

La emergencia de la economía biomimética

Roberto Bermejo

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV / EHU)

En este texto describo de forma sintética las transformaciones sistémicas (y absolutamente imprescindibles) derivadas de aplicar el enfoque biomimético a la economía (una nueva estrategia centrada en la aplicación de los principios funcionales de los ecosistemas y de la vida mediante parámetros fractales). También, realizo un análisis de las iniciativas biomiméticas emergentes, en la medida en que empiezan a crear economías comunales y sostenibles en muchas partes del mundo y que se presentan como la alternativa a la economía y civilización capitalistas.

Los fisiócratas (que crearon la primera escuela económica) defendían un modelo económico sostenible, pero su enfoque fue rechazado por la mayoría de los economistas clásicos. A pesar de ello, en el siglo XX empezó un goteo de autores que veían con creciente nitidez la necesidad de que la economía se inspirara en la ecología. Marshall (reconocido como el sintetizador del discurso económico neoclásico) considera que la ecología es la ciencia que presenta el paradigma más apropiado para la economía (Carpintero, 2006, p. 217). En la segunda mitad del siglo pasado, Georgescu-Roegen (bioeconomía), K. Boulding (economía de nave espacial), H. Daly (economía del estado estacionario), E. F. Schumacher (descentralización y sostenibilidad) y otros pusieron las bases de la economía sostenible (Carpintero, 2006, p. 213; UNEP, 2015, p. 9). Hoy en día, muchos economistas interpretan el sistema económico humano como un subsistema del de la biosfera. H. Daly (2015, p. 8) afirma que “nuestra visión y políticas deberían basarse en un enfoque integrado de la economía como un subsistema de la ecosfera, que es finita y no crece”. T. Jackson & P. A. Victor declaran que “las economías son subsistemas de la biosfera, mediatizadas por los valores e instituciones de las sociedades” (2016, p. 4). R. Costanza y un elevado número de autores esperan que en el futuro un paradigma “inspirado en la naturaleza como mentora (holística, integrada y flexible)” reemplace “la visión de la mecánica newtoniana”, adoptada por los neoclásicos (Costanza *et al.*, 2012, p. 19). Esta economía se basa en “la aceptación de la profunda interdependencia de los humanos con el resto de la naturaleza” (Costanza *et al.*, 2013, p. 6).

Principios funcionales de los ecosistemas

La vida se organiza en ecosistemas que contienen partes biológicas (bióticas) y no biológicas (abióticas), además de poseer límites espaciales. Para S. E. Jorgensen *et al.*, “los ecosistemas son unidades de estudio conceptuales y funcionales formadas por comunidades ecológicas con su ambiente abiótico” (2008, p. 80). Los ecosistemas constituyen la unidad más pequeña con capacidad para auto-mantenerse (Abel & Stepp, 2003, p. 3). Un ecosistema es una unidad funcional que comprende una comunidad ecológica y su entorno, e interactúa con el ambiente abiótico obteniendo sobre todo energía, agua y nutrientes, además de espacio físico en el que asienta (Jorgensen *et al.*, 2008, pp. 79-82).

Al formar parte los seres humanos de la naturaleza, la sostenibilidad de nuestra economía está determinada por el cumplimiento de los principios funcionales de los ecosistemas. En ecología se suele considerar como punto de partida los 24 principios definidos por E. P. Odum. Y, aunque los ecólogos elijen grupos variables de principios, ello no supone desacuerdo, sino preferencias personales al describir de forma sintética cómo funcionan los ecosistemas, puesto que constituyen realidades muy complejas. Pero normalmente se sintetizan en un margen de 6 a 10 principios. En las siguientes páginas presento 9 principios porque considero que son los que permiten un mejor contraste entre los ecosistemas y el sistema económico actual (Nielsen & Muller, 2009).

Complejidad. Un sistema no es complejo porque tenga muchos elementos, sino por las fuertes interacciones no lineales entre ellos. Existe la auto-organización, las partes son interdependientes, se encuentran lejos del equilibrio, etc. (WEF, 2013: 7). Esa es la diferencia entre un sistema complejo y complicado. Según R. 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”. Además, el sistema tiene la capacidad de auto-organizarse y generar emergencia: la aparición de propiedades nuevas en una estructura organizada o sistema, concretamente en los niveles más altos de la estructura como consecuencia de determinadas relaciones e interacciones producidas en el nuevo ensamblaje de los componentes menores. Y las propiedades nuevas no existen en los componentes. De ahí la validez de la afirmación de que el todo es más que la suma de las partes: “El comportamiento emergente de la totalidad no puede ser deducido del de los agentes individuales del sistema: la totalidad es más que la suma de las partes” (WEF, 2013, pp. 3-4).

La manifestación más importante de la emergencia es la aparición de la vida, pese a que no está claro cómo algo material puede dar lugar a la vida y a la aparición de la inteligencia en los niveles superiores. La emergencia no sólo aparece a escala de las personas sino que también se manifiesta, por ejemplo, en colonias de insectos. Generalmente, se acepta que la emergencia es un fenómeno de abajo a arriba, por lo que genera causalidad hacia arriba (Capra & Luisi, 2014, pp. 144-157).

La cantidad de compartimentos de los sistemas naturales es algo mayor que la de la economía capitalista. No obstante, los flujos naturales sólo constituyen una minoría de todos los posibles, mientras que los flujos de la economía mundial se acercan al 100% del potencial. Además, hay que indicar que, a medida que avanza la globalización aumentan los flujos internacionales, lo que refuerza la complejidad. Y, como la mayor parte de los ecosistemas son extremadamente complejos, sus comportamientos son, a su vez, muy difíciles de prever. Sin embargo, los sistemas socioeconómicos (SSE) son mucho más complejos debido a que los primeros (los ecosistemas) se rigen por variables objetivas (físico-químicas), mientras que los sistemas socioeconómicos (SSE) por variables subjetivas (Nielsen & Muller, 2009, p. 1916; WEF, 2013, p. 7; Matutinovic, 2008, p. 202). Pero son poco flexibles por el dominio del pensamiento lineal (sobre todo, en el caso de los gobernantes), lo que se traduce en la presunción de que, analizando las partes de un sistema, podemos conocer su funcionamiento. No se tiene en cuenta, por lo tanto, los procesos de retroalimentación entre las partes, ni el fenómeno de la emergencia. Estos procesos pueden ser positivos o negativos, pero son más frecuentes los negativos (expresados en crisis económicas, impactos de huracanes o terremotos y fenómenos políticos como la primavera árabe o la emergencia de gobiernos populistas). Así que estamos en un mundo hiperconectado donde las sociedades no están preparadas para hacer frente al fenómeno de la emergencia, ya que ostentan un nivel muy bajo de resiliencia (WEF, 2013, pp. 4-6).

