundo sostenible, este está ya realizado”, está en nuestro entorno (Hawken et al., 1999: 73).

3. Principios de sostenibilidad de los sistemas socioeconómicos

La economía humana no puede ser más que un subsistema de esta economía general de los materiales y la energía, que es el componente no vivo (*abiótico*) de la ecología, porque un subsistema no puede transgredir las normas del sistema al que pertenece. Así que la economía humana sólo será sostenible cuando imite a la naturaleza. Esto supone convertir en principios guías los comportamientos naturales. Es decir, los comportamientos abióticos (cierre de los flujos de los materiales, captar la energía solar y mantener las constantes físico-químicas del planeta) se convierten en los principios abióticos. Y los comportamientos bióticos, necesarios para que se puedan dar los abióticos, dan lugar a los principios bióticos, que en esencia se resumen en el comportamiento ecosistémico, es decir, en evolución, diversidad, autosuficiencia, descentralización, jerarquía natural y predominio de la cooperación sobre la competencia.

3.1 Principios abióticos

Los ciclos de los materiales

En la naturaleza casi todos los materiales son reciclados. Del gran número de elementos y compuestos orgánicos simples hallados en la superficie de la Tierra o cerca de ella, sólo algunos son esenciales para la vida. Son las llamadas sustancias biogénicas o nutrientes. En la naturaleza los organismos “tienden a atesorar y recircular los elementos vitales, como el fósforo, que son relativamente escasos respecto a sus necesidades” (Odum y Sarmiento, 1997: 126). A medida que los ecosistemas se desarrollan (los ciclos de vida son más complejos) tienden a aumentar su grado

de cooperación y autosuficiencia, de reciclaje de los materiales y el tiempo de renovación y acumulación de los mismos. Los residuos se convierten en la principal fuente de alimentación. En un bosque maduro menos del 10% de la producción neta es consumida en forma viva (hierba, por ejemplo), la mayor parte del resto de los nutrientes es materia muerta, y los nutrientes inorgánicos que al principio procedían del exterior se van convirtiendo lentamente en *intrabióticos* (Goldsmith, 1996: 381). La naturaleza tiende a mantener los nichos viejos y a crear nuevos y esa proliferación de nichos “es unos de los mecanismos funcionales que explican el cierre de los ciclos de los materiales” (Nielsen, 200: 16). Tiende a cerrar los ciclos de los materiales a escalas territoriales pequeñas, ya que cuando más cortos son los circuitos, mayor es la eficiencia en el aprovechamiento de los materiales y la energía. La naturaleza nos da abundantes ejemplos de este principio. En un bosque la producción primaria es realizada por las hojas en la copa de los árboles. Estas caen, son descompuestas y los nutrientes son captados por las raíces, transportados por los canales circulatorios del tronco y absorbidos. En un arrecife coralino las distancias entre los procesos es mucho menor, es la que existe entre las algas microscópicas y las especies embebidas en el arrecife que las comen. Aunque la mayor parte de los materiales están constantemente siendo utilizados a través de las cadenas tróficas a escala local, hay materiales sujetos a ciclos globales, como son los casos del carbono, fósforo, nitrógeno, azufre, etc.; son los ciclos biogeoquímicos (Nielsen, 2007: 12).

Al contrario de los sistemas naturales, los sistemas socioeconómicos (SSE) producen enormes cantidades y diversidad de residuos que son depositados en la naturaleza y la mayor parte de ellos no lo son en forma disipada. A escala planetaria se usan anualmente 57.643 millones de toneladas (mt) de materiales (conocidos como materiales directos) desglosados en: 18.024 mt de biomasa; 11.602 mt de combustibles fósiles; y 28.017 mt de minerales (desglosados en: 16.728 mt de minerales de construcción, 4.862 mt de materiales industriales y 6.427 mt de metales). Sin embargo, para poder obtener estos materiales es necesario excavar otros muchos y utilizar grandes cantidades de oxígeno y agua, además de la enorme erosión del suelo que produce la agricultura industrial. Estos materiales constituyen los flujos ocultos de los procesos productivos y su dimensión es enorme: 27.544.293 mt (www.materialflows.net).

Boulding (1978) afirma «para que la raza humana sobreviva, tiene que desarrollar una economía cíclica en la que todos los materiales se obtengan de los grandes depósitos (aire, suelo y mar) y se devuelvan a ellos, y todo el proceso se mueva por energía solar». El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2001) declara que “el objetivo es trabajar continuamente hacia sistemas productivos que cierran los ciclos y hacia factorías con cero emisiones, donde cada producto es devuelto a los sistemas naturales como nutriente o se convierte en la materia prima para la fabricación de otro producto”. Pero en capítulo 16 veremos que la economía humana utiliza demasiados materiales y a menudo formando híbridos. Por ello es imposible crear una economía circular y se debe reducir el número de materiales y que estos sean abundantes, que es lo que hace la naturaleza.

Energía solar

El ciclo de los materiales y, en última instancia, de la vida, no se podría mantener sin la recepción de un flujo permanente de energía, lo cual exige que éste sea renovable. Siendo organismos autótrofos, las plantas fijan la energía solar para producir biomasa durante el proceso de fotosíntesis. Funcionan como centrales energéticas descentralizadas que captan la energía solar. La energía fijada va pasando a otros organismos a través de las cadenas tróficas en un proceso en cascada y sirve para producir alimentos y crear nuevos individuos, disipándose el resto en forma de calor a baja temperatura. Este flujo sólo se da en un sentido, sin reversibilidad posible, ya que la energía se degrada con su uso. Por ello, es necesario que la energía solar fluya permanentemente. Pero los ecosistemas maduros realizan estos procesos energéticos de forma altamente eficiente, siguiendo una serie de principios optimizadores, como los de disipación mínima, almacenaje máximo y máxima degradación (Nielsen, 2007: 16).

