

BIOMÍMESIS: EL CAMINO HACIA LA SUSTENTABILIDAD

"¿Cómo olvidar ni dudar que hemos salido del sol, y que él nos 'sostiene' y nos 'mantiene' en todos los sentidos de la palabra?"

Juan Ramón Jiménez, 1941 ¹

“La industria moderna parece ser ineficaz en un grado tal que sobrepasa los poderes ordinarios de nuestra imaginación. Su ineficacia, por lo tanto, pasa desapercibida.”

E.F. Schumacher, 1973

"Para que la especie 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".

Kenneth E. Boulding, 1978

Desde hace decenios, ecólogos como Ramón Margalef, H. T. Odum o Barry Commoner han propuesto que la economía humana debería imitar la “economía natural” de los ecosistemas. El concepto de *biomímesis* (imitar la naturaleza a la hora de reconstruir los sistemas productivos humanos, con el fin de hacerlos compatibles con la biosfera) recoge esta estrategia, y a mi entender le corresponde un papel clave a la hora de dotar de contenido a la idea más formal de sustentabilidad. Lo expuse ya, hace algunos años, en un capítulo de mi libro *Un mundo vulnerable*²; voy a intentar desarrollarlo un poco más en las páginas que siguen.

Advierto que no se trata de descubrir mediterráneos. En realidad no voy a exponer nada que la gente con un ideario inspirado por la ecología no intuya o sepa ya; se trata más bien de ordenar estas ideas de una manera nueva, alrededor de una categoría —biomímesis— que me parece esclarecedora, potente y persuasiva. No estará de más comenzar intentando arrojar alguna luz sobre los disputados términos de *sostenibilidad* y *desarrollo sostenible*.

¹ JRJ en *Tiempo* (1941); ahora en la edición de Seix Barral, Barcelona 2001, p. 85.

² Jorge Riechmann, *Un mundo vulnerable*, Los Libros de la Catarata, Madrid 2000, p. 117-118.

Sustentabilidad

¿De qué hablan los movimientos sociales críticos cuando hablan de sustentabilidad o sostenibilidad? En esencia el contenido de esta noción es el siguiente: los sistemas económico-sociales han de ser *reproducibles –más allá del corto plazo-- sin deterioro de los ecosistemas sobre los que se apoyan*. Es decir, sustentabilidad es *viabilidad ecológica*: los sistemas socioeconómicos que funcionan destruyendo su base biofísica son *insostenibles*.

Dicho de otra manera: las actividades humanas *no deben sobrecargar las funciones ambientales, ni deteriorar la calidad ambiental de nuestro mundo*. Ello implica fundamentalmente dos requisitos:

1. *Respetar los límites*. Lo que tomamos de la biosfera (en cuanto fuente de materias primas y energía, o sea, materia-energía de baja entropía) y lo que devolvemos a ella (en cuanto sumidero de residuos y calor, es decir, materia-energía de alta entropía) ha de estar dentro de los límites de absorción y regeneración de los ecosistemas.
2. *Pensar en el mañana*. Deberíamos dejar a la generación siguiente un mundo que sea al menos tan habitable y haga posibles tantas opciones vitales como el que nosotros hemos recibido de la generación anterior.

Como se ve, la sostenibilidad es *un principio de carácter antropocéntrico*, que expresa fundamentalmente nuestro respeto por las generaciones humanas futuras, pero que como tal no compromete a la defensa de la vida silvestre o la preservación de la naturaleza por sí misma, por no hablar de otros objetivos socialmente deseables (como la eliminación de la pobreza o de la subordinación de las mujeres). No vuelve superfluas preocupaciones más profundas por la justicia ecológica o la justicia social, que pueden hallar acomodo en un concepto más amplio y complejo, como es el de *desarrollo sostenible*.

Desarrollo sostenible

En efecto: la sustentabilidad, entendida como *viabilidad ecológica*, es un principio genérico, que puede luego especificarse en diferentes modelos económicos y órdenes sociales. Incluye, como contenido mínimo, la protección de los sistemas y procesos naturales de los que depende la vida misma: pero más allá de esto queda mucho por plasmar en modelos concretos. Uno de estos modelos socioeconómicos más concretos sería el *desarrollo sostenible* definido en el “informe Brundtland” de 1987, al que luego se intentó dotar de mayor concreción en documentos como la “Agenda 21” que se aprobó en 1992 en Río de Janeiro, la Estrategia de Desarrollo Sostenible de la Unión Europea aprobada en 2001, etc.

De manera que el concepto de *desarrollo sostenible*, por una parte, constituye una especificación de la idea de sustentabilidad ecológica; pero también incorpora principios que no están comprendidos en la idea de sustentabilidad. Así, por ejemplo, los objetivos de justicia social no están comprendidos dentro de la sustentabilidad, ni tampoco la defensa de la vida silvestre por sí misma...

En los años noventa se extendió el consenso sobre el hecho de que el desarrollo sostenible ha de tener *tres componentes o “pilares”*: *ecológico, económico y social*. Se trata, así, de combinar en un modelo deseable de sociedad valores ecológicos (sustentabilidad, preservación del mundo natural por sí mismo...), económicos (eficiencia, satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas...) y sociales (justicia distributiva, eliminación del sexismo...). Esta combinación es *contingente*, no necesaria. Importa no llevarnos a engaño sobre este punto, y ser conscientes de que la relación entre estos distintos objetivos (justicia social, sustentabilidad ecológica, protección del mundo natural, etc.) puede ser conflictiva.

Hay que subrayar que la sustentabilidad (y por ende el desarrollo sostenible) no es un principio de carácter científico-técnico (aunque incluya componentes que lo son), sino que tiene un *carácter irremediabilmente normativo*: que la vida humana sobre este planeta haya de perpetuarse, y en qué condiciones, no son cuestiones de naturaleza científico-técnica. De ahí la necesidad inescusable, dentro de sociedades democráticas, de una participación social amplia y profunda a la hora de determinar las formas y contenidos del desarrollo sostenible.

Desarrollo más sostenible, producción más limpia...

Y ¿qué decir frente a los que, en la situación presente, proclaman sus avances hacia el “desarrollo más sostenible” o la “producción más limpia”? *Puede que el “más” sea en realidad menos*, y haya cierta trampa en el asunto. Pues si partimos de una situación de producción sumamente sucia o desarrollo totalmente insostenible, cualquier pequeña mejora ambiental podrá venderse como “producción más limpia” o “desarrollo más sostenible”. ¿Y quién no querría tal cosa? *Pero el término de comparación no debe ser el insostenible y sucio presente, sino el estado de cosas apetecido.*

En caso contrario, podríamos lograr constantemente pequeñas mejoras incrementales mientras la situación general se deteriora cada vez más (de hecho, esto es lo que ha ocurrido, a grandes rasgos, con las políticas ambientales que se han desarrollado en los últimos treinta años). Pero desarrollo sostenible, producción limpia o agricultura ecológicamente viable *no son asunto de mejoras incrementales sino de un cambio de modelo.* Se trata de definir de manera operativa “producción limpia” y “desarrollo sostenible”, determinar la distancia que nos separa de ello, seleccionar indicadores, especificar los pasos que hay que dar, acordar quién debe darlos y quién ha de pagar lo que cuestan... Sólo los pasos de un proyecto así –definido mediante procesos de “retroyección”, *backcasting*-- pueden considerarse avances reales hacia la producción limpia y la sustentabilidad.

Problemas con el crecimiento

El desarrollo sostenible tiene una importante dimensión de autolimitación (que nos afecta sobre todo a los segmentos privilegiados de la humanidad actual), ya implícita en la famosa definición del “informe Brundtland” de 1987: “El desarrollo sostenible es aquél que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Se trata de *liberar espacio ambiental* de manera que no anulemos las opciones vitales de las generaciones venideras, los pueblos empobrecidos y los otros seres vivos con quienes compartimos la biosfera. Es vital

reconocer que existen *límites al crecimiento material*, definidos en última instancia por la limitada capacidad del planeta para renovar sus recursos naturales, su limitada capacidad para asimilar la contaminación, y la limitada energía que recibe del Sol. Como observaba hace tres decenios E.F. Schumacher, comentando el primero de los informes al Club de Roma, *Los límites del crecimiento*:

“Tal vez fue útil, pero no esencial, que el equipo del MIT {que redactó *The Limits of Growth*} hiciera tantos cálculos hipotéticos. Al final, las conclusiones del grupo se derivan de sus hipótesis y no exige más que un simple acto de sentido común el darse cuenta de que el crecimiento infinito del consumo material en un mundo finito es una imposibilidad. Tampoco se requiere el estudio de un gran número de productos, tendencias, métodos de recuperación, dinámica de sistemas, etc., para arribar a la conclusión de que *el tiempo es corto*.”³

Nunca se repetirá lo suficiente que *no es posible el crecimiento material indefinido dentro de una biosfera finita*, y que globalmente hemos sobrepasado ya los límites al crecimiento. A escala del planeta entero, lo que necesitamos es *desarrollo sin crecimiento* (cuantitativo), o con más precisión: desarrollo que alivie la presión que hoy ejercemos sobre las *fuentes* de recursos naturales y los *sumideros* de residuos de la biosfera. En última instancia, ésta es la única definición breve de sostenibilidad que no traiciona el contenido ecológico del concepto.