Apertura y disipación. La comunidad biótica está interactuando continuamente con el medio abiótico adquiriendo energía, nutrientes, agua (mediante la lluvia) y espacio físico. Al mismo tiempo, la comunidad biótica emite al medio abiótico activa y pasivamente esos elementos mediante la evaporación y transpiración (agua y energía), excreciones y biomasa muerta (Jorgensen *et al*, 2008, p. 81). Además, un ecosistema recibe pequeñas cantidades de materia. Los bosques de zonas templadas pierden nutrientes al ser arrastrados por la lluvia (principalmente en invierno), pero también pueden recibir aportaciones de biomasa por emigraciones periódicas de especies (salmones, p. e.) o por integración de nuevas especies. Por último, la biosfera es abierta en energía y prácticamente cerrada en materiales. La única excepción es la aportación de meteoros (Jorgensen, 2008, p. 249; Nielsen

& Muller, 2009, p. 1915). Los ecosistemas captan la energía del sol, la degradan hasta que no tiene capacidad de generar trabajo y la disipan, de tal modo que los nutrientes son reciclados casi al 100%, porque los ciclos de los materiales “son locales y descentralizados”. Por el contrario, la economía capitalista se creó con base en el uso de combustibles fósiles y aún hoy tienen una cuota del 80% de la energía. Tengamos en cuenta que el metabolismo de materiales abióticos a escala mundial es básicamente lineal. Con todo, resulta positivo el desarrollo rápido de las energías renovables y del hidrógeno como combustible y almacenador de energía (Nielsen & Muller, 2009, p. 1920).

Diversidad. La diversidad “debe ser interpretada como la existencia de diversos y viables modelos de auto-organización con distintos subsistemas de conocimiento coordinados” (Schütz, 1999, p. 25). La naturaleza ha venido incrementando su diversidad a lo largo de unos 3.500 millones de años, a pesar de las cinco grandes extinciones que ha sufrido debido a factores exógenos. Los ecosistemas tienden a formar nuevos sistemas sobre los existentes, “añadiendo nuevos organismos sobre los ya existentes” y generando, así, “una evolución hacia un sistema de alta diversidad” (Nielsen & Muller, 2009, p. 1917). En ese sentido, la diversidad es esencial en el proceso de llenado de los nichos y en desarrollar sistemas saludables (Goerner, 2013, p. 412). Así que existe una tendencia general en la naturaleza a aumentar la “heterogeneidad y todas las dimensiones espaciales son explotadas ampliamente para hacerlo” (Nielsen & Muller, 2009, p. 1922). Por el contrario, “la globalización significa homogeneización” del mundo (Waltz, 1999, p. 694). Las grandes corporaciones imponen sus productos y servicios a la población, destruyendo la diversidad y las economías locales y regionales al especializarlas e integrarlas “en una estructura mundial”. Esta circunstancia reduce la diversidad y el sistema se vuelve frágil (Laszlo, 2013, p. 62-63). Así que “los dos tipos de sistemas (el natural y los SSE) tienden a moverse en direcciones opuestas” (Nielsen, 2007, p. 15).

Conectividad. La conectividad determina que “todo está conectado con todo”, así que un impacto directo sobre un componente del ecosistema tendrá un efecto indirecto en cualquier parte (Nielsen, 2007, p. 7). Un sistema puede estar representado por redes de nodos (vértice, compartimentos, componentes, etc.) y por las conexiones que se producen entre ellos. Un ecosistema puede tener millones de compartimentos, aunque el número de ellos cambia durante el ciclo adaptativo. Las redes comprenden un conjunto de agentes que se interrelacionan, dando lugar a una estructura reticular específica. La conectividad de un sistema se mide por los flujos en cada nodo. En esta estructura cada organismo funciona en escalas espaciales y temporales diferentes. La cadena trófica comprende las interconexiones

principales en la estructura de un ecosistema y constituye la base de la conectividad. Los compartimentos están conectados por numerosas sendas, pero ellas se dan en un número mucho más reducido a las que potencialmente se pueden dar: un 20-40% de todas las conexiones posibles. Las conexiones (flujos) pueden ser directas o indirectas, pero las primeras tienden a ser dominantes (Nielsen, 2007, pp. 9-10; Zorach & Ulanowicz, 2003, p. 69).

Una conectividad alta indica que el sistema se auto-controla y una baja supone que el sistema está a merced de agentes exteriores. Pero, al crecer la cantidad y fortaleza de las conexiones, se puede traspasar un umbral que lo convierte en rígido y por ello vulnerable. Eso es lo que le acontece con el sistema económico capitalista porque está “hiperconectado” (WEF, 2014). E. Laszlo coincide con esta conclusión, al afirmar que el sistema mundial está excesivamente integrado y poco diferenciado, es decir, “sobre-conectado”. Esto nos lleva a la conclusión de que debe ser restablecido el equilibrio entre integración y diversificación (2013, p. 62).