Por el contrario, los SSE se caracterizan por comportarse de forma totalmente contraria a la de los ecosistemas maduros. Utilizan casi exclusivamente recursos energéticos no renovables. Más del 90% de la energía comercial mundial es insostenible (combustibles fósiles y energía

nuclear) y las tecnologías usadas son ineficientes. El rendimiento de la generación eléctrica no renovable no llega al 50% y la de los motores de explosión está en torno al 20%. Por el contrario, la potencia instalada de las principales renovables crece a ritmos anuales del 30-60%.

Mantenimiento de las constantes vitales

El medio *biótico* (vivo) está actuando sobre el medio inerte (*abiótico*) para lograr que este mantenga unas características físico-químicas que permitan la vida. Esto quiere decir que los dos medios han co-evolucionado a lo largo del tiempo para formar un sistema complejo y autoregulado (Levin, 2000: 28). Los aspectos que son fisiológicamente controlados incluyen “la temperatura de la superficie, la composición atmosférica de los gases reactivos, incluyendo el oxígeno y el pH o grado de acidez-alcalinidad” y el grado de salinidad de los mares (Margulis, 1998: 121, 123), pero como luego veremos tiene otras dimensiones. La composición de gases que conforman la atmósfera no es estable, porque algunos reaccionan entre sí (especialmente el oxígeno y el metano). Sin embargo, ha mantenido una composición extraordinariamente estable a lo largo del tiempo, gracias a que la biosfera ha venido emitiendo gases y absorbiendo otros (especialmente CO₂) en cantidad necesaria para mantener el equilibrio. Por otro lado, la Tierra tiene una tendencia natural a aumentar su grado de acidez y sabemos, como lo demuestra el fenómeno de la lluvia ácida, que la gran mayoría de los organismos vivos sólo soportan cierto grado de acidez. Gracias a la actuación de microorganismos nitrificadores el medio biótico es capaz de producir la cantidad adecuada de amoníaco (NH₃) para impedir el proceso de acidificación. La naturaleza: purifica el aire y el agua; destoxifica los residuos; controla las pestes; crea la capa de ozono que la protege de los niveles dañinos de radiación ultravioletas; etc. (Odum y Sarmiento, 1997: 72; IETC, 2003: 21). Estas funciones se asemejan al sistema inmunológico de los organismos vivos.

El concepto Gaia pretende captar esta capacidad del ecosistema planetario para mantener estables las características físico-químicas del medio abiótico. Fue diseñado por Lovelock en la década de los 70 y ha sido refinado por Lynn Margulis. Frecuentemente se le define como «un superecosistema (pero no un superorganismo, ya que su desarrollo no está controlado genéticamente)», es decir, «una serie de ecosistemas interactuantes que componen un enorme ecosistema sobre la superficie de la Tierra» y que «se comporta como un sistema fisiológico (o mejor, un sistema geofisiológico) en algunos aspectos limitados” (Margulis, 1998: 123). Esta visión concuerda con el pensamiento dominante de las sociedades precapitalistas, la de que la naturaleza es vista como un sistema autoorganizado y auto-regulado (Naredo, 1987).

Hasta ahora esta civilización está actuando contra la dinámica gaiana. La especie humana está alterando los ciclos biogeoquímicos. El flujo de nitrógeno, provocado por la fabricación de abonos y la utilización de combustibles fósiles, es semejante al flujo natural y empieza a ser considerado como un problema muy grave. El flujo del azufre antropocéntrico es ya superior al natural. Las actividades humanas cuadruplican el flujo de fósforo natural y junto al nitrógeno provoca eutrofización (Smil, 2002: 249). Los óxidos de nitrógeno y de azufre están acidificando los suelos y el agua y el aumento en la concentración de CO₂ en el océano se está convirtiendo en el principal factor de acidificación del mismo. Estas alteraciones, junto a las provocadas por la construcción y la minería, han llevado a que W.C. Clark et al. (2005) propongan que la época geológica actual debería llamarse “Antropoceno”.

Sin embargo, podemos “convertirnos en herramientas de la naturaleza” (McDonough y Braugart, 2002: 156) regenerando, dentro de lo posible, los espacios naturales degradados o destruidos, transformando la tecnosfera actual (que constituye el origen de la destrucción) en otra armónica con la naturaleza, al estilo de comunidades campesinas que aumentaron la biodiversidad de sus entornos y mejoraron la calidad de las tierras.

3.2 Principios bióticos

Hemos visto que sólo se puede garantizar la permanencia de las funciones abióticas, si las comunidades bióticas se organizan en ecosistemas, los cuales se caracterizan por los rasgos siguientes: evolución, diversidad, autosuficiencia, estructura jerárquica, descentralización y dominio de la cooperación sobre la competencia. Pero estas características sólo se pueden entender desde

una perspectiva sistémica, es decir, integrada e interrelacionada. Por ejemplo, una alta diversidad es consecuencia de un bajo nivel de competencia, de estructuras autosuficientes y descentralizadas (lo cual supone la existencia de diferentes formas organizativas que, a su vez, determina una mayor diversidad de especies) y del tipo de jerarquía que predomina en la naturaleza (las escalas superiores ejercen una función estabilizante).