Lo peliagudo de la situación se hará evidente si se repara en que *desarrollo* se define convencionalmente en términos de crecimiento económico, y por tanto *"desarrollo" tal y como lo conciben los economistas convencionales y "desarrollo sostenible" en cuanto concepto ecológico no son conceptos emparentados, sino antagónicos*.

Tenemos que vérnoslas, por consiguiente, con una *lucha por la interpretación* de los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible⁴. Las organizaciones sociales críticas que participaron en el Foro Global simultáneo a la “cumbre” de estados en Río de Janeiro, en junio de 1992, se lo planteaban en estos términos: cómo pasar del *desarrollo sostenido* a la *sociedad sustentable*. No se trata de salvar la idea convencional de “desarrollo” identificado con crecimiento económico --el modelo de desarrollo preconizado en los últimos

³ E.F. Schumacher, *Lo pequeño es hermoso*, Blume, Madrid 1978, p. 104.

⁴ Sobre este asunto véase Jorge Riechmann, “Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación”, en Jorge Riechmann, José Manuel Naredo y otros: *De la economía a la ecología*, Trotta, Madrid 1995, p. 11-35.

decenios por las fuerzas productivistas del Norte ha fracasado sin paliativos--, sino de hacer avanzar la noción ecológica de sostenibilidad.

EL BALANCE AMBIENTAL DEL SIGLO XX

- En el siglo XX --entre 1900 y 1999-- la población humana se ha multiplicado por **4** (pasando de 1.600 a 6.000 millones de seres humanos)
- la población urbana mundial se multiplicó por **13**; el número de megalópolis (entendiendo por tales las ciudades de más de 8 millones de habitantes) pasó de sólo 2 a 25
- simultáneamente el número de elefantes **se diezmó** (pasando de más de seis millones de paquidermos a menos de 600.000)
- y la población de ballenas azules se redujo en **más del 99%**
- la actividad económica se multiplicó por **17** (se superaron los 39 billones de dólares de PIB mundial en 1998), la producción industrial por **40**
- el uso de energía por **13**
- la contaminación atmosférica por **5**; las emisiones de dióxido de carbono por **17**, las de dióxido de azufre por **13**, las emisiones de plomo a la atmósfera por **8**
- el uso humano de agua se multiplicó por **9**, los regadíos por **5**
- las capturas marinas por **35**, la población porcina por **9**

Fuente: John McNeill, *Something new under the sun*, Penguin, Londres, p. 360; y otras fuentes

Biomimética ingenieril

El término *biomimesis* se usó, en los años noventa, dentro de disciplinas como la robótica, las ciencias de materiales⁵, o la investigación cosmética, con un sentido más restringido que el que propongo yo aquí. Así, por ejemplo, cabe estudiar la locomoción de los insectos con vistas a desarrollar robots hexápodos que funcionen correctamente⁶. La idea entre los investigadores de tales disciplinas ha sido más la *imitación de organismos (o partes de estos) que la imitación de ecosistemas* (sin embargo, éste último es el objetivo que a mi entender hemos de plantearnos primordialmente).

El arquetipo de esta “biomimética” ingenieril, que se expresa desde 1991 en la revista *Biomimetics*, que funciona “robando ideas a la

⁵ Buscando crear biomateriales para aplicaciones médicas, por ejemplo. Sobre biomimética de materiales, un texto breve e ilustrativo es “New materials for the new age”, en www.bath.ac.uk/mech-eng/biomimetics/newmats.htm (página web consultada el 25 de septiembre de 2002: se trata de la página web del Centre for Biomimetics and Natural Technologies de la Universidad de Bath, en Gran Bretaña).

⁶ Véase la historia del robot Rhex en www.eecs.umich.edu/~ulucs/rhex.html (página web consultada el 25 de septiembre de 2002).

naturaleza”⁷ (y que también ha recibido los nombres de “biognosis” – sobre todo en EE.UU.—o “biónica”⁸), podrían ser las alas que el mítico inventor griego Dédalo creó para que tanto él como Ícaro pudieran volar (¡aunque una combinación de cierta temeridad por parte de Ícaro y algún fallo de diseño hizo que la hazaña terminase en tragedia, como es sabido!); y un ejemplo contemporáneo cercano lo proporcionan las investigaciones del Departamento de Ciencias de los Materiales de la ETS de Ingenieros de Caminos (Universidad Politécnica de Madrid) sobre los hilos que segregan las arañas.

UNA TELARAÑA MÁS RESISTENTE QUE EL ACERO

“Para conseguir que generen su tela, las arañas son introducidos en bolsitas de plástico con una perforación por donde sueltan su hilo; éste es inmediatamente marcado con cinta aislante y de él primero se estira y luego se pliega mediante una microbobinadora construida en el mismo laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos. Los hilos de la tela de araña así obtenidos son sometidos a una sistemática ronda de experimentos. Las pruebas van encaminados a averiguar su resistencia, deformabilidad, consistencia, durabilidad y soportabilidad a los cambios de temperaturas, de humedad y otras variables físicas.

Los primeros resultados atesorados tras su observación han puesto de manifiesto que las telas examinadas están construidas de un tejido orgánico a base de cadenas de proteínas que componen conjuntos de polímeros muy resistentes. Tienen forma de cordel y poseen dos vetas de un diámetro pequeñísimo, unas tres micras. El diámetro de un cabello humano mide entre 70 y 100 micras, aproximadamente. 'La resistencia de esos hilos fabricados de manera natural por la araña es diez veces superior a la de los aceros más resistentes de cuantos se conocen e, incluso, superan en algunas cualidades a las de la fibra orgánica llamada kevlar 49, de la casa Dupont, empleada en la fabricación de chalecos antibala', explica el profesor Manuel Elices. Este material es utilizado en los trajes de los desactivadores de explosivos. 'La tensión que puede soportar un simple hilo de araña', subraya, 'es de entre uno y dos millones de pascales, unidades de tensión que resultan de dividir la fuerza por la superficie', añade el catedrático.

Este tipo de experimento obedece a una corriente científica conocida como biomimética. Consiste en la imitación en laboratorio, con posterior aplicación industrial, de algunos procesos biológicos para reproducir a escala su metodología mediante el examen de los conocimientos que la Naturaleza, a través de aquella, nos brinda.

Las consecuencias ecológicas de estos hallazgos pueden ser extraordinarias. 'Hagánsela idea de que un caracol, por ejemplo, construye su caparazón, que es una suerte de hormigón natural, a base de elementos normales que encuentra en su camino. Para ello no necesita la cantidad de energía que el cemento industrial precisa', detalla el profesor Elices. 'Si logramos imitar esos procesos y culminarlos, ahorraremos mucha energía de la que ahora gastamos y

⁷ Julian F.V. Vincent: “Stealing ideas from nature”, en S. Pellegrino (ed.), *Deployable Structures*, Springer Verlag, Viena.

⁸ Éste término fue acuñado por Jack Steele, ingeniero de la US Air Force, en 1960.

reduciremos sustancialmente el coste ecológico, tan elevado, que pagamos ahora', señala Elices.

'La telaraña es, posiblemente, la fibra natural de más altas prestaciones mecánicas', explica el profesor Elices. La tensión de rotura, que mide la fuerza de ruptura dividida por la sección del hilo de la especie *Araneus gemmoides*, puede alcanzar hasta 4.000 megapascuales, mientras que para el acero y el kevlar 49 Dupont no supera los 3.000. Lamentablemente, los gusanos de seda pudieron ser domesticados, pero no así las arañas. Sus costumbres solitarias y predatoras las hacen insociables, explica el profesor Elices en un memorándum dirigido a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Las arañas laborantes de la Politécnica fabrican hilos que les nacen de media docena de glándulas del quicio inferior de su cefalotórax, por donde segregan un material viscoso. Las retículas que tejen son de hasta seis clases, pero principalmente de dos: una estructural, radial y seca, por la que se desplaza la araña; y otra, de círculos concéntricos, impregnada por una sustancia pegajosa que retiene todo cuanto en ella cae. Así caza otros insectos. La araña se envuelve en un jabón que le impide quedar atrapada en su propia red. Las redes poseen propiedades antisépticas, antibacterianas y fungicidas. Por ello han sido utilizadas como eficaces vendas de heridas sangrantes, pese a la repugnancia que la telaraña suele causar al tacto."