Jerarquía. La jerarquía de la naturaleza se caracteriza por ser auto-organizada, embebida e incluyente. Cada especie realiza una función, pero hay funciones más importantes que otras, lo que determina las jerarquías. Cuando el ecosistema es maduro y estable predomina la jerarquía escalar. Sin embargo, en caso de colapso, las especies colonizadoras realizan una función indispensable en pos de la recuperación. Y no olvidemos tampoco que las plantas, al captar energía, realizan también una función imprescindible. Así que existen múltiples tipos de jerarquías, por lo que es difícil determinar quién controla a quién (Nielsen, 2011, p. 32). Por ello “los sistemas naturales son gobernados básicamente por las demandas objetivas y los requerimientos de la funcionalidad” (Nielsen & Muller, 2009, p. 1919). La jerarquía en las sociedades humanas actuales no está predeterminada por demandas objetivas, sino por requerimientos subjetivos, predominando la jerarquía de poder y de riqueza. Desde este punto de vista, estos sistemas “representan jerarquías antinaturales” (Raye, 2012). Pero el dominio de la cooperación obliga a sustituir la jerarquía de control y privilegio por múltiples jerarquías de servicio (Costanza *et al.*, 2013, pp. 6-10).

Descentralización-autosuficiencia. R. V. O'Neill *et al.* (1986) definen un ecosistema como la unidad más pequeña que puede persistir en aislamiento con su ambiente abiótico. Odum & Sarmiento (1997, p. 46) lo explican con más detalle: Es el nivel más bajo que “tiene todos los componentes necesarios para funcionar y sobrevivir a largo plazo”. También es la unidad más pequeña capaz de reciclar sus nutrientes. Los ecosistemas maduros constituyen unidades descentralizadas y poseen límites que les diferencian de otros. Esto es debido al cambio de las condiciones ambientales o de la auto-organización 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, constituyendo así un límite natural al crecimiento. Se considera que las escalas son incluyentes, permitiendo la existencia local “de múltiples ontologías” (Nielsen, 2011, p. 45). En los ecosistemas los ciclos de los materiales “son locales y descentralizados” (Nielsen & Muller, 2009, p. 1920).

Por el contrario, la globalización destruye la diversidad y, con ello, los elementos de auto-suficiencia de las economías locales. Esta situación desemboca en una dependencia creciente del sistema económico mundial (Bonaiuti, 2014, p. 8). Pero la satisfacción de las necesidades esenciales y la organización fractal nos obligan a crear economías descentralizadas y con altos grados de auto-suficiencia que, por integración, lleven a generar otras más grandes y similares, hasta ser capaces de alcanzar una escala que permita la autosuficiencia plena. Además de la diversidad de economías, existen otros tipos de diversidades: de aptitudes, formación y experiencia vital, de oportunidades de educación, recreación, de desarrollo de los intereses particulares, de sociedades (con sus culturas, recursos, clima etc.), etc. La diversidad, en última instancia, refuerza las sociedades y les aporta seguridad (Magdoff, 2011, p. 13).

Competencia v. mutualismo. Existen seis tipos de interacciones principales entre dos o más especies y que van de la competencia al mutualismo. La competencia supone que el resultado de la interacción es negativo para, al menos, una de las especies involucradas y se produce por el control de los recursos. En este contexto, son ganadoras las especies que usan los recursos de forma más eficiente, aumentando así la eficiencia sistémica (Jorgensen & Nielsen, 2013, p. 64). Pero la especie perdedora no es eliminada: “La competición nunca resultará en una completa erradicación de una forma específica de vida”. Las especies ultra-sociales (hormigas, termitas, abejas, etc.) ocupan gran parte del territorio de los insectos, obligando a los otros a vivir en espacios más reducidos. Si las especies más débiles se extinguieran, los ecosistemas perderían biodiversidad y aumentaría su vulnerabilidad (Gowdy & Krall, 2014, p. 181). El mutualismo es una relación imprescindible para la supervivencia de las especies involucradas y se manifiesta como una característica sistémica. Las especies que interactúan en una red tienen “una relación sinérgica entre ellos, lo que permite aumentar la eficiencia en el uso de energía y materia e información”. Y estas relaciones mutualistas aparecen también (como es lógico) a escala de los ecosistemas, entre los ecosistemas que forman un paisaje o en la biosfera (Jorgensen & Nielsen, 2013, p. 48). K. A. Peacock afirma que “es posible pensar en los ecosistemas como simbiomas mutualistas” (2011, p. 227). Ello determina “que la naturaleza sea un lugar que favorece la vida” (Jorgensen *et al.*, 2008, p. 95).

En las sociedades se utiliza el término de cooperación, en vez del de mutualismo, a pesar de que éste es el término más adecuado porque la supervivencia de la humanidad está en peligro. Todas las conferencias mundiales sobre desarrollo sostenible y muchas de las cumbres de estados industrializados (G-8, G-20, etc.) han insistido en la necesidad de cooperar para resolver los problemas que aquejan a la humanidad. Sin embargo, la competencia impera en los mercados y en las relaciones entre las potencias: “Para los economistas neoclásicos, los sistemas social y económico se caracterizan por la presencia exclusiva de formas de comportamiento competitivas” (Bonaiuti, 2014, p. 11). Pero “hay algo desesperadamente inmaduro en la competición, lucha y acaparamiento que llega hasta las más altas instancias de las sociedades”. Y, como estamos en una situación de peligro de colapso planetario, “la enemistad es mucho más costosa en todos los aspectos que una colaboración amistosa”, porque reduce los costes de la innovación (Sahtouris, 2014, pp. 3-6).

Auto-organización. E. Odum (1992, 15) afirma que “auto-sustentado y auto-mantenido son las palabras clave que caracterizan el paisaje natural”. Se considera que las escalas son incluyentes, permitiendo la existencia local “de múltiples ontologías” (Nielsen, 2011, p. 45). Los sistemas vivientes se auto-organizan y en su co-evolución con su entorno generan la emergencia de propiedades nuevas, tal como hemos visto en el sub-apartado correspondiente a la complejidad (Capra & Luisi, 2014, p. 144).