Evolución

Siguiendo el hilo conductor de este apartado, aquí pretendo centrarme en el análisis de la evolución de los ecosistemas, pero ello implica analizar la aparición de la vida en el planeta y su evolución posterior desde las formas más simples a las más complejas. La visión darwiniana presenta una evolución producido mediante la acumulación de multitud de cambios pequeños, fruto de la competencia entre especies. Por el contrario, la visión emergente muestra la evolución en base a la producción de saltos generales (transformaciones que suponen nuevos niveles de complejidad). Las rocas se crearon hace unos 4.000 millones de años y unos 500 millones más tarde aparecen las formas más sencillas de vida, las células *prokariotes* (algas verdes-azules y sobre todo las bacterias), que carecen de núcleo, pero que suponen ya una complejidad muy grande. No existe una explicación consistente sobre cómo fueron creadas. El periodo transcurrido es muy pequeño para que fueran creadas por azar. Otros saltos enormes en complejidad son el desarrollo de células con núcleo y la creación a partir de ellas de tejidos, órganos, organismos y especies. La *simbiogénesis* es la rama de la biología que estudia esos cambios. Por simbiosis se entiende el hecho que todos los seres vivos estamos sometidos a un contacto físico permanente con otros seres. La *simbiogénesis* explica “el origen de nuevos tejidos, órganos, organismos (e incluso especies) debido a la simbiosis permanente” (Margulis, 1998: 6). La naturaleza tiende a crear asociaciones simbióticas muy fuertes de organismos simples que después de largos periodos dan lugar a su fusión para formar organismos más complejos. Esto supone transmisión genética por infiltración y asimilación. La simbiogénesis trata de explicar cómo se produjeron las primeras formas de vida (las células *prokariotes*, que son células sin núcleo: bacterias y algas verdes-azules), cómo evolucionaron hasta convertirse en células con núcleo (células *eukariotes*) y hacia formas más complejas. Por ello se define como “cambio evolutivo debido a la adquisición de conjuntos de genes” (Margulis, 1998: 9). Así que lo que empezó como una alianza inestable de formas distintas de vida se convierte en el origen de la mayor novedad evolutiva. Lo cual no quiere decir que quedan por comprender aspectos importantes de la evolución (Margulis, 1998: 20).

Por otro lado, los ecosistemas crecen hasta alcanzar la madurez y después evolucionan, según un proceso de equilibrio inestable. Y lo hacen para adaptarse a los cambios en su entorno y escogiendo los elementos adecuados de entre múltiples posibilidades, obedeciendo a determinados principios, por lo que “parecen orientados hacia un objetivo” (Nielsen, 2007: 8). Vemos aquí que el desarrollo científico nos lleva de nuevo a la concepción organicista. La evolución de los ecosistemas es el resultado de múltiples procesos de interactuación. Por un lado, los grupos de organismos co-evolucionan, así que la evolución de las plantas y los herbívoros está co-determinada. Por otro, la evolución biótica depende de la del medio abiótico (Odum, 1992: 208). Los procesos biofísicos se desarrollan en una variedad enorme de escalas de tiempo y espacio: algunos duran horas o días y suceden en espacios muy reducidos; otros tienen lugar a lo largo de décadas, siglos e incluso milenios, y en territorios de miles de kilómetros cuadrados. Los procesos de las plantas y biogeoquímicos suelen ser los más rápidos; los de los animales y los abióticos de escala media se producen a escalas intermedias; y los procesos geomorfológicos son en general los más lentos (Holling, 1993: 66). Por ejemplo, los tiempos de generación y regeneración del suelo y de los acuíferos pueden ser de cientos y miles de años.

Los SSE también evolucionan pero raramente lo hacen en virtud de un *criterio objetivo*, sino de criterios subjetivos, como las preferencias de los consumidores, los mecanismos de mercado, la política, los intereses de las grandes empresas transnacionales (GET), etc. (Nielsen, 2007: 8). Pero la evolución en función de los criterios subjetivos lleva implícito el crecimiento ilimitado de producto económico y el aumento incontrolado de la población. La especie humana, a diferencia de las otras especies, viene creciendo y de forma meteórica desde el principio del proceso industrializador. Además, el sistema económico de economía de mercado se ve obligado a crecer ilimitadamente.

Mientras que los ecosistemas tienden a alcanzar un estadio de madurez, el sistema económico actual no es capaz de alcanzar la madurez, “porque las escalas de evolución de las técnicas y tecnologías nuevas son más cortas que el tiempo que se necesita para estabilizar una situación” (Nielsen, 2006: 15). Así que no es propio del sistema alcanzar un estado estacionario. Necesita crecer porque está impulsado por tres factores: rentabilizar las inversiones, amortiguar las tensiones provocadas por la polarización de la riqueza y sufragar los costes de unas estructuras sociales crecientemente complejas (de salud, educación, seguridad social, etc.) (Matutinovic, 2005: 3). Por el contrario, hemos visto que en las últimas décadas destacados economistas vienen defendiendo una economía de estado estacionario en los países desarrollados.

Cooperación/competencia

Existen seis tipos de interacciones principales entre dos o más especies: competencia, depredación, parasitismo, comensalismo, cooperación y mutualismo. Competencia significa que el resultado de la interacción es negativo para las especies involucradas. La depredación es positiva para el depredador y negativa para la presa. El parasitismo es negativo para el huésped y positivo para el parásito. Comensalismo es una forma simple de interacción positiva en la que una especie se beneficia y la otra no se ve afectada. La cooperación se da cuando las especies se benefician mutuamente, aunque el beneficio no es vital para ninguna de las dos. Mutualismo es una relación vital o muy necesaria para la supervivencia de las especies involucradas (Odum, 1992: 166). La teoría darwiniana de “la supervivencia del más apto” o fuerte es una simplificación de la realidad porque se centra exclusivamente en las interacciones negativas (competencia, depredación y parasitismo) (Levin, 2000: 20).