Fuente: Rafael Fraguas, "Una telaraña más resistente que el acero", *El País/ Madrid*, 17 de octubre de 2002, p. 24.

La hipótesis básica de esta biomimética ingenieril es que la evolución, a la larga, identifica soluciones óptimas; y por ello los seres vivos alcanzan a menudo una perfección funcional susceptible de estudiarse e imitarse.

Biomímesis en sentido amplio

Allende esta biomimética ingenieril, podemos tomar el principio de biomímesis en un sentido más amplio: se tratará, entonces, de comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles (y en particular en el nivel ecosistémico) con el objetivo de *reconstruir los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales*. El metabolismo urbano, industrial, agrario, debe parecerse cada vez más al funcionamiento de los ecosistemas naturales.

No es que exista ninguna agricultura, industria o economía "natural"⁹: sino que, al tener que reintegrar la tecnosfera en la biosfera, estudiar

⁹ Por decirlo con un ejemplo: encarecer *artificialmente* el transporte (por medio de una fiscalidad ecológica bien diseñada) que previamente se abarató de manera insostenible y *artificial* (con el uso masivo de combustibles fósiles): tal es el tipo de *naturalidad* a que podemos aspirar en el siglo XXI. Más sobre este asunto en Jorge

cómo funciona la segunda nos orientará sobre el tipo de cambios que necesita la primera. La biomímesis es una estrategia de *reinserción de los sistemas humanos dentro de los sistemas naturales*.

Así, por ejemplo, el físico Fritjof Capra llama “estar alfabetizado ecológicamente” a comprender los principios de organización de los ecosistemas, y utilizar dichos principios para crear comunidades humanas sostenibles. Señala cinco grandes principios “ecoalfabetizadores”:

- (1) Interdependencia
- (2) Naturaleza cíclica de los procesos ecológicos
- (3) Tendencia a asociarse, establecer vínculos y cooperar como características esenciales de la vida
- (4) Flexibilidad
- (5) Diversidad

La naturaleza, “la única empresa que nunca ha quebrado en unos 4.000 millones de años” según el biólogo Frederic Vester, nos proporciona el modelo para una economía sustentable y de alta productividad. Los ecosistemas naturales funcionan a base de *ciclos cerrados de materia, movidos por la energía del sol*: ésta es su característica fundamental, si los contemplamos con “mirada económica”.

Se trata de una “*economía*” *cíclica*, totalmente renovable y autorreproductiva, sin residuos, y cuya fuente de energía es inagotable en términos humanos: la energía solar en sus diversas manifestaciones (que incluye, por ejemplo, el viento y las olas)¹⁰. En esta economía cíclica natural *cada residuo de un proceso se convierte en la materia prima de otro: los ciclos se cierran*. Por el contrario, la economía industrial capitalista desarrollada en los últimos dos siglos, considerada en relación con los flujos de materia y de energía, es *de naturaleza lineal*: los recursos quedan desconectados de los residuos, los ciclos no se cierran.

En la reconstrucción de los sistemas de producción imitando la “producción natural” de la biosfera se halla a mi entender la clave para

Riechmann, “La industria de las manos y la nueva naturaleza”, capítulo IV de *Un mundo vulnerable*, Los Libros de la Catarata, Madrid 2000.

¹⁰ Fuera de esta primordial fuente de energía natural quedarían sólo fenómenos de energía gravitatoria (que influyen en las mareas, por ejemplo) y geotérmica (fuentes termales, etc.).

sortear la crisis ecológica: *los insostenibles metabolismos lineales han de transformarse en metabolismos circulares*. “Los sistemas naturales tienen 3.500 millones de años de experiencia en la creación de sistemas de reciclaje eficientes y flexibles. ¿Por qué debe esforzarse la industria en reinventar la rueda si ya se ha hecho toda la I+D?”, se pregunta Gil Friend¹¹.

Más tiempo de rodaje

“Observa los fenómenos naturales y encontrarás en ellos un manantial inagotable de normas para el espíritu”, escribía Juan Ramón Jiménez hace casi un siglo¹², recogiendo un consejo que cabría rastrear en la historia de la ideas de lo que llamamos Occidente desde su mismo origen (o más bien una de las fuentes de su plural origen): el pensamiento griego. Por eso, hay una objeción que surge de inmediato frente a las estrategias de biomímesis: ¿estamos de alguna forma reactualizando la viejísima tradición de derecho natural o éticas de cuño naturalista, que pretenden deducir valores del mundo natural o ciertos rasgos del mismo, incurriendo así en falacia naturalista?

No es el caso. Se trata de imitar la naturaleza *no porque sea una “maestra moral”, sino porque funciona*. La biosfera es un “sistema de ecosistemas” perfectamente ajustado después de varios miles de millones de años de rodaje, autorreparación, reajuste darwiniano continuo y adaptación mutua (coevolución) de todas las piezas de todos los complejísimos mecanismos; no es estática, pero se mantiene en una estabilidad dinámica merced a sutiles mecanismos de retroalimentación negativa que los cibernéticos saben apreciar en su justo valor.

No es que lo natural supere moral o metafísicamente a lo artificial: es que lleva más tiempo de rodaje.

LAS "LEYES" BÁSICAS DE LA ECOLOGÍA SEGÚN BARRY COMMONER Y NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

1. <i>Todo está relacionado con todo lo demás</i> . La biosfera es una compleja red, en la cual cada una de las partes que la componen se halla vinculada con las otras por una tupida malla de interrelaciones.
--

¹¹ Citado por Ramón Pastor, “Introducción al concepto de ecología industrial”, en la Primera Conferencia Europea de Ecología Industrial (Forum Ambiental Ecomed-Pollutec), Barcelona, 27 y 28 de febrero de 1997.

¹² Juan Ramón Jiménez, *Ideología* (ed. de Antonio Sánchez Romeralo), Anthropos, Barcelona 1990, p. 141.

2. *Todas las cosas han de ir a parar a alguna parte.* Todo ecosistema puede concebirse como la superposición de dos ciclos, el de la materia y el de la energía. El primero es más o menos cerrado; el segundo tiene características diferentes porque la energía se degrada y no es recuperable (principio de entropía).
3. *La naturaleza es la más sabia* (o "la naturaleza sabe lo que hace", traducción del inglés *nature knows better*). Su configuración actual refleja unos cinco mil millones de años de evolución por "ensayo y error": por ello los seres vivos y la composición química de la biosfera reflejan restricciones que limitan severamente su rango de variación.
4. *En todos los procesos dentro de la biosfera, al final tendremos un déficit en términos de materia-energía*¹³.

Contra el pansociologismo que niega la distinción entre naturaleza y sociedad

Otra de las objeciones que pueden alzarse contra el principio de biomímesis sería: ¿imitación de la naturaleza? ¿Imitar qué, si *ya no puede distinguirse*, o quizá nunca se pudo, entre naturaleza y sociedad? En otro contexto (una polémica contra la idea de sustentabilidad fuerte) así lo defiende, por ejemplo, el profesor de la Universidad de Málaga Manuel Arias Maldonado, que investiga sobre cuestiones de democracia y sustentabilidad:

“Resulta ya impracticable toda diferenciación entre lo natural y lo social, especialmente si de la consecución de la sustentabilidad se trata. La fusión de sociedad y naturaleza en medio ambiente supone que la sustentabilidad es, sí, ordenación de las relaciones de la sociedad con su entorno, pero que por esa misma razón puede afirmarse que se trata de la autoordenación social, u ordenación de un *aspecto* de lo social: lo medioambiental”¹⁴.

Es una idea también muy difundida entre los sociólogos ambientales “constructivistas”.¹⁵ Ahora bien: hay que darse cuenta de que aquí, en esta suerte de *pansociologismo*, hay disfrazado, so capa de necesidad y

¹³ Esta ley cuarta no es sino una de las posibles formulaciones del *principio de entropía* o segunda ley de la termodinámica, de incalculable importancia a la hora de pensar la relación entre sociedades humanas y biosfera. Puede verse una introducción breve en Jorge Riechmann: “Por qué los muertos no resucitan y el reciclado perfecto es imposible”, capítulo II.1 de Francisco Fernández Buey y Jorge Riechmann: *Ni tribunus. Ideas y materiales para un programa ecosocialista* (Siglo XXI, Madrid 1996). El clásico para esta cuestión es el economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen: un artículo suyo luminoso y accesible es “¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología?”, en la compilación de Federico Aguilera Klink y Vicent Alcántara *De la economía ambiental a la economía ecológica* (Icaria, Barcelona 1994).