Pero hay situaciones en las que los ecosistemas colapsan, aunque normalmente se recuperan mediante un ciclo adaptativo. La teoría que explica este proceso fue diseñada por C.S. Holling a finales del siglo pasado. Explica las fases de reorganización por las que normalmente pasa un ecosistema después de colapsar. Las causas son (en el caso de un bosque) cambios intensos de su entorno (sequía, fuego, plagas, etc.), rigidez (debido a un exceso de conectividad) o una combinación de los dos factores. Se explica a partir de las variaciones del potencial y de la conectividad, tal como muestra el gráfico 1. Potencial significa riqueza (biomasa y diversidad). El ciclo adaptativo consta de cuatro fases. En la primera (liberación), el ecosistema sufre un colapso porque el impacto recibido supera su capacidad de adaptación. Pierde gran parte de la biomasa y puede perder nutrientes e incluso especies (lo que provoca que el potencial y la conectividad sean bajos). La drástica reducción de la población de muchas especies les impide realizar sus funciones. El sistema ha perdido su capacidad de autocontrol al colapsar la jerarquía escalar. La tercera fase (explotación) es un proceso de acumulación. La biomasa crece, pero las especies pioneras van reduciendo sus poblaciones en la medida en que se desarrollan especies de porte mayor y son desplazadas a los espacios de alta insolación. Pero las otras empiezan a aumentar su población y, por ello, comien-

zan a realizar sus funciones. Como consecuencia de ello crece el potencial, la conectividad y el auto-control. Y aumenta el reciclado de nutrientes y la captación de energía (por ello su estructura se refuerza). En la cuarta fase (conservación o maduración) se consolida su control interno y alcanza su máxima eficiencia en el uso de materia y energía. Y la mayor parte de esta se dedica a mantener el sistema (Allen *et al.*, 2014, p. 579; Jorgensen *et al.*, 2008, p. 157).

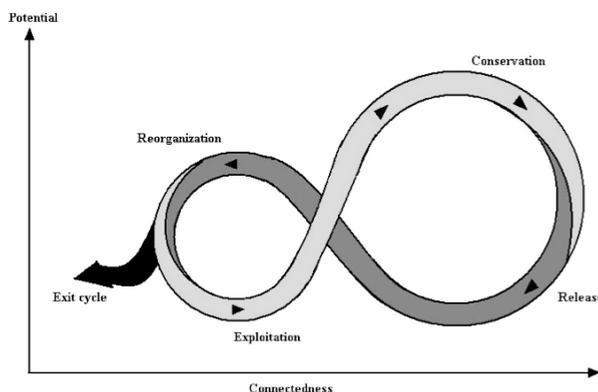


Gráfico 1. Ciclo adaptativo bidimensional.
Fuente: P. Stevaer (2011): www.lean-adaptive.com

Muy por el contrario, la civilización capitalista está en crisis porque, frente a la descentralización auto-organizada, ha creado una economía mundial con base en el libre comercio. Siendo conscientes de ello, las élites político-económicas están intentando superar los problemas existentes (insostenibilidad, rendimientos decrecientes, polarización de rentas, etc.), profundizando en dicha lógica mediante el impulso de lo que vendría a ser una nueva revolución industrial y más mercado-formado por un conjunto de varias tecnologías que supuestamente revertirán la tendencia hacia el estancamiento del crecimiento del PIB- (Schwab, 2016; OECD, 2016).

Evolución. Los ecosistemas “son gobernados por demandas y requerimientos de funcionalidad” y, por ello, evolucionan creando “nuevos sistemas por adición de nuevos organismos a los sistemas existentes” (Nielsen & Muller, 2009, pp. 1916-1917). Así que la dinámica natural genera diversificación e integración de elementos nuevos: “diversificación e integración son esenciales para la persistencia de los sistemas complejos” (Laszlo, 2013, pp. 62-63). 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. Desde esta perspectiva, los diferentes ritmos de actividad de los componentes de un ecosistema actúan como un mecanismo equilibrador. Tengamos en cuenta que

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 suelen ser los más rápidos; los de los animales de tamaño medio son intermedios; y la generación y regeneración del suelo y de los acuíferos pueden ser de cientos y miles de años. Por último, en la naturaleza nada crece de forma ilimitada. Desde los organismos a los biomas y paisajes, se manifiesta una tendencia al equilibrio, porque los mecanismos que impulsan el crecimiento se ven compensados por los que lo restringen, tal y como muestra la gráfica primera (Allen *et al.*, 2014, pp. 579-580).

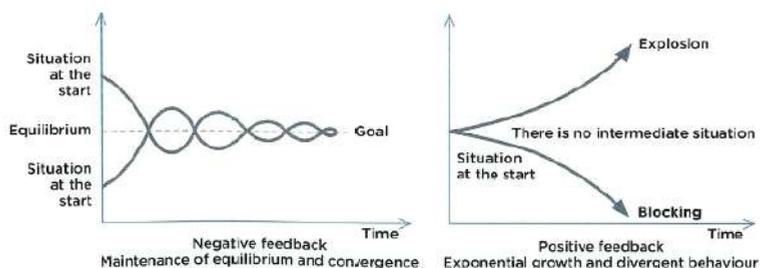


Gráfico 2. Retroalimentaciones positivas y negativas de los sistemas.

Fuente: K. Webster, 2015: 77.

Por el contrario, la economía capitalista necesita un crecimiento fuerte y persistente (al estar guiada por el criterio subjetivo de la maximización del beneficio), por lo que las retro-alimentaciones que se producen resultan positivas. Pero, tal como indica el gráfico dos, tal tendencia lleva inexorablemente a la explosión, esto es, un colapso en el que imperan las retroalimentaciones negativas generalizadas (Bonaiuti, 2014, p. 28). Así que es necesario “alcanzar los valores óptimos de las variables del sistema” (Capra & Luisi, 2015, p. 356).