Por el contrario, nos encontramos con una amplísima literatura que muestra que la competencia desempeña un papel menor en la evolución y que, por el contrario, el mutualismo explica el crecimiento constante de la biodiversidad. Si dominara la competencia, se produciría una fuerte dinámica de reducción de especies y se evolucionaría hacia ecosistemas más simples y especializados. Lo que les convertiría en inestables y sufrirían un alto riesgo de extinción. El hecho de que la biodiversidad aumenta indica que el mecanismo de selección es “débil en el mejor de los casos” (Levin, 2000: 185) o imperfecto. Para muchos autores (Hutchinson, Sousa, Shorrocks, Den Boer, Rosenzweig, Hubbell, etc.) “el mantenimiento de la diversidad se cree que es debido principalmente a un proceso pasivo, como consecuencia de la imperfección de los principales reductores de la diversidad, tales como la selección y la competición” (Rammel y Staudinger, 2002: 303). Abundan los factores limitadores de los comportamientos negativos.

Para que la competencia de lugar a la reducción de especies, son necesarias unas condiciones que no son frecuentes. Que el número de especies involucradas no sea suficientemente grande, que las habilidades competitivas no sean parecidas y que el ecosistema permanezca estable durante un tiempo suficiente como para que se produzca la exclusión de especies (Rammel y Staudinger, 2002: 302, 303). Las interacciones negativas suponen un riesgo para las especies depredadoras o parasitarias. Por ejemplo, si como consecuencia de estas las especies depredadas o parasitadas se extinguen o su población se reduce drásticamente, las especies responsables se arriesgan a sufrir el mismo proceso. Por el contrario, una especie depredadora suele tener efectos beneficiosos sobre la especie depredada, fenómeno que se denomina “retroalimentación por recompensa”. Esta puede adoptar diferentes formas. Los carnívoros limitan las poblaciones de los herbívoros de forma que no sobrepasen los recursos disponibles. Está demostrado que frecuentemente los herbívoros estimulan el crecimiento de las plantas de las que se nutren y aumentan la diversidad al controlar las especies dominantes (Odum y Sarmiento, 1997: 107, 108). Para Nielsen (2007: 10) estos comportamientos constituyen una norma general de comportamiento: “Los ecosistemas parecen capaces de convertir lo que vemos como mecanismos de interacción negativos (tales como la depredación y competencia) y cambiarlos en tipos de interacción que son, en general, positivos y benéficos para el sistema como un todo. Esto se llama utilidad (positiva) cualitativa”.

Pero existen otras estrategias de supervivencia. Frecuentemente las especies logran evitar la competencia mediante la explotación de nichos diferentes. También es frecuente que sobrevivan especies (aparentemente débiles) mediante el camuflaje: “muchas especies han sobrevivido en el

transcurso de las edades ecológicas por medios más sutiles, como camuflaje y cooperación” (Odum y Sarmiento, 1997: 235). Ninguna especie existe en solitario. Las especies se agrupan para poder realizar sus procesos vitales con cierta autonomía, lo que les permite defenderse de los colapsos de otros grupos y, en última instancia, de los cambios en el medio: “las fuerzas evolutivas tienen que operar para producir ciertos lazos”, como “los mutualismos y otras relaciones estrechas entre pequeños grupos de especies (que) evolucionan para proveer a los participantes de protección frente a las variaciones del medio” (Levin, 2000: 192, 193).

Así que, debido a la organización modular, a la retroalimentación por recompensa, a la imperfección y debilidad de los mecanismos de selección, a la existencia de mecanismos sutiles de supervivencia y, en resumen, a “la tendencia a disminuir con el tiempo la intensidad de interacciones negativas (...) no es generalizar demasiado el decir que las cadenas alimentarias en conjunto son mutualistas” (Odum y Sarmiento, 1997: 205). Por ello se defiende la idea de que frecuentemente las especies no desaparecen por la competencia, sino por su incapacidad para adaptarse a los cambios del entorno (Matutinovic, 2002: 433).

Analizando el funcionamiento de los SSE desde la perspectiva, vemos que el dominio de la competencia sobre la cooperación es una de las principales causas de su insostenibilidad. Para la ortodoxia económica la «libre competencia» constituye el mecanismo único capaz de lograr una economía eficiente y la eficiencia significa “minimización de costes, dotaciones de factores y exclusión de los agentes *débiles*” (Rammel y van den Bergh, 2003: 128). Además, esta concepción descansa en la premisa de que la actuación eficiente de cada agente da lugar a una mejora del sistema económico. Nos encontramos, una vez más, con un pensamiento lineal, no sistémico. Por el contrario, se obvia que la persecución por parte de las empresas de la mejora de la eficiencia (entendida como acabo de indicar) da lugar a ineficiencias sistémicas. El mecanismo más empleado es la sistemática reducción de costes y, en especial, de la plantilla. Ello conlleva altas tasas de desempleo estructural. Keynes criticó la ineficiencia sistémica que suponían las altas tasas de paro. La Comisión Europea constata que «cada vez está más aceptado que el actual modelo de desarrollo socioeconómico tiende a la infrautilización de la mano de obra» (1997: 26). Frecuentemente lo que ahorran las empresas lo tiene que pagar la sociedad en forma de subsidios de desempleo. En el caso que la competencia de lugar a crisis de empresas de entidad, frecuentemente los gobiernos invierten en *reflotarlas*. Y esta política alcanza su cénit en las crisis recurrentes que sufre el sistema de economía de mercado. En la crisis de 2008-2009 los gobiernos regalaron billones de dólares a los bancos y empresas principales. Lo cual supone una vulneración fragante de los principios del libre mercado. Si a ello se unen los impactos ambientales y el agotamiento de recursos naturales esenciales, se llega a la conclusión de que el sistema de economía de mercado presenta una alta ineficiencia.