¹⁴ Manuel Arias Maldonado: “Sustentabilidad, democracia y política verde”, ponencia en el Primer Congreso Iberoamericano de Ética y Filosofía Política, Alcalá de Henares, 16 al 20 de septiembre de 2002.

¹⁵ Abundantes ejemplos en Michael Redclift y Graham Woodgate: *Sociología del medio ambiente*, McGraw Hill/ Interamericana de España, Madrid 2002.

evidencia, un nada necesario *parti pris* ideológico¹⁶. Resulta oportuno reconocer que, a medida que se expandían dentro de la biosfera los sistemas socioeconómicos humanos, a medida que aumentaba el poderío de la tecnociencia y a medida que las sociedades ricas se apropiaban de más y más espacio ambiental, ha ido reduciéndose correlativamente la naturaleza silvestre “incontaminada”. Yo mismo he argumentado en este sentido en muchas ocasiones¹⁷. *Pero de ahí a sostener que no puede distinguirse entre lo natural y lo social hay un salto que hemos de negarnos a dar*. Por decirlo con el ejemplo de Andrew Dobson, también en las condiciones actuales de “mundo lleno” sigue habiendo una diferencia significativa entre el Hyde Park londinense y las selvas del centro de Nueva Guinea¹⁸. Pondré otros dos ejemplos para que se vea lo que quiero decir.

Poca duda cabe de que, antes de 1979, en el medio ambiente lunar no había ni trazas de nada social o cultural; y después de aquellos primeros viajes a la Luna de finales de los sesenta y principios de los setenta, aquellas trazas seguían siendo mínimas, y podía distinguirse con toda claridad lo natural de lo social. Hoy en día podemos asistir al comienzo de algo diferente: “la Luna está madura para su desarrollo comercial”, declaraba en septiembre de 2002 el director de la empresa estadounidense Transorbital, que prepara el primer alunizaje con fines de lucro para el 2003. Si este incipiente “desarrollo comercial” progresa, puede que dentro de un siglo nos sea tan difícil distinguir lo natural de lo social como en los ecosistemas más intensamente artificializados y antropizados de la Tierra: *pero no hay nada necesario en este desarrollo*, y también podemos optar por declarar la Luna “santuario” e impedir que se altere demasiado.

Otro ejemplo: moléculas de contaminantes organoclorados en la grasa de los seres vivos. Hoy son omnipresentes, con graves efectos sanitarios y medioambientales, a consecuencia de una política química que vamos

¹⁶ Que por añadidura –aunque esto no nos interese aquí—es incoherente con la construcción de Arias Maldonado en el resto de su ponencia/ artículo, pues luego tiene que distinguir entre “el *capital natural*, constituido por aquellos aspectos del mundo natural que son empleados o son potencialmente empleables en el sistema económico y social humano” y el capital hecho por el hombre: es decir, necesita –para el resto de su construcción doctrinal—que sean diferenciables el capital natural y el capital manufacturado.

¹⁷ Véase, por ejemplo, Jorge Riechmann, “La crisis ecológica: un desafío para los trabajadores”, en Jorge Riechmann y Francisco Fernández Buey, *Trabajar sin destruir. Trabajadores, sindicatos y ecología*, Eds. HOAC, Madrid 1998, p. 78-79.

¹⁸ Andrew Dobson, *Justice and the Environment --Conceptions of Environmental Sustainability and Dimensions of Social Justice*, Oxford University Press 1998, p. 75.

tendiendo a valorar como desastrosa. Pero si optamos por aplicar y desarrollar el Convenio de Estocolmo sobre COP (Contaminantes Orgánicos Persistentes), dentro de dos o tres generaciones habrán desaparecido de los cuerpos de los seres vivos estas “bombas químicas” de efecto retardado, y nos resultará más fácil distinguir lo natural de lo social, en lo que a tejidos adiposos animales se refiere.

Lo que quiero decir con ello es que *la posibilidad de distinguir mejor o peor entre lo natural y lo social está en función de que los seres humanos decidamos o no autolimitar nuestro impacto sobre la biosfera, y que esa decisión está en nuestras manos.*

Una estrategia de reinserción

Como decía antes, la biomímesis es una estrategia de *reinserción de los sistemas humanos dentro de los sistemas naturales*, o si se prefiere: reinserción de la sociosfera y la tecnosfera dentro de la biosfera.

"El edificio debe ser una circunstancia natural del terreno", decía Frank Lloyd Wright, el patriarca de la arquitectura moderna en EE.UU., anticipándose a la poderosa corriente de "ecoarquitectura" y arquitectura bioclimática que vendría después. *Así con el resto de los sistemas humanos:* deberían ser algo parecido a una circunstancia natural de la biosfera. El mayor poeta español del siglo XX, Juan Ramón Jiménez, recogía en el siguiente aforismo otros rasgos de lo que hoy damos en llamar biomímesis: “El mar lleno de detritus animales, vegetales y minerales, de detritus de dioses, y donde nos bañamos, sin embargo, en agua pura, es una excelente norma para lo demás de nuestra vida.”¹⁹

A todos los niveles la *biomímesis* parece una buena idea socioecológica y económico-ecológica:

- *ecología industrial*, remedando los ciclos cerrados de los materiales en la biosfera;
- *agroecosistemas* mucho más cercanos a los ecosistemas naturales que la actual agricultura industrial quimizada;
- *química verde* con procesos que permanezcan cerca de la bioquímica de la naturaleza;

¹⁹ Juan ramón Jiménez, *Ideología* (ed. de Antonio Sánchez Romeralo), Anthropos, Barcelona 1990, p. 392.

- *biotecnología ambientalmente compatible*, con biomoléculas artificiales donde sea preciso, pero guiándonos por el proceder de la misma naturaleza, etc.

Hay que indicar, por último, que la idea de biomímesis está estrechamente relacionada con el *principio de precaución*: para apartarnos de los “modelos” de la naturaleza necesitamos razones mucho más fuertes, y conocimiento mucho más fiable, que para seguirlos²⁰.

Cinco principios básicos de sustentabilidad

A partir de la biomímesis, del funcionamiento de los ecosistemas, podemos sugerir cinco principios básicos para la reconstrucción ecológica de la economía:

1. VIVIR DEL SOL como fuente energética
2. CERRAR LOS CICLOS de materiales
3. NO TRANSPORTAR DEMASIADO LEJOS los materiales
4. EVITAR LOS XENOBIÓTICOS como COP (contaminantes orgánicos persistentes), OMG (organismos transgénicos)...
5. RESPETAR LA DIVERSIDAD.

El primero de tales principios, VIVIR DEL SOL, a estas alturas del debate económico-ecológico, debería resultar evidente. La inagotable fuente de energía que nutre a prácticamente toda la vida sobre nuestro planeta ha de ser también la que mueva los ciclos productivos de la economía humana. Las energías fósiles (carbón, petróleo, gas natural) están agotándose al mismo tiempo que desequilibran el clima del planeta, y tenemos inexorablemente que plantearnos el cambio de base energética de nuestra civilización industrial. La única economía reproducible a largo plazo será la basada en las energías renovables (es decir: en último término, en el aprovechamiento diversificado del flujo inagotable de energía solar). Por eso necesitamos una "estrategia solar" para la salida de los combustibles fósiles y la energía nuclear, y la *construcción de un sistema energético basado en las energías renovables* (solar térmica y solar fotovoltaica, eólica, biomasa, etc). Los depósitos aún existentes de

²⁰ Sobre el principio de precaución véase Jorge Riechmann y Joel Tickner, *El principio de precaución: de las definiciones a la práctica*, Icaria, Barcelona 2002.

energías fósiles sólo hemos de considerarlos como una "red de seguridad" mientras dure esa transición²¹.

CERRAR LOS CICLOS de materiales, dice el segundo principio. Un eslogan potente en este sentido es el de *la basura es comida* (*waste equals food*) propuesto por William McDonough y Michael Braungart²². Los mismos autores quieren avanzar desde los ciclos de vida “de la cuna a la tumba” para los productos y materiales hacia ciclos “de la cuna a la cuna”, sugiriendo así de forma muy plástica la idea del cierre de ciclos²³.

Una economía ecologizada distinguiría entre dos tipos de “metabolismo económico”: todo lo que fuera a parar al *metabolismo biológico* de la naturaleza sería perfectamente biodegradable, y no contendría tóxicos en absoluto; por otro lado, lo que fuera al *metabolismo industrial* circularía una y otra vez en ciclos cerrados, sin mezclarse con el metabolismo biológico. Así, todos los productos de la economía serían clasificados o bien como *nutrientes biológicos* o bien como *nutrientes técnicos*.²⁴ El planteamiento en cualquier caso ha de ser *residuo cero*²⁵, en el sentido de que los residuos de los procesos productivos serían aprovechados íntegramente como materia prima –igual que sucede en los ciclos de materiales que se dan en la biosfera.