Elementos de la construcción de la vida y del universo

La ciencia de dinámicas no lineales ha avanzado tanto que hoy permite evaluar la salud de un sistema en base a dos pilares: “1) La vasta complejidad del mundo está llena de modelos recurrentes y formas de organización sutiles; 2) y hoy las habilidades informáticas y la expansión de los conocimientos sobre los principios de energía nos permiten entender cómo tal ‘complejidad organizada’ funciona en los sistemas humanos y en los ecosistemas”. Las redes de flujos obedecen a

modelos matemáticos precisos y, por ello, la salud de las redes puede ser evaluada mediante la cuantificación de unos pocos factores: cantidad y variedad de los flujos y el equilibrio entre relaciones positivas y negativas (Goerner *et al.*, 2013, pp. 3-4). En este apartado explico el diseño y la organización fractal, el equilibrio de dimensiones y proporciones, los flujos de retroalimentación auto-catalíticos, los procesos de diferenciación e integración. Con todos estos elementos la naturaleza crea ecosistemas sanos.

Diseño módulos y sistemas fractales

Los medios bióticos y abióticos están llenos de modelos y formas sutiles de organización: los fractales. Son diseños universales y matemáticamente precisos que existen en la Tierra (ya sea en el medio biótico, en el abiótico o en los cristales) y en el Cosmos (por ejemplo: en la forma de las galaxias). La multiplicación e integración de módulos fractales da lugar a sistemas fractales. Son complejos, no lineales e interactivos, y tienen la habilidad de adaptarse a entornos cambiantes (www.fractal.org). La palabra fractal viene de la palabra latina *fractus*, que significa fragmentación, porque un sistema fractal se puede descomponer en unidades fractales básicas e iguales entre sí. El término fue acuñado por el matemático B. Mandelbrot en la década de los 70 del siglo pasado para describir figuras no existentes en la geometría euclidiana (Goerner, 2014, pp. 3-5). El propósito de un sistema fractal “es optimizar los flujos de energía e información para el beneficio mutuo de los actores del sistema como un todo”. Pero los sistemas fractales deben cumplir varios requisitos: tener una densidad y variedad suficiente de nodos en todas las escalas (coherencia fractal); tener cada nodo múltiples vías de conexión alternativas con otros nodos y tener enlaces largos y cortos (conectividad fractal). Estas premisas determinan indicadores con los que se pueden medir la salud de los sistemas fractales (Dyck, 2006b, pp. 39-40).

Todo lo que vemos en la biosfera tiene diseños fractales, “incluyendo árboles, plantas, animales e insectos; formaciones geográficas como montañas, cañones o costas; y formaciones de nubes, ciclones, olas, remolinos y tornados” (Raye, 2014, pp. 51-58). Otros ejemplos (que se muestran en el gráfico 3) son, por ejemplo, el diseño de conchas (como la del caracol *Nautilus*), cuya forma se repite en elementos tan diversos como los cuernos del macho cabrío o la propia configuración de las galaxias; por otro lado, cabe señalar que los rayos, los árboles (tanto las ramas como las raíces), los deltas de los ríos y los sistemas circulatorios de los pulmones, del cerebro y, en general, el de todo el cuerpo obedecen al mismo tipo de diseño fractal. Los fractales obedecen a ratios precisos que se cumplen en todas las dimensiones. Su repetición es debida a que contribuyen a la salud y robustez de los organismos, redes y sistemas, y por ello son seleccionadas en la naturaleza y en el

universo. Si, por ejemplo, una rama no se desdoblara en tres más pequeñas, los flujos se verían obstaculizados. La semejanza de los diseños fractales en todas las escalas facilita los flujos de energía, materia e información entre ellas. En la Grecia Antigua se conocían algunos de estos diseños y los denominaron “geometrías sagradas” (Dyck, 2006, p. 1038; Goerner, 2013, p. 406; 2014, pp. 3-5). La ciencia integral y la teoría Gaia “nos dicen que todo está integrado en la biosfera y que todas las partes están integradas fractalmente” (Dyck, 2006a, p. 1038).

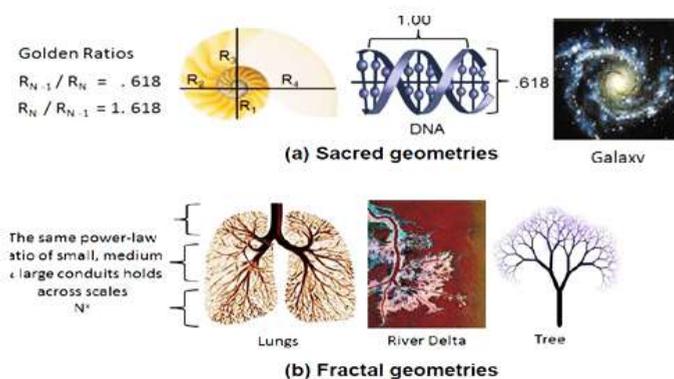


Gráfico 3. Geometrías fractales
Fuente: Adaptación de S. Goerner *et al.* (2014: 5)

Se ha llegado a la conclusión de que el algoritmo 4x3 se repite en todas escalas y ámbitos del universo: en el núcleo de un átomo, en el núcleo de una célula, en las galaxias, etc. Por otro lado, el número de personas y de otros mamíferos que forman la agrupación básica se multiplica por un *ratio* que varía entre 3 y 4. Y este *ratio* se repite en la creación de grupos más numerosos (Hill *et al.*, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior, B. Fuchs *et al.* (2014) analizaron las conexiones en Internet durante un juego en el que participaron 400.000 personas y llegaron a la conclusión de que el ratio escalar de agrupación era de 4.3-4.4.