Pero, no se trata sólo de hacer un balance de la eficiencia en un punto en el tiempo. Es necesario, también, analizar la eficiencia dinámica, es decir, la capacidad de mantener la identidad de un sistema frente a los impactos del entorno y, en este caso hay que añadir, la capacidad de evitar los procesos autodestructivos, por su insostenibilidad intrínseca. El hecho de que históricamente sufra crisis periódicas desde su nacimiento, muestra que este es un rasgo estructural del sistema, tal como demostró Marx. Por el contrario, la eficiencia dinámica, la capacidad de preservar su identidad, supone “mantener el potencial más alto de desarrollo futuro del sistema”. Y ello determina, como mínimo, un alto grado de diversidad, una alta cooperación y un alto estándar de “competencia sistémica”. Entendiendo por competencia sistémica “la integración de los intereses individuales en una estructura sistémica mutuamente estimulante que es adecuada para un determinado propósito”, lo cual “implica la superioridad del punto de vista sistémico sin renunciar a los intereses individuales” (Schütz, 1999: 26-28).

Diversidad

La naturaleza ha venido incrementando su diversidad a lo largo de unos 4.000 millones de años, a pesar de las cinco grandes extinciones que ha sufrido. La biodiversidad refuerza la estabilidad de los ecosistemas: “la existencia de diversidad puede ser vista como una estrategia de supervivencia a largo plazo, debido a los cambios permanentes de las condiciones del entorno” (Ring, 1997: 242). Una gran biodiversidad da lugar a un alto grado de redundancia, la cual aumenta la estabilidad. La

redundancia en un ecosistema se explica por: a) razones de eficiencia, al ser capaz de usar completamente los recursos disponibles; b) prevenir la fragilidad del sistema; b) preservar su capacidad de respuesta y creatividad; d) preservar su fiabilidad. Los ecosistemas aumentan su eficiencia en el uso de un recurso cuando son muchas las especies que lo utilizan. También mejora su resiliencia (capacidad de los ecosistemas para recuperarse de los colapsos sin perder su identidad), entre otras razones porque especies que no realizan funciones básicas, y por lo tanto, son aparentemente prescindibles, se suelen convertir en fundamentales cuando los ecosistemas sufren colapsos. Por lo que: “la redundancia funcional representa una reserva de respuestas de adaptación y refuerza el potencial evolutivo” (Rammel y van den Bergh, 2003: 128). Rammel y Staudinger (2004: 14) amplían esta idea: “Se puede declarar que un ecosistema resiliente contiene una gran variedad de grupos funcionales, de especies realizando funciones similares y respondiendo de forma diferente a la alteración de las condiciones”.

Una vez más, los SSE se comportan en este campo de forma diametralmente opuesta a los ecosistemas: “la diversidad es el punto donde los dos tipos de sistemas (el natural y el SSE) tienden a moverse en direcciones opuestas” (Nielsen, 2007: 15). Este comportamiento se manifiesta en dos planos. En relación con el entorno natural “estamos disminuyendo la resiliencia de los sistemas naturales al reducir simultáneamente la variedad de especies y sometiendo a una presión sin precedentes” (MEAB, 2006a: 18).

Por otro lado, aunque el sistema económico crea continuamente nuevas tecnologías y productos, el sistema tiende a la uniformización. La globalización supone la creación de estructuras productivas mundiales y de sistemas tecnológicos universales. La competencia frontal resultante se convierte en el único mecanismo de selección, dando lugar a una creciente especialización y uniformización, “y por ello una reducción de la diversidad en muchos campos, incluyendo la biodiversidad, la diversidad étnica, cultural, de lenguas, tecnológica, de gustos, preferencias y valores” (Joung et al., 2006: 311). El mercado selecciona las tecnologías que maximizan la producción y no tiene en cuenta las consecuencias futuras. Por ejemplo, ha seleccionado tecnologías para incrementar la producción de alimentos, pero estas “han reducido la capacidad de la tierra y de los sistemas de provisión de agua para proveer de alimentos en el futuro” (MEAB, 2006c: 62). Hoy sólo se utilizan unas 150 variedades de cultivos, frente a las 7.000-10.000 que se cultivaban antiguamente. Lo cual ha producido, según la FAO, que se haya perdido el 75% de la variedad genética. Este hecho y la erosión de la cohesión social merecen especial atención, porque son los pilares sobre los que descansan las sociedades a largo plazo (Schütz, 1999: 25, 26; Rihani, 2002: 109). La mayor parte de la innovación se realiza preferentemente sobre las trayectorias tecnológicas existentes (*path dependency*) y, por ello, es incremental: “las actividades innovadoras se dirigen cada vez más hacia las trayectorias corrientes dominadas por la eficiencia económica, optimización a corto plazo e incremento del beneficio” (Rammel y Staudinger, 2004: 16).

Por ello, la dinámica librecambista reduce la capacidad para aprovechar los recursos humanos y naturales de los entornos locales y su potencial innovador. Y cuanto menor es la diversidad, más pequeño es el potencial para responder a las perturbaciones y para crear combinaciones innovadoras. Así que un mercado liberalizado se muestra incapaz “de proveer de suficientes procesos de adaptación que serán necesarios para impulsar a largo plazo un desarrollo sostenible” (Rammel y Staudinger, 2004: 15). Lo cual generará una “inestabilidad aguda en la naturaleza y en el sistema político-económico mundial” (Matutinovic, 2001: 252).

Por el contrario, en los SSE “la diversidad debe ser interpretada como la existencia de diversos y viables modelos de autoorganización con distintos subsistemas de conocimiento coordinados” (Schütz, 1999: 25). Muchos autores (Low et al. 2003; Rammel et al., 2004; Folke et al., 2005; Joung et al., 2006) defienden, también, que los sistemas de gobiernos policéntricos, existentes en múltiples escalas, con importes grados de autonomía y con ciertos grados de solapamientos funcionales. En resumen, la diversidad tiene amplias ventajas: “provee coherencia e integridad sistémica, potencia de adaptación al ambiente cambiante, evita la competencia descarnada, aumenta la eficiencia general en el uso de materiales y energía y provee de un amplio abanico de respuestas ante nuevas presiones selectivas” (Matutinovic, 2001: 252).