El tercer principio aconseja NO TRANSPORTAR DEMASIADO LEJOS. En la naturaleza, el transporte vertical (propio del reino vegetal) predomina nítidamente sobre el transporte horizontal (privilegio de los animales), y el transporte horizontal a larga distancia es una absoluta rareza²⁶.

Los ciclos biológicos que prevalecen en tierra firme son los del mundo vegetal, que hace circular materiales en sentido casi exclusivamente vertical. Los seres vivos que se desplazan en sentido horizontal –los

²¹ Para desplegar estas perspectivas, nada mejor que dos libros básicos de Hermann Scheer (*Estrategia solar*, Plaza y Janés, Barcelona 1993; y *Economía solar global*, Galaxia Gutenberg, Barcelona 2000) y otros dos de Emilio Menéndez (*Las energías renovables: un enfoque político ecológico*, y *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo*, ambos en Los Libros de la Catarata, Madrid, 1997 y 2001 respectivamente).

²² William McDonough y Michael Braungart: “The next industrial revolution”, *The Atlantic*, octubre 1998 (versión electrónica en www.theatlantic.com/issues/98oct/industry.htm).

²³ William McDonough y Michael Braungart: *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York 2002. Ambos autores son también socios en una consultoría de diseño industrial, y su página web tiene cosas de mucho interés: www.mbd.com.

²⁴ McDonough y Braungart: “The next industrial revolution”, op. cit.

²⁵ Sara del Río: “Residuo cero”, en *Boletín Greenpeace* 2002/III, p. 30-31.

²⁶ Sobre este asunto Antonio Estevan y Alfonso Sanz, “Las raíces del conflicto entre el transporte y el medio ambiente”, en su libro *Hacia la reconversión ecológica del transporte en España*, Los Libros de la Catarata, Madrid 1996, p. 27-29.

animales—representan una fracción muy pequeña de la biomasa terrestre, y además no se prodigan en viajes gratuitos: la naturaleza terrestre está, en esencia, fija. Los grandes viajeros (aves migratorias, salmones que remontan ríos...) son más bien excepciones que confirman la regla. De ahí el conflicto con el transporte masivo de materiales a larga distancia que ponen en marcha las sociedades industriales modernas:

“Dado que los ecosistemas naturales terrestres han ido autoorganizándose mayoritariamente sobre la base de los ciclos verticales y cercanos, están muy mal adaptados para soportar movimientos horizontales masivos en su seno, como los que genera el actual sistema de transporte. Sus estructuras primordiales (suelo superficial, comunidades vegetales, interconexiones ecológicas, etc.) presentan una gran fragilidad frente al incremento de los desplazamientos horizontales. En consecuencia, el transporte tiene que ‘abrirse paso’ a través de unos ecosistemas naturales terrestres que no están ‘diseñados’ para soportarlo, y en su avance va fraccionando y empobreciendo estos ecosistemas...”²⁷

De ahí que, para lograr sociedades sustentables, aplicar el principio de biomímesis induzca a *minimizar el transporte horizontal a larga distancia*, e intentar que los sistemas humanos se “recentren” sobre el territorio. *Desarrollo sostenible es desarrollo autocentrado, producción limpia es producción de proximidad*: sobre esto no deberían caber dudas.

En cuarto lugar, se trata de EVITAR LOS PRODUCTOS XENOBIÓTICOS, es decir, aquellos productos químicos u organismos producidos artificialmente que resultan “extraños” para los sistemas naturales. Los estudios más recientes muestran cómo cantidades minúsculas de contaminantes pueden causar con el tiempo efectos desastrosos sobre los sistemas biológicos: lo que hemos aprendido en los años noventa sobre disruptores hormonales invita a extremar la prudencia²⁸. En cuanto a los organismos transgénicos, les he dedicado bastante atención en otras obras²⁹.

²⁷ Estevan y Sanz, op. cit., p. 29.

²⁸ T. Colborn/ J.P. Myers/ D. Dumanoski: *Nuestro futuro robado*. Ecoespaña Editorial (con el apoyo de CODA, Greenpeace, Vida Sana y WWF-ADENA), Madrid 1997. Una notable cantidad de información sobre disruptores endocrinos en esta página web del Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS): www.istas.net/ma/decops.

²⁹ Me refiero a mis dos libros *Cultivos y alimentos transgénicos: una guía crítica* (Los Libros de la Catarata, Madrid 2000) y *Qué son los alimentos transgénicos* (Integral/ RBA, Barcelona 2002).

RESPETAR LA DIVERSIDAD es el quinto –pero no por ello menos importante—principio básico. No hará falta insistir en la enorme, estupefaciente diversidad que caracteriza a la vida sobre nuestro planeta: esa diversidad a todos los niveles –genes, organismos, poblaciones, ecosistemas—es una garantía de seguridad en un mundo cambiante. Por eso, también aquí la biomímesis es un buen principio orientador: la economía humana ha de construirse *respetando las singularidades regionales, culturales, materiales y ecológicas de los lugares*. La flexibilidad de los sistemas humanos ha de permitir hacer frente a los imprevistos, y proporcionar los bienes y servicios necesarios para las personas y comunidades que en sí mismas son entes cambiantes.

Ciclos de materiales cerrados, sin contaminación y sin toxicidad, movidos por energía solar, adaptados a la diversidad local: ésta es la esencia de una economía sustentable. Cuando se trata de producción industrial, suele hablarse en este contexto de *producción limpia* (a la que consagraremos el próximo capítulo).

Uno se siente tentado de sugerir un sexto principio: NO LLENARLO TODO, dejando suficiente espacio ambiental para los demás. Veámoslo con algún detalle.

Espacio ambiental

En rigor, el posible punto 6 –NO LLENARLO TODO-- no tiene que ver tanto con la biomímesis como con la justicia. En condiciones ambientales favorables –disponibilidad de energía, sobre todo--, un organismo o una población tenderán en la naturaleza a multiplicarse sin freno. Los frenos vienen “desde fuera”, proceden de los múltiples mecanismos de retroalimentación y reequilibrio que operan en los ecosistemas: así es como organismos y poblaciones se encuentran constreñidos a su propio espacio ambiental.

En el caso de los seres humanos, esta “heterolimitación” externa resulta indeseable: aparecerá, por ejemplo, como catástrofe ecológica cuando se minan las bases naturales que proporcionan sustento a una sociedad. Lo deseable sería no llegar ahí, sino ser colectivamente capaces de *autolimitarnos* sin llegar a sobrepasar límites ecológicos críticos, y al

mismo tiempo siendo conscientes de los problemas de justicia implicados en esa cuestión.

El concepto de *espacio ambiental* es clave para ayudar a entender la relación entre sustentabilidad y justicia. Se desarrolló en los años noventa, en relación con las metodologías de la huella ecológica. ¿Cuánta gente y qué nivel de consumo puede soportar un territorio? Lo que la huella ecológica hace es intentar responder a esta pregunta: para ello “pone de cabeza” el concepto de *capacidad de carga* y en lugar de calcular la población que puede soportar un territorio, lo que hace es calcular el territorio que necesita una determinada población. Recordemos un par de ideas:

EL CONCEPTO DE HUELLA ECOLÓGICA

- **Huella ecológica:** área de territorio productivo o ecosistema acuático necesaria para producir los recursos y para asimilar los residuos producidos por una población definida con cierto nivel de vida específico, dondequiera que se encuentre este área.
- La **justa porción de tierra:** el territorio ecológicamente productivo “disponible” por persona en la Tierra: alrededor de 1’5 hectáreas. La **justa porción de océano** es poco más de 0’5 hectáreas. Sumándolos, y restando cierta superficie protegida para la conservación de la biodiversidad, tendríamos la idea de **justa porción de espacio ambiental: aproximadamente 1’7 hectáreas por persona.**

Para ampliar información: Mathis Wackernagel y William Rees, *Nuestra huella ecológica – Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*, Ediciones LOM/ Instituto de Ecología Política, Santiago de Chile 2001 (el original inglés es de 1996).

Los antecedentes de este indicador los encontramos en la definición de *impacto ambiental* según Ehrlich y Holdren a principios de los setenta, quienes decían que el impacto ambiental depende de una función de tres variables: primero la población que produce ese impacto; en segundo lugar el nivel de consumo de la población y en tercer lugar el nivel tecnológico de esa sociedad. Otro antecedente de la huella ecológica lo encontramos en la definición de Catton sobre la *capacidad de carga humana*, definida como la carga máxima que puede imponerse sobre la ecosfera de una forma constante y segura, carga que depende tanto del número de habitantes como de su nivel de consumo.