Dimensiones equilibradas

En la naturaleza nada crece de forma ilimitada. Los individuos de cualquier especie alcanzan unos tamaños adecuados para garantizar la máxima capacidad de sobrevivir y reducir drásticamente cualquier desviación (por arriba o por abajo) respecto a la norma. Esto lo demostró el biólogo y genetista J. B. S. Haldane (1926), analizando las consecuencias de aumentar el tamaño de elementos de múltiples tipos de especies. Aunque los ecólogos apenas han tratado el tema de la escala, sí lo han hecho autores de campos tan diversos como I. Illich, E. F. Schumacher o

G. Batenson (Bonaiuti, 2014, p. 9). En la naturaleza las cantidades de individuos de especies grandes, medias y pequeñas están equilibradas, lo que asegura una circulación óptima de flujos entre las mismas. Por ejemplo, en un ecosistema marino se mantienen de forma equilibrada las poblaciones de tiburones, delfines o focas con las poblaciones de peces que constituyen sus alimentos. Y estos peces, a su vez, mantienen un equilibrio poblacional con peces menores, algas, etc. Ello es debido a la existencia de un equilibrio entre lazos de retro-alimentación positivos y negativos. Así que la salud de un sistema descansa en un equilibrio entre lo grande y lo pequeño y entre lo global y lo local. Pero veremos más adelante que el equilibrio se debe dar también entre flexibilidad y rigidez (regulación y desregulación), diversidad y unidad, resiliencia y maximización de la producción (Goerner *et al.*, 2014, pp. 17-18).

Flujos auto-catalíticos: soportan un metabolismo sostenible

Para I. Matutinovic la auto-catálisis es “cualquier concatenación cíclica de procesos en la que cada miembro tiene la propensión a acelerar la actividad del lazo siguiente”, pero los ecosistemas “llevan siempre a un estado estacionario en su madurez” (2008, pp. 200-201). Una forma sintética de describir un metabolismo sano de un sistema es aquel “que encuentra, procesa y hace circular los recursos y energía necesaria para alimentar todas sus partes y así mantener su existencia” (Goerner *et al.*, 2014, p. 10). La naturaleza logra que un sistema permanezca en el tiempo mediante la creación de procesos de retroalimentación auto-catalíticos que canalizan energía, materiales e información para la construcción y mantenimiento de las capacidades de un sistema. O, dicho de otra forma, los flujos auto-catalíticos mantienen la salud metabólica y sostenibilidad de un sistema. Hemos visto cómo el diseño fractal permite que los flujos accedan con rapidez incluso a las zonas más periféricas y pequeñas de un sistema. Los flujos auto-catalíticos no sólo se producen a nivel de ecosistemas, sino que también en la biosfera (CO₂, O₂, N₂, NO₃) (Lietaer *et al.*, 2010, p. 5; Goerner, 2013, p. 410).

Diferenciación e integración

Los fractales constituyen los módulos primarios con los que, por replicación, agrupación, especialización e integración a través de las escalas, la naturaleza se construye así misma. El gráfico 4 muestra el ejemplo del proceso de creación del cerebro humano a partir de una célula. El cuerpo humano tiene unos cincuenta billones de células de estructura muy similar que forman, por agregación, todas sus partes constitutivas. Por eso todos los humanos somos similares. Este modelo de creación es seleccionado porque se permite crear sistemas complejos eficien-

tes y resilientes (Goerner *et al.*, 2014, pp. 13-18). Pero cuando las diferentes especies se integran en un ecosistema, aparece una diferenciación acusada entre ellas debido a su gran diversidad. Y esta diferenciación es necesaria porque cada especie realiza una función en el sistema. Por ello las unidades integradas son capaces de crear una circulación ágil de energías, recursos e información, capaz de nutrir adecuadamente a las unidades y agrupaciones fractales: “La vitalidad auto-sostenida descansa en canalizar tantos flujos como sea posible para la nutrición de las capacidades locales, construyendo circuitos sinérgicos y aumentando la circulación local”. De este modo, la naturaleza tiene capacidad para “mantener circulación, diversidad, innovación y resiliencia” (Goerner *et al.*, 2014, pp. 13-17; Laszlo, 2013, p. 62).

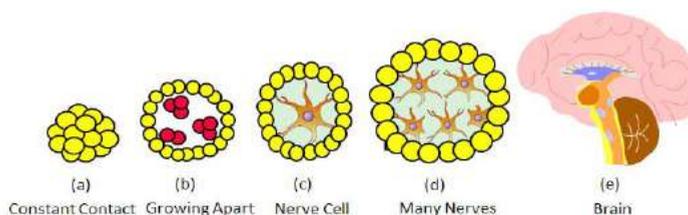


Gráfico 4. Creación del cerebro humano a partir de una célula embrionaria
Fuente: S. Goerner, 2013: 428

La necesidad de aclarar conceptos que son tomados de la ecología

En los últimos tiempos, cada vez se extrapolan más conceptos de la ecología a la realidad humana. Lo cual genera una gran confusión porque las sociedades humanas se comportan de forma diferente a los ecosistemas. Además, el poder político-económico modifica el sentido de los conceptos para eliminar el potencial transformador. Todo ello provoca que no haya un consenso sobre el significado de conceptos.

Ecosistema versus sistema y medio ambiente

Últimamente está de moda en las instituciones de gobierno y, en general, en la literatura científica llamar ecosistemas a sistemas creados por los humanos, a pesar de que son infinitamente más simples que los naturales y no se rigen por los principios funcionales de los mismos. El Consejo Europeo afirma que uno de los objetivos de la Presidencia de Luxemburgo es impulsar la economía social y enfatiza la importancia de crear en Europa un amplio “ecosistema” de economía social (EC, 2015, p. 5). La Comunicación *Online Platforms and the Digital Single Market* de Comisión Europea habla de “ecosistemas de plataformas digitales” (EC, 2016,

p. 8). También, lo hace la mayoría de los teóricos de la economía comunitaria. T. Scholz (2016, p. 14) reflexiona sobre “el ecosistema cooperativo”. D. Bollier y P. Conaty (2014, p. 15) citan la afirmación de M. Bauwens de que una de las tres prioridades básicas de la *P2P Foundation* es “crear un ecosistema de producción alternativo”. Este autor y otros plantean la necesidad de impulsar un “ecosistema nuevo de creación de valor” (Bauwens *et al.*, 2017, p. 16). Y J. Restakis (2014, p. 13) explica que su visión holística de lo que denomina una economía social “puede ser llamada un ‘ecosistema’ de soporte institucional análogo al ecosistema existente de instituciones capitalistas”.