Los *European Environment and Sustainable Development Advisory Councils* (EEAC), organismos que ayudan a definir las Estrategias de Desarrollo Sostenible de los Estados y regiones europeas, proponen a la UE una organización en la que tenga cabida una amplia diversidad: “Para

que Europa cambie hacia el desarrollo sostenible a largo plazo se deberá producir un re-calibración de las relaciones entre las estructuras de responsabilidades y actuaciones en los niveles internacional, nacional y subnacional. Este proceso necesita la re-evaluación del equilibrio actual entre la necesidad de estructuras multilaterales de guía de las políticas, las finanzas, la elaboración de políticas y presupuestos a escala nacional, y la autonomía y flexibilidad a nivel local. Esto significa que las organizaciones territoriales más bajas se conviertan en laboratorios de demostración de formas de valores sociales y de nuevos modelos reproducción y consumo sostenibles que deben ser aplicadas a todos los niveles” (EEAC, 2008: 6).

Jerarquía

El desarrollo exitoso de un sistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad, y su integración en una estructura jerárquica cada vez más compleja (Schutz, 1999b: 108-109). La jerarquía natural es escalar, autoorganizada, embebida, incluyente y compleja. Cada subsistema natural está sometido a la jerarquía del sistema del que forma parte y somete a las partes que lo forman. Sin embargo, «esta subordinación entre niveles es siempre incompleta y cada nivel tiene sus propias normas de comportamiento y sus propias relaciones» (Gowdy, 1999: 67). A veces el control es tan difuso que “resulta difícil definir quien controla a quién” (Nielsen, 2006: 11). Aparentemente la especie depredadora controla a la depredada, pero a su vez se ve determinada por la disponibilidad de presas. Pero esta jerarquía no se limita exclusivamente a las especies de un ecosistema. La dinámica poblacional de unas especies no sólo viene determinada por el comportamiento de otras especies locales sino que también, y a veces de forma muy fuerte, por la de los procesos regionales (Lawton, 2000: 92).

La jerarquía natural es embebida porque está determinada por la estructura escalar, es decir, por su dependencia del sistema que lo contiene y, a su vez, por el control que ejerce sobre los subsistemas que lo conforman. La jerarquía de los niveles más altos se explica porque establece condiciones limitantes sobre la conducta de los niveles inferiores. El comportamiento de una célula está influido por los acontecimientos que le ocurren al organismo que la contiene. La jerarquía natural no es excluyente. En los ecosistemas cada especie realiza una función útil para la pervivencia de los mismos. También dentro de un ecosistema existe una jerarquía de especies porque no todas las funciones tienen igual importancia. Hay algunas que realizan funciones críticas para la supervivencia de los ecosistemas. Constituyen el vértice de la pirámide jerárquica. Se les suele llamar especies claves o funcionales. Rara vez una sola especie realiza una función crítica, lo normal es que sean grupos de especies, grupos claves o funcionales. Un ecosistema puede tener varios grupos funcionales de importancia diferente. También, varía la importancia de las especies que componen cada grupo funcional. Pero la jerarquía cambia. Especies que no realizan funciones importantes en un ecosistema maduro, realizan funciones vitales en un ecosistema colapsado. Por ejemplo, las plantas pioneras preservan el suelo de la erosión (Levin, 2000: 10, 11).

Por todo ello, el desarrollo exitoso de un ecosistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad, y su integración en una estructura jerárquica crecientemente compleja. Estas características les confieren una gran estabilidad, porque les da capacidad para mantener sus funciones frente a procesos disruptivos (sequías, fuegos, plagas, etc.) (Levin, 2000: 14, 15).

Los SSE también se organizan jerárquicamente, pero “hay diferencias cualitativas y cuantitativas enormes” entre ellos y los sistemas naturales (Nielsen, 2006: 14). De forma sintética se puede decir que la diferencia principal es que, mientras las jerarquías naturales son predominantemente de tipo escalar, las de los SSE son del tipo de jerarquía de control. En los SSE hay muchos menos niveles que en los sistemas naturales. Siendo casos extremos de este hecho las dictaduras y los monopolios. Las jerarquías tampoco son autoorganizadas, ni embebidas, y son excluyentes (Nielsen, 2006: 14). La jerarquía no está embebida porque no está predeterminada por la estructura del sistema, sino por la estructura de toma de decisiones (el nivel de democracia existentes, los canales de comunicación y de participación, la existencia de grupos de poder al margen de cualquier representación política, etc.). Es excluyente porque el poder está altamente centralizado, por lo que muy pocos individuos ejercen realmente el control. Hoy en día las decisiones políticas, sociales y económicas se toman “a escalas dominadas por unos pocos, pero

poderosos, actores”, por lo que muchas instituciones sociales han sido eliminadas o debilitadas, “dejando a muchas unidades pequeñas conectadas directamente a los actores planetarios, sin la protección de las unidades intermedias” (Joung et al., 2006: 310). Esta estructura jerárquica hace a los SSE particularmente vulnerables y, por ello, muy proclives a colapsar. Las elites se resisten a los cambios porque cuestionan las estructuras de poder. Por el contrario, más adelante analizaré las sociedades que empiezan a transformarse para hacer frente al colapso energético que viene y veremos que impulsan dinámicas muy participativas.

Descentralización/Autosuficiencia

A medida que los ecosistemas evolucionan, se van volviendo más autosuficientes, reduciendo su dependencia de fuerzas fuera de su control. Odum (1992: 15) afirma que «*autosustentado* y *automantenido* son las palabras clave que caracterizan el paisaje natural». Los ecosistemas tienen límites naturales debido al cambio de las condiciones ambientales o de la autoorganización del sistema mismo (por ejemplo, la estructura de los bosques, que se asemeja a un mosaico). Los límites espaciales favorecen el incremento de la eficiencia interna del sistema y representan la existencia de límites naturales al crecimiento (Ring, 1997: 242).