Es evidente que, en una biosfera finita, el espacio ambiental globalmente disponible es también finito. Tiene límites (en parte flexibles) que constituyen barreras para las actividades humanas; ignorar estos límites conducirá probablemente a desastres biosféricos. Para mantenernos

dentro de la sustentabilidad, se debe mantener el nivel de flujo de recursos dentro de los límites del espacio ambiental disponible. Pero el consumo promedio, a comienzos del siglo XXI, equivale a 2'3 hectáreas por persona (lo que ya está por encima del nivel de sostenibilidad), con enormes diferencias entre los ricos y los pobres del planeta.

Suelo agrícola	0.25 ha
Pastos	0.6 ha
Bosques	0.6 ha
Suelo construido	0.06 ha
Mar	0.5 ha
	2 ha
Menos suelo para la protección de la biodiversidad	- 12%
Espacio ambiental (o capacidad ecológica) per cápita	

El concepto de (justa porción de) espacio ambiental apunta a la *enorme desigualdad en el uso de recursos a escala global*. Así, el africano típico consume recursos equivalentes a 1'4 hectáreas, el europeo promedio 5 hectáreas, el estadounidense típico 9'6³⁰: los más ricos nos hemos apropiado de una parte excesiva del espacio ambiental global, y con ello privamos a la mayor parte de la humanidad de la base de recursos necesaria para poder progresar.

Un principio de igualdad

El único criterio distributivo para el espacio ambiental que parece éticamente justificable es un principio de igualdad: *iguales porciones de espacio ambiental para todos y cada uno de los seres humanos*. Que cada habitante de la Tierra tenga igualdad de derechos al patrimonio natural de ésta. Así, a la “justicia intergeneracional” involucrada en el concepto de sostenibilidad, uniremos la justicia entre diferentes naciones, sociedades, clases sociales y seres humanos que canaliza la idea de un justo reparto del espacio ambiental³¹.

³⁰ Son cálculos de WWF elaborados a partir de los datos de 1999, y hechos públicos en 2002, en su informe *Planeta vivo 2002*.

³¹ He abordado esta cuestión con más detalle en Jorge Riechmann: “Tres principios básicos de justicia ambiental”. Ponencia en la XII Semana de Ética y Filosofía Política, Castellón, 3 al 5 de abril de 2003.

“Como cualquier derecho, el derecho a los recursos naturales también está limitado por los derechos de los demás. Dado el derecho a disfrutar de los servicios esenciales de la naturaleza pertenece a todos (incluso a las generaciones futuras y a los seres vivos no humanos), los límites del espacio ambiental disponible restringen el uso de este derecho. Si bien las clases consumistas no tienen ningún derecho a la apropiación excesiva, los infraconsumidores tampoco pueden llegar a consumir al nivel de ellas; ambos deben acercarse a niveles justos y ecológicamente benignos, manteniéndose dentro de los límites de la sustentabilidad biofísica. (...) Según cálculos aproximados, el Norte global tendría que reducir su uso del espacio ambiental en un factor de 10, es decir entre el 80 y el 90%, durante los próximos cincuenta años.”³²

Espacio ambiental que –no podemos olvidarlo—compartimos también con incontables seres vivos no humanos... Como escribió hace años el poeta estadounidense Gary Snyder, “incluso si se lograra la justicia social y económica para toda la gente, seguiría existiendo una necesidad drástica de justicia ecológica, lo que significa dejar mucha tierra y agua para que los seres no humanos puedan vivir su vida.”³³ Este horizonte de “justicia interespecífica” es la última dimensión que hemos de añadir al desarrollo para que éste sea verdaderamente sostenible³⁴.

¿Y qué ocurre con la ecoeficiencia?

Cabe preguntar: ¿no deberíamos haber incluido la ecoeficiencia –“hacer más con menos”-- como uno de los principios derivados de la biomímesis? La observación de la naturaleza, ¿nos autoriza a extraer un principio de ecoeficiencia?

Creo que hay que contestar negativamente. Es verdad que los seres vivos son altamente eficientes en el uso de la materia-energía, lo cual no debería resultar nada sorprendente (la evolución biológica los ha diseñado para ello). Pero en la naturaleza encontramos también rasgos de plétora, de superabundancia, de “despilfarro”: no hay más que pensar en cómo se difunden las semillas de las plantas o las larvas de los insectos...

Los ecosistemas maduros son poco productivos; los que resultan más útiles para los seres humanos (en términos de “cosecha de biomasa”) son

³² Wolfgang Sachs (coord.), *Equidad en un mundo frágil. Memorandum para la cumbre mundial sobre desarrollo sustentable*, Fundación Heinrich Böll, Berlín 2002, p. 38.

³³ Gary Snyder, *A Place in Space*, Counterpoint, Washington D.C. 1995, p. 60.

³⁴ Una aproximación al tema en Jesús Mosterín y Jorge Riechmann: *Animales y ciudadanos*, Talasa, Madrid 1995.

ecosistemas jóvenes y desequilibrados. En efecto, es sabido que los diferentes estadios de un ecosistema en el tiempo (avanzando desde la menor hacia la mayor complejidad) reciben el nombre de *sucesión*³⁵. En la fase final (denominada *clímax*) la estabilidad es grande pero la productividad (en términos de producción primaria neta de materia orgánica o *biomasa*) muy pequeña: se tiende al equilibrio metabólico, es decir, no se crea apenas biomasa nueva, sino que prácticamente toda la energía captada por la fotosíntesis se invierte en respiración.

Resulta evidente, a tenor de lo expuesto, que *los seres humanos en cuanto explotadores de la biomasa de los ecosistemas no tienen interés en los estados clímax (de gran complejidad y estabilidad, pero de poca productividad) sino en los ecosistemas jóvenes* (caracterizados por su escasa diversidad, su inestabilidad y su mayor productividad). La explotación humana favorece la regresión desde las etapas clímax a estadios anteriores, o bien detiene la sucesión en etapas juveniles de los ecosistemas. Los ecosistemas viejos, complejamente estructurados y ricos en diversidad --como los arrecifes de coral o los bosques tropicales-- son por todo ello inadecuados para la explotación humana, y muy frágiles ante ésta.

"Las características del desarrollo en los sistemas naturales hacen que éste tienda al incremento de estructura y complejidad por unidad de flujo de energía --estrategia de máxima protección--, lo que contrasta con el propósito humano de máxima producción --es decir, de obtención del máximo rendimiento posible. Este es el primer principio que se debe reconocer cuando se estudia el conflicto entre el hombre y la naturaleza (...). La oposición íntima entre explotación y sucesión está en el centro de todos los problemas de conservación de la naturaleza. Por ejemplo, el fin de la agricultura o de la industria forestal es obtener altas tasas de producción de productos fácilmente recolectables con poco material acumulado en el ambiente, es decir, un cociente entre la producción y la biomasa elevado. Por el contrario la naturaleza tiende a la elevación del cociente inverso, es decir, entre la biomasa y la producción"³⁶.

De forma que la ecoeficiencia puede ser una meta deseable, pero no parece que la podamos derivar directamente de la idea de biomímesis. Por otra parte, la ecoeficiencia *no puede constituir el eje central de una estrategia de desarrollo sostenible* (mientras que la idea de biomímesis sí que constituye el corazón de la sustentabilidad, a mi entender). Veámoslo en un párrafo aparte.

³⁵ Un ejemplo típico es la formación de suelo y luego un bosque a partir de la roca desnuda, con sucesivas poblaciones de bacterias, líquenes, musgos, hierbas, arbustos y finalmente árboles.

³⁶ Josep Peñuelas: *De la biosfera a la antroposfera*, Barcanova, Barcelona 1988, p. 157.