El término de medio ambiente también está siendo objeto de un uso generalizado en cualquier realidad y, en especial, en la literatura sobre la revolución digital en marcha. El término habitual se refiere a aquella parte de la naturaleza que rodea los enclaves en los que se asientan las sociedades humanas, especialmente las ciudades. Pero la CE afirma que la actualización de las normas sobre servicios de medios audiovisuales creará un medio ambiente más justo dentro de su estrategia *A Digital Single Market Strategy for Europe*, lanzada en 2015 (EC, 2015, COM(2015), p. 192). También, utilizan el término diversos estudios del IERC (*European Research Cluster of Internet of Things*) (Vermesan *et al.*, 2016, p. 16; Friess & Riemenschneider, 2016, p. 9) o del Foro Económico Mundial (Drake *et al.*, 2016, p. 11).

El concepto de resiliencia y su relación con la sostenibilidad

Hemos visto que sostenibilidad significa imitar a la naturaleza. Hay opiniones divergentes en ecología sobre el significado del concepto de resiliencia que puede afectar al de sostenibilidad. La corriente de pensamiento sobre ecología agrupada en torno a la *Resilience Alliance* (liderado por H.C. Holling) considera que la resiliencia es un concepto linealmente positivo: cuanto más resiliente es un sistema más capaz es de mantener su identidad y funciones. La resiliencia está determinada por dos factores: potencial y conectividad. El potencial es proporcional por la cantidad de biomasa y de especies. Es considerado linealmente positivo, porque muchos ecólogos entienden que cuando más grande sea mayor será su contribución a la resiliencia. La conectividad está determinada por el nivel de conexiones que se producen en un sistema. Pero esa interpretación de resiliencia como fenómeno lineal es inconsistente, porque los dos elementos que la determinan no lo son. La razón es que si el potencial crece excesivamente, la biodiversidad también lo hace y la abundancia de conexiones provoca que la conectividad sobrepase la ventana de viabilidad y determinen una resiliencia excesiva. El sistema se vuelve rígido y por ello vulnerable (Goerner *et al.*, 2009, p. 78).

El ecólogo teórico R.E. Ulanowicz lidera este enfoque y defiende, junto con

sus colaboradores, que la sostenibilidad está definida por la resiliencia y otros conceptos diversos equivalentes a la idea de producción. El gráfico 5 muestra que cuando la producción es máxima la resiliencia es nula y el sistema es muy vulnerable. Y cuando la resiliencia es alta la producción baja, por lo que el sistema tiene poca vitalidad. El equilibrio se encuentra donde la sostenibilidad es máxima: en la “ventana” de vitalidad / viabilidad. A. Pandit & J. C. Crittenden (2015) están de acuerdo con los anteriores al afirmar que la resiliencia es un “atributo de la sostenibilidad”.



Gráfico 5. Sostenibilidad como función de la conectividad y la resiliencia
Fuente: S. Goerner *et al.*, 2009, p. 78.

Las visiones discordantes suponen un obstáculo adicional a la tarea siempre difícil de traslación de un concepto de un tipo de sistemas a otros. Las dificultades habituales son debidas a cuatro factores: una traslación literal de conceptos, cuando los ecosistemas son sostenibles y las sociedades no; la aparición de numerosos conceptos semejantes o cuasi-semejantes a resiliencia, como robustez o gestión adaptativa, que enmaraña más aún el significado conceptual; o, como hemos visto, la política de los centros de poder tendente a vaciar los conceptos de contenido transformador. Todo ello lleva naturalmente a una gran variedad de definiciones y medidas del concepto (Goerner *et al.*, 2014, p. 2).

El hecho de que las sociedades no sean sostenibles cambia el contexto de traslación conceptual, porque no sólo se trata de hacer frente a los impactos exteriores, sino también de transformarlos. Además, conlleva que la resiliencia pueda ser positiva o negativa según el contexto. Algunas civilizaciones han sido muy longevas (los imperios egipcio y chino se mantuvieron durante unos 4000 años), pero la muy baja calidad de vida de sus poblaciones pone en cuestión que su resiliencia fuera positiva. Las grandes corporaciones muestran también una longevidad que no tienen las empresas de menor tamaño. Así que, en sentido estricto, su resiliencia es también negativa para las sociedades. En este marasmo conceptual asistimos, por un lado, a un uso creciente del término de resiliencia en detrimento del de sostenibilidad y, por otro lado, a una multitud de definiciones sobre resiliencia no

coherentes.

UNISDR da una definición semejante a la de la ecología: La resiliencia de las sociedades se “caracteriza por su capacidad de hacer frente o absorber el impacto de un riesgo por medio de resistencia o adaptación, lo cual le hace capaz de mantener ciertas funciones básicas y estructuras durante la crisis y recuperarse” (2012, p. 11). Pero no dice que deben transformarse para lograrlo. G. Bristow & A. Healy consideran que es necesario investigar para inferir “las cualidades y atributos de un territorio que lo hacen adaptable y capaz de progresar mediante el cambio” (2014, p. 99). Para otros autores la clave está en el cambio. Resiliencia sería “la habilidad de las regiones (ante los desafíos económicos, tecnológicas y ambientales) de involucrarse en procesos de colaboración para cambiar mediante la planificación y su aplicación, dentro de las limitaciones de los activos regionales” (Wolfe, 2010). Otros autores afirman que la clave está en el propósito de adaptación. En la “variedad, selección, inercia (*path dependence*), auto-organización, así como un propósito de adaptación de los agentes económicos y políticos” de las regiones (Martin, 2012, p. 28). Pero un informe de CSIRO ve la necesidad de una “transformación forzosa” y define “resiliencia general” como “la capacidad de todas las partes de un sistema de hacer frente a toda clase de shocks y alteraciones y así ser capaces de evitar cruzar umbrales (conocidos o desconocidos) que alteren regímenes o sistemas” (O’Connell, 2015, p. 6).