El sistema económico globalizado diverge radicalmente del modelo natural autocentrado. El mercado globalizado elimina las distinciones espaciales, produce un enorme flujo de recursos de países pobres a ricos, dando la sensación falsa de que los recursos son ilimitados, y no se preocupa de su uso eficiente. El hecho de que los recursos se vayan agotando y que la extracción de los mismos de lugar a enormes impactos ambientales, con la consecuente destrucción de ecosistemas y pérdida de sus servicios, es desconocido para la mayor parte de los consumidores de estos recursos. Por el contrario, cuando una comunidad utiliza sus propios recursos, tiende a preocuparse por su agotamiento y por el impacto ambiental de su extracción/recolección. Una economía descentralizada satisface las necesidades vitales de la población de forma más eficiente y democrática que otra centralizada. El Informe Brundtland establece que la integración de los objetivos económicos y ecológicos se realiza mejor «descentralizando el control de los recursos de los que dependen las comunidades locales y otorgando a dichas comunidades de modo efectivo el derecho de voz y voto sobre la utilización de esos recursos» (CMMAD, 1988: 90). Un modelo descentralizado que se base en la utilización de recursos y tecnologías locales resulta más adecuado para la satisfacción de las necesidades vitales, como son la alimentación, vivienda, sanidad, energía, etc., y es más estable frente a los cambios del sistema económico planetario. La descentralización hace posible la creación de múltiples sistemas sociales adaptados a las condiciones de su entorno, mediante: el desarrollo de modelos organizativos e instituciones adaptados a las características locales; de tecnologías locales o de tecnologías planetarias adaptadas a la utilización de los recursos locales; la acumulación de experiencia de utilización sostenible de los recursos locales, etc. (Gallopín, 2002; Folke et al., 2005). El informe FAST de la UE defiende que en el caso de la mayor parte de los productos de consumo, “la producción puede ser decidida, asignada y gestionada de forma descentralizada a escala de municipios y regiones por aquellas personas que los consumen y utilizan, pudiéndose tener en cuenta todos los costes y ventajas colectivas de las distintas elecciones de consumo y producción posibles”. Añade que “este cambio de frente es viable (...) y estable” (Comisión Europea, 1986). Sólo una economía descentralizada es capaz de lograr una economía cíclica de materiales. La energía solar es descentralizada y vivir de ella supone dejar de depender de unos pocos países que tienen la mayor parte de los combustibles fósiles y que se están agotando (Joung, et al., 2006: 310).

Numerosos pensadores económicos se muestran partidarios de la autosuficiencia. Keynes lo refleja, por ejemplo, en su artículo “Autosuficiencia Nacional”: “Simpatizo más, por tanto, con aquellos que minimizan las relaciones internacionales. Las ideas, el conocimiento, el arte, la hospitalidad, los viajes, son las cosas que deberían ser internacionales por su propia naturaleza. Pero dejemos que los bienes sean nacionales cuando esto resulte razonable y adecuadamente posible; y, por encima de todo, dejemos que primordialmente las finanzas sean nacionales” (Daly, 1989). El Principio 9 de la Declaración de Río dice que “los Estados deberían cooperar para reforzar la creación de capacidades endógenas para el logro del desarrollo sostenible” (CMMADS, 1992). Por último, la Carta de Aalborg, que es el documento programático del movimiento de las

Agendas 21 Locales, reivindica la autonomía municipal: “Nosotras, ciudades, estamos convencidas de que tenemos la fuerza, el conocimiento y el potencial creativo necesarios para desarrollar modos de vida sostenibles y para gestionar nuestras colectividades en la perspectiva de un desarrollo sostenible” (ICLEI/Conferencia Europea de Ciudades Sostenibles, 1994). El movimiento de sociedades en emergencia energética que analizaré en este Manual, supone un salto cualitativo en esta dirección, motivado por la crisis energética que se está desarrollando.

4. Transformaciones epistemológicas y en economía aplicada que provoca la adopción de los principios de economía sostenible

Los fisiócratas eran muy conscientes de que había que preservar los recursos naturales, porque era el prerequisite ineludible para la pervivencia de las sociedades. Los economistas clásicos (Adam Smith, Malthus, Ricardo, Marx, etc.) retuvieron elementos del pensamiento fisiocrático. Sabía que era imposible que la economía creciera ilimitadamente porque los recursos naturales son finitos. Todos ellos consideraban que las bases de la riqueza eran los recursos naturales (la “tierra”) y el trabajo, que transformaba los recursos en bienes, aunque la productividad de éste era mejorada por el aporte de capitales. Así que su reflexión era macroeconómica, se ocupaban de la economía general de las naciones (Gowdy, 2006; Hall y Klitgaard, 2006).

Esta visión fue arrinconada por la llamada revolución neoclásica o marginalista, iniciada en la década de los 70 del siglo XIX, por otra centrada en el análisis microeconómico (la empresa en su mercado) y en que es desterrada cualquier limitación de recursos naturales. Y la fecha indicada no es una casualidad, porque la economía se basaba en el carbón (que era abundante en la época) y el petróleo comenzaba a ser introducido y, por tanto, todas sus enormes reservas estaban disponibles. Por otro lado, el enfoque microeconómico llega por agregación a una situación en la que el sistema económico general alcanza un “equilibrio general”, en virtud del juego de las fuerzas que actúan en un mercado libre. En este contexto el nuevo motor de la economía pasa a ser la “tecnología”, una abstracción que frecuentemente tiene poco que ver con la realidad física de la producción y a la que se le confiere propiedades casi mágicas, como la de eliminar cualquier escasez de recursos naturales (Gowdy, 2006). Otro de los pilares de la economía neoclásica es el abuso del cálculo matemático, en un intento de reforzar su supuesto carácter científico.

Al situarse la economía neoclásica en la “torre de marfil” del universo monetario, se constituye objetivamente en un campo autónomo del saber no condicionado por otras ciencias. La hegemonía de la economía neoclásica y, en última instancia, la creencia en el crecimiento perpetuo, ha sido posible por la existencia de unos enormes recursos de energía fósil. Recursos que tienen un gran poder calorífico por unidad de peso, un amplio espectro de utilidades y el acceso a los mismos ha sido fácil. Pero tales recursos han entrado en un claro proceso de agotamiento (al igual que muchos minerales estratégicos), aparte de que su uso provoca impactos ambientales tan graves como el cambio climático. Además, se muestra incapaz de resolver problemas tan acuciantes como la polarización de la riqueza y el hambre. Todo ello está llevando a un proceso de debilitamiento de la economía neoclásica. Una muestra de ello es el hecho de que la gran mayoría de los premios Nobel de economía dados desde 1998 recaigan en economistas críticos del pensamiento neoclásico.

Así que la economía neoclásica debe dar paso a otra que cumpla con los principios de sostenibilidad. Lo cual supone la necesidad de una revolución epistemológica y, no sólo para la escuela neoclásica, sino también para las escuelas herederas de los economistas clásicos, como la keynesiana o marxista. Deberán cambiar, también, las herramientas de análisis, las relaciones con otras ciencias, etc. En este contexto adquieren especial relevancia los llamamientos a romper el aislamiento de la economía neoclásica del resto de las ciencias que he comentado y no se trata sólo de dejar de ignorarlas, sino de que algunas de ellas determinen el comportamiento de la economía. Y entre todas las ciencias de la Tierra la ecología debe desempeñar un papel central, ya que es una superciencia o ciencia unificada: “la ciencia de síntesis, esencial para nuestro conocimiento de la estructura y función de la biosfera” (Goldsmith, 1996: 3). Sin negar la validez de tal propuesta, conviene destacar aquí el papel determinante que en esta etapa histórica está empezando a desempeñar la geología y, en especial, en el caso de los combustibles fósiles y de los materiales estratégicos. Su importancia será muy grande hasta que los primeros dejen de

contribuir de forma decisiva al funcionamiento de la economía y los segundos se utilicen de forma circular. Así que la sostenibilidad obliga a la economía a adoptar un enfoque transdisciplinar y, lo que es más importante, a desempeñar un papel subordinado con respecto a las ciencias de la Tierra y, por ello, a rebajar su actual status dentro de las ciencias.

La revolución epistemológica supone, también, prescindir de las visiones distorsionadas de conceptos centrales como los de producción, desarrollo, riqueza, etc. Por producción se entiende el aumento de la riqueza monetaria y se le atribuye un carácter totalmente positivo, independientemente del agotamiento de recursos naturales que causa y de los impactos ambientales y frecuentemente sociales que causa. Además, no sólo se aplica a la producción de bienes sino que, también, a la extracción de recursos naturales, como el petróleo o el gas, lo cual es erróneo: no se produce sino que se extrae. El concepto de desarrollo se empezó a utilizar en el siglo XVIII en biología, para indicar la evolución de los individuos jóvenes hacia la fase adulta. Después, se ha aplicado en múltiples campos y a partir de la SGM fue adoptado por la economía para indicar el modelo de crecimiento económico de los países industrializados que, además, integra una idea ambigua de justicia social. Así que se define como países desarrollados los más industrializados y los países más o menos pobres como “países en vías de desarrollo”, para indicar que están en escalones más bajos en el proceso de industrialización. El parámetro de medición de unos y otros es la renta per cápita. Así que se descarta cualquier otra opción que, sin alcanzar una renta per cápita tan alta, sea capaz de satisfacer las necesidades básicas de toda la población (Naredo, 2006: 66, 177-182). No se tiene en cuenta otras *riquezas*, como la satisfacción plena de las necesidades, una alta cohesión social, un alto grado de democracia, la conservación del medio ambiente, el disponer de agua y alimentos sanos, la ausencia de contaminación, etc.

La sostenibilidad obliga, también, a la economía neoclásica a sufrir otra revolución epistemológica: utilizar el cálculo físico, además del monetario. El uso de la moneda es imprescindible para organizar la economía de sociedades complejas, pero la valoración monetaria constituye un velo que impide ver la realidad biofísica. Por ejemplo, cuando un recurso escasea su precio se dispara, por lo que puede darse el caso de que crezca la valoración del mercado del mismo. Así que la valoración monetaria oculta la escasez de recursos. Por lo que, para poder diseñar una economía sostenible, hay que partir del conocimiento de las dotaciones y ritmos de consumo (y por tanto de agotamiento) de materiales (abióticos y bióticos) y energía (tanto de combustibles fósiles como de energía renovable). Para construir una economía solar, es necesario conocer el potencial de las diversas fuentes de energías renovables y el estado de las tecnologías de captación. Para mantener o mejorar los servicios que nos dan los ecosistemas hay que conocer su estado y evolución. Estos datos los aportan la biología, la ecología, la geología, la física, la química, etc. A partir de ellos la economía física debe estudiar el metabolismo de nuestras sociedades, mediante la contabilidad de flujo de los materiales (energéticos y no energéticos), como medio de definir estrategias para cerrar los flujos de los materiales y vivir de la energía solar. Por último, la misión de la economía debe ser el logro de la satisfacción universal de las necesidades esenciales en un marco de sostenibilidad. La cual obliga a todos los países cualquiera que sea su nivel de industrialización. La diferencia se da en el punto de partida.