Algunas consideraciones críticas sobre ecoeficiencia

La ecoeficiencia puede contribuir a reducir la destructividad de los sistemas industriales actuales –quizá sólo temporalmente–, pero no es capaz de proporcionar la reorientación fundamental, estructural, que resulta necesaria. McDonough y Braungart han insistido en contraponer las estrategias de ecoeficiencia –por las que han optado las empresas sensibles a la problemática del desarrollo sostenible en los años noventa³⁷—con lo que ellos llaman “ecoefectividad”, y que está muy cerca de nuestra noción de biomímesis. Ello queda recogido en el recuadro siguiente:

SITUACIÓN ACTUAL (SISTEMAS PRODUCTIVOS INSOSTENIBLES)	ESTRATEGIA DE ECOEFICIENCIA	ESTRATEGIA DE BIOMÍMESIS (“ECOEFECTIVIDAD”)
Se lanzan anualmente millones de toneladas de material tóxico al medio ambiente	Se lanzan anualmente <i>menos</i> toneladas de material tóxico al medio ambiente	No se introducen materiales peligrosos en el medio ambiente
La prosperidad se mide por la actividad, no por el resultado	La prosperidad se mide por una <i>menor</i> actividad	Se mide la prosperidad por cuánto capital natural podemos acrecentar de forma productiva; se mide la productividad por el número de personas que están empleadas en trabajos con sentido; y se mide el progreso por el número de edificios que no emiten contaminación a los aires o las aguas
Se requieren miles de normas complejas para evitar que la gente y los ecosistemas se envenenen demasiado rápidamente	Se requieren <i>al menos tantas</i> normas complejas para evitar que la gente y los ecosistemas se envenenen demasiado rápidamente, o quizá incluso más	No requiere normas cuyo propósito es impedirnos que nos suicidemos demasiado deprisa
Se producen materiales tan peligrosos que requerirán vigilancia	Se producen <i>menos</i> materiales peligrosos que requerirán	No se produce nada que requiera vigilancia por parte de las

³⁷ La estrategia de ecoeficiencia ha sido promovida particularmente, en los años noventa, por las empresas multinacionales agrupadas en el Business Council for Sustainable Development (luego rebautizado como World Business Council).

constante por parte de las generaciones futuras	vigilancia constante por parte de las generaciones futuras	generaciones futuras
Se producen gigantescas montañas de desperdicios	Se producen montañas de desperdicios <i>más pequeñas</i>	No se producen desperdicios
Se entierran materiales valiosos por todo el planeta, en agujeros de donde después no pueden recuperarse	Se entierran <i>menos</i> materiales valiosos por todo el planeta, en agujeros de donde después no pueden recuperarse	Todos los materiales valiosos se reutilizan
Se erosiona gravemente la diversidad de las especies biológicas y las prácticas culturales	Se estandariza y homogeneiza la diversidad de las especies biológicas y las prácticas culturales	Se celebra la abundancia de diversidad biológica y cultural y de "renta solar"

Fuente: adaptado de William McDonough y Michael Braungart: "The next industrial revolution", *The Atlantic*, octubre 1998

El objetivo de las estrategias de ecoeficiencia es minimizar el impacto ambiental por unidad de producto. Sin embargo, por sí mismas, resultarán insuficientes para hacer frente a la crisis ecológica.

Las razones pueden intuirse considerando un ejemplo concreto. Los aceites minerales y disolventes empleados en la fabricación de automóviles son responsables de una elevada incidencia de cánceres de estómago, esófago, recto y piel entre los trabajadores del sector; muchos de estos productos pueden sustituirse por aceites vegetales inoocuos, lo cual constituiría un progreso indudable hacia la producción limpia. Sin embargo --y dejando de lado el espinoso problema del carácter insostenible de un sistema de transporte basado en el automóvil privado-- , generalizar estas sustituciones exigiría aumentar el cultivo de las plantas que proporcionan dichos aceites vegetales, y ello podría incrementar la contaminación producida por prácticas agrícolas insostenibles, y también reducir la producción de alimentos en un mundo donde muchos pasan hambre.

La ecoeficiencia resulta imprescindible, pero también es insuficiente si no se combina con el desarrollo de una *cultura del autocontrol de la medida, de la suficiencia*. En ocasiones, *además de reducir el impacto ambiental por unidad de producto, puede ser necesario en nuestras sociedades sobredesarrolladas limitar la cantidad de producto*. Es cierto que una economía sustentable (preservadora de recursos y no

contaminante) no es necesariamente una economía de crecimiento cero, y es cierto que una economía de crecimiento cero puede ser despilfarradora y antiecológica. Lo que necesitamos es una economía sustentable, biomimética en el sentido que explicitamos en este capítulo, y no necesariamente una economía de crecimiento cero; pero no hay posible economía sustentable sin reconocer y respetar los límites al crecimiento.

¿”Desmaterialización”?

Hay que decir también que idea de “desmaterialización” —estrechamente asociada con la de ecoeficiencia en el discurso empresarial— puede fácilmente inducir a error (lo cual debería resultar de inmediato evidente a cualquier materialista): *las necesidades materiales se satisfacen con bienes materiales*. No por trasladar lejos (en el tiempo y/ o en el espacio) los impactos ecológicos de la producción de estos bienes estamos “desmaterializando” la producción.

“...sigue aumentando el uso total e incluso per cápita de los recursos del mundo (lo que no quita que puedan disminuir las exigencias en materiales y energía por unidad de Producto o Renta Nacional, pero esto resulta ecológicamente irrelevante: lo significativo aquí es la exigencia global y per cápita, que siguen aumentando). Tampoco se observa que la *desmaterialización* esté teniendo lugar en los países más ‘desarrollados’: aunque la tendencia a desplazar fuera de sus fronteras las primeras fases de extracción y tratamiento de los recursos, unida a la mejora de la eficiencia observada en los procesos parciales que albergan, pueda disminuir su *Input Directo de Materiales*, la realidad es que en la mayoría de ellos sigue aumentando la *Necesidad Total de Materiales* per cápita. Con lo que se privilegia el medio ambiente *local* de los países ricos pero a costa de un mayor deterioro del medio ambiente *global* utilizado como fuente de recursos y sumidero de residuos. (...) La *desmaterialización*, en el sentido de una reducción absoluta en el uso de los recursos naturales, no está teniendo todavía lugar ni siquiera en los países ricos, y menos todavía en las llamadas ‘economías emergentes’ o en las más o menos eufemísticamente calificadas como ‘en vías de desarrollo’.”³⁸

“Ojos que no ven, corazón que no siente” no puede ser la consigna de los movimientos sociales críticos: por el contrario, se trata de *asumir responsabilidades*. ¡Desarrollo sostenible no puede ser exportación de insostenibilidad!

³⁸ José Manuel Naredo y Antonio Valero (dirs.), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Fund. Argentaria/ Visor, Madrid 1999, p. 22.

“En las sociedades post-industriales están cambiando las formas de presionar sobre el medio ambiente, pasando de una contaminación visualmente perceptible, asociada a la industria, a un deterioro ambiental basado principalmente en el modelo de consumo,” leemos en un importante documento oficial del Gobierno Vasco³⁹. La cita sintetiza bien el autoengaño dentro del cual nos movemos. ¿No es cierto más bien que la “contaminación visualmente perceptible”, lejos de desaparecer, simplemente se ha exportado a otros lugares gracias a los mecanismos externalizadores de la “globalización”? La sociedad “postindustrial”, ¿no se limita a aplicar aquello de “ojos que no ven, corazón que no siente? Para que algunos podamos solazarnos en la ilusión de ser “postindustriales”, ¿no hay otros, en otros lugares, trabajando en condiciones industrial-esclavistas, y padeciendo las peores formas de injusticia social y deterioro ecológico?

De forma general, no resulta conveniente hablar de “desmaterialización” en lugar de *ecoficiencia* (objetivo del “factor 10”). *La ecoeficiencia es necesaria, pero no suficiente*: es un error esperar de las estrategias de ecoeficiencia algo más que un alivio temporal a nuestros problemas.

FACTOR 10: LA REDUCCIÓN DEL ESPACIO AMBIENTAL DE LOS RICOS

- El investigador alemán Friedrich Schmidt-Bleek, que en 1994 desarrolló el concepto de **mochila ecológica**, estima que para mantenernos dentro de los límites de la biosfera con un desarrollo sostenible y equitativo tanto del Norte como del Sur, las sociedades industriales necesitan **“desmaterializarse” (mejorar su ecoeficiencia) en un factor 10**.
- Eso quiere decir: obtener un nivel equivalente de bienes y servicios con un consumo de energía y materiales diez veces menor. O lo que es lo mismo: **mejorar la productividad de los materiales y la energía diez veces**. Si los países del Norte hacen esto y estabilizan su propio crecimiento, liberarán espacio ambiental suficiente para el desarrollo sostenible del Sur.
- Para hacer avanzar esta idea, en 1994 Schmidt-Bleek fundó el **“Club Factor 10”**, formado por científicos y ambientalistas (Declaración de Carnoules de octubre de 1994). Tres años después, en 1997, el Club emitió (también desde Carnoules) una urgente e importante llamamiento dirigido a los líderes del mundo. Puede consultarse en www.agora21.org/carnoules.