Por último, abundan las iniciativas de creación de “ciudades resilientes” que se focalizan en hacer frente a catástrofes naturales. El informe *City Resilience Framework* de la *Rockefeller Foundation* considera que la resiliencia “se focaliza en reforzar la respuesta de un sistema de cara a múltiples desastres” (2014, pp. 3-4). Esa fundación lanzó en 2015 la campaña de “100 resilient cities” (Rockefeller Foundation, 2015). Es lógico que la *United Nations Office for Disasters Risks Reduction* lanzara en 2010 la campaña *Making cities resilient-My City is Getting Ready*. En agosto de 2012, 1.050 ciudades y gobiernos locales la respaldaban (UNISDR, 2012).

Pero aún hay menos consenso en relación con la diferencia entre sostenibilidad y resiliencia. Un estudio “conceptual” del *Postcarbon Institute* afirma que la resiliencia de las comunidades descansa en seis bases: gente, pensamiento sistémico, adaptabilidad, transformabilidad, sostenibilidad y coraje. Así que la sostenibilidad forma parte de la resiliencia pero, paradójicamente, considera que la sostenibilidad “es la luz que guía la construcción de la resiliencia” (Lerch, 2015, pp. 11-25). En dos de las 17 metas que propone la 2030 *Agenda for Sustainable Development* aparecen los dos conceptos juntos en las metas 9 y 11: “Construir infraestructuras resilientes, promover una industrialización incluyente y sostenible e impulsar la innovación”; “hacer que las que las ciudades y asentamientos humanos sean incluyentes, seguros, resilientes y sostenibles”. Por lo que hay que consi-

derar que son dos conceptos diferentes (2030ASD, 2015, p. 14). Por el contrario, J.M. Anderis *et al.*, afirman que la sostenibilidad es “una estructura analítica que guía la acción”. Mientras que la resiliencia “puede ser usada dentro del amplio contexto de la ciencia de sostenibilidad para ayudar a caracterizar aspectos importantes del contexto de la toma de decisiones” (2013, pp. 9-10).

La aplicación de la métrica fractal y las tecnologías y sistemas biomiméticas

La métrica fractal

Los ecosistemas nos enseñan cómo construyen la vida. Para ello utilizan una métrica constructiva precisa, el fractal. Ello permite que los flujos auto-catalíticos nutran adecuadamente todos los elementos de un sistema, creando así un metabolismo saludable. El equilibrio es omnipresente en la naturaleza. La métrica fractal determina la existencia de equilibrio entre lo pequeño y grande, flexibilidad y constreñimiento, diversidad y unidad, entre resiliencia y producción, descentralización e integración, competencia y mutualismo, etc. Estos equilibrios se producen porque las retroalimentaciones positivas y negativas se compensan. Los sistemas sociales fractales “son arquitecturas inspiradas en la naturaleza y con jerarquías distribuidas cuyos componentes son simultáneamente una entidad individual y social”. Su objetivo es ofrecer un servicio a la sociedad (De Florio *et al.*, 2013, p. 8). Pero aún no se ha desarrollado de forma suficiente la aplicación de la teoría fractal en las sociedades, por lo que aquí presento sólo algunos avances en el desarrollo de la misma.

El diseño fractal determina que la economía tenga tres rasgos. Dos de ellos tienen carácter estructural y el tercero se refiere al proceso de construcción de la alternativa, pero los tres están interrelacionados. Uno: el propósito del sistema económico es optimizar los flujos auto-catalíticos (de personas, dinero, energía, información, bienes y servicios) para el beneficio de todos los actores del sistema. Dos: la distribución espacial de la actividad económica obedece a los parámetros fractales y su propósito es optimizar la relación entre la población humana y la naturaleza extra-humana en términos de adaptabilidad, estabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Y la distribución espacial de nodos y entre escalas debe basarse en el principio de subsidiaridad para que se cumpla el primer rasgo. Tres: esas relaciones estructurales deben sustentarse en un aprendizaje social colaborador. Ello supone que ningún nodo debe dominar, sino que los intercambios de información, energía y capital se realicen fluidamente entre los nodos, como es típico de las economías basadas en la cooperación. Y los *ratios* fractales constituyen indicadores que nos permiten medir la salud de nuestras economías, como “las

dimensiones claves de la interconectividad, dinamismo sistémico, sensibilidad es- calar, colaboración y aprendizaje social y el rol de la economía en el bienestar social y en la salud del sistema” (Dyck, 2014, pp. 39-40). El enfoque fractal obliga a crear módulos económicos básicos (economías locales solidarias y sostenibles) que, por replicación, agregación e integración, den lugar a la construcción de regiones y estados. Las estructuras de éstos son similares, pero cada vez más au- tónomos y con mayor capacidad de adaptación (Dyck, 2006a, p. 1042; de Florio *et al.*, 2013, pp. 5-14).

Tecnologías y sistemas biomiméticos

El enfoque biomimético obliga a diseñar sistemas productivos inspirados en la naturaleza. Así que su campo de investigación es enorme. El *Biomimicry Institute*, creado por Janine Benyus, es el referente teórico y práctico de la visión consistente en imitar a la naturaleza. En 1998 popularizó su enfoque con el libro *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*. Afirma que la especie que se apropia de todos los recursos no puede sobrevivir y que esto es lo que está haciendo la especie humana: “Una especie no puede ocupar un nicho de forma que se apropie de todos los re- cursos (...) acaba destruyendo la comunidad para mantener su propia expansión. Trágicamente esta ha sido nuestra trayectoria” (1998, p. 5). Para superar esta di- námica destructiva propone adoptar el paradigma biomimético: “La idea central es la naturaleza, imaginativa por necesidad”, ha resuelto todos los problemas que hoy asolan a la humanidad. Así que “una emulación consciente del genio de la vida es una estrategia de supervivencia de la especie humana” (Benyus, 2009). Y esta emulación se debe producir a todos los niveles: desde la célula hasta la biosfera (Benifand *et al.*, 2014, p. 2).

La revolución biomimética supone sustituir el comportamiento extractivo de la Tierra por el aprendizaje de