Al fin y al cabo, desde los orígenes de la Revolución Industrial hasta nuestros días la eficiencia en el uso del “factor naturaleza” (i.e., la cantidad de energía y materiales empleada por unidad de producto) no

³⁹ Gobierno Vasco: *Programa Marco Ambiental de la CAPV (2002-2006)- Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible (2002-2020)*, IHOBE 2002, p. 21.

ha dejado de aumentar, en un factor mucho mayor que diez; pero el consumo absoluto de energía y materiales no por eso ha dejado de crecer. Como escribe Ernest Garcia:

“Según algunos cálculos, la reconciliación (provisional) del crecimiento con la protección de la naturaleza supondría una reducción de la ‘intensidad ambiental’, es decir, del consumo de energía y materiales por unidad de producto hasta un dieciseisavo del nivel actual. Un uso más eficiente de los recursos naturales es ciertamente posible. No es lo que viene sucediendo, pero podría pasar. No, sin embargo, con un margen infinito. La idea de una expansión económica progresivamente inmaterial es un contrasentido.”⁴⁰

Frente a tasas de crecimiento exponencial de la producción no hay “revolución de la eficiencia” que aguante el tirón. No bastan por tanto las soluciones tecnológicas; hacen falta cambios económicos estructurales y profundos cambios de valores. Es decir, *suficiencia* y *justicia* además de eficiencia.

Una lista abierta de principios básicos para el desarrollo sostenible

Por otra parte, no cabe dudar que la eficiencia es un valor económico general, de manera que, a igualdad de las demás circunstancias, un sistema eficiente siempre será preferible a uno ineficiente. Y también parece claro que los actuales e insostenibles sistemas industriales son escandalosamente ineficientes en términos ecológicos (como deploraba E.F. Schumacher, hace treinta años, en la cita que abre este capítulo).

De hecho, una ventaja de la biomímesis es que, dado que tanto la naturaleza como la tecnología están limitadas por la disponibilidad de la energía y su coste, una estrategia de biomímesis --sobre todo en un mundo de precios altos para la energía-- dará mucho de sí en términos de ecoeficiencia. Los organismos vivos han evolucionado durante millones de años hacia la mayor eficiencia energética: seguramente no es poco lo que se puede aprender de ellos.

Todo lo anterior conduce a *añadir la ecoeficiencia como un principio de desarrollo sostenible adicional (no derivado de la idea de biomímesis)*. Ahí se unirá al principio de justicia ambiental “no llenarlo todo”, y a otros que han de añadirse a esta lista abierta (en su apartado (b)).

⁴⁰ Ernest García, *El trampolín fáustico*, Tilde, Valencia 1999, p. 41.

**RESUMEN: LISTA ABIERTA DE PRINCIPIOS BÁSICOS
DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

(a) DERIVADOS DE LA BIOMÍMESIS
1. VIVIR DEL SOL como fuente energética 2. CERRAR LOS CICLOS de materiales 3. NO TRANSPORTAR DEMASIADO LEJOS los materiales 4. EVITAR LOS XENOBIÓTICOS como COP (contaminantes orgánicos persistentes), OMG (organismos transgénicos)... 5. RESPETAR LA DIVERSIDAD
(b) CON OTRO ORIGEN
· NO LLENARLO TODO, dejando suficiente espacio ambiental para los demás · AUMENTAR SISTEMÁTICAMENTE LA ECOEFICIENCIA, obteniendo mayor bienestar humano con menores insumos de energía y materiales · ...

Sobre equilibrios desequilibrados

Un aspecto a mi juicio importante de la noción de biomímesis es que permite –o facilita al menos– disipar un generalizado equívoco en torno a otro concepto importante para la ecologización de la sociedad: el de *economía de estado estacionario* (*steady-state economics*), introducido ya por los economistas clásicos (como Ricardo o Mills) y que elaboró hace algunos años Herman E. Daly. También cabría verterlo al castellano por “economía en equilibrio”.

En efecto, lastra a la idea de una economía en estado estacionario la connotación de estancamiento, de detención de la mejora humana. Pero si pensamos en ello desde la noción de biomímesis, el equívoco se desvanece: se trata de un “estado estacionario” –referido a los ciclos de materia y los flujos de energía a través del sistema económico— *como el de la biosfera*, es decir, caracterizado por la dinámica evolutiva, el surgimiento continuo de lo nuevo, y la diversidad inacabable que enriquece la experiencia. Todo lo contrario del estancamiento, por tanto: una sucesión de “cuasi-equilibrios” permanentemente en movimiento, a la que también podemos considerar un tipo de equilibrio –quizá un “equilibrio metaestable”. Vale la pena profundizar un momento en esta reflexión.

La crisis ecológica nos hace pensar en *desequilibrios*: desequilibrios energéticos, territoriales, en los flujos de materiales... Por otro lado, se

ha de reconocer que, como escribe el sociólogo ambiental Graham Woodgate, “debemos aceptar que nunca alcanzaremos la sostenibilidad, porque no es un estado sino un proceso: nunca alcanzaremos una posición de equilibrio que se pueda mantener indefinidamente.”⁴¹ ¿Y entonces?

Una imagen para visualizar la sostenibilidad: el equilibrista sobre el sendero escarpado o la cuerda floja. *Equilibrio dinámico*: el funámbulo ha de avanzar para mantenerse en equilibrio. Los equilibrios posibles para nosotros no son estáticos ni cómodos, no cabe *dar nada por sentado* (¡hermosa imagen, si pensamos la expresión en su literalidad!).

Se intuye la necesidad de (re)construir una red de seguridad por debajo del equilibrista. La expansión en el desarrollo de las capacidades humanas ha de ir de consuno con una potente autolimitación en el metabolismo entre las sociedades humanas y la naturaleza. A ese punto de equilibrio podemos llamarlo desarrollo sostenible. ¿Pero qué equilibrio?

Recordemos que, para el físico y premio Nobel Ilya Prigogine, los sistemas vivos, y la biosfera en su conjunto, son “sistemas apartados del equilibrio” que tienen eficientes “estructuras disipativas” para extraer el desorden. En términos termodinámicos, *equilibrio es muerte*. Por otro lado, al menos desde la publicación de aquel potente libro del ecólogo Daniel Botkin, *Armonías discordantes*, no podemos seguir empleando la expresión “equilibrio ecológico” con ingenuidad... Como escribió Ramón Folch, *equilibrio ecológico* es una “figura poética para evocar la interacción sistémica que se establece entre los componentes de un ecosistema. Es una metáfora sacralizada por los amantes de las simplificaciones y los fundamentalismos. A lo mejor, ni siquiera existe.”⁴²

Habrà quizá que pensar en un *metaequilibrio*, una proporción o razón de nuestros vitales desequilibrios. Una idea esencial en este contexto es la de *dejar margen para la incertidumbre*. Escribió Nicholas Georgescu-Roegen en 1972: “...quien crea que puede diseñar un plan para la salvación ecológica de la especie humana no comprende la naturaleza de

⁴¹ Graham Woodgate en *Sociología del medio ambiente* (coord. por Woodgate y Michael Redclift), McGraw-Hill, Madrid 2002, p. xxx.

⁴² Folch, *Diccionario de socioecología*, Planeta, Barcelona 1999, p. 135.

la evolución, y ni siquiera la de la historia, que es la de una lucha permanente bajo formas siempre nuevas, no la de un proceso físico-químico predecible y controlable como los de cocer un huevo o enviar un cohete a la Luna.”⁴³ En este mismo sentido, Ramón Margalef: “...es como si la naturaleza se reservara siempre el derecho de introducir cosas absolutamente imprevisibles y capaces de trastocar nuestros esquemas. Hay que aceptarlo así y no se le pueden dar más vueltas.”⁴⁴

Hay que *dejar margen para la contingencia y la incertidumbre*, porque podemos intentar orientar la evolución de sistemas complejos, pero nunca vamos a tener certeza sobre los resultados. Esto quiere decir, por ejemplo, que si el *maximum sustainable yield* de un caladero determinado son 10.000 toneladas de una determinada especie de pez al año, será prudente limitar las capturas a 5.000 toneladas; y que los bancos de germoplasma no son una buena alternativa a la conservación de variedades vegetales (silvestres y domesticadas) *in situ*.

Una reflexión final

Nuestro mundo está lleno. Como cuando uno duerme con su pareja en una cama estrecha (y quizá incluso con un perrito a los pies y un par de gatos en la cabecera: habrá que encontrar la forma de acomodarse todos. El codo no puede hincarse en la espalda del otro o la otra, las piernas han de entrecruzarse razonablemente, hay que evitar las patadas a los animales: formas y espacio deben acoplarse respetando algo semejante a la armonía. Así, los sistemas humanos en el lecho —hoy achicado y ensuciado, pero cuán cálido y apetecible— de la biosfera.

⁴³ Citado en Ernest García, *El trampolín fáustico*, Tilde, Valencia 1999, p. 5.

⁴⁴ Citado en García, *El trampolín fáustico*, op. cit., p. 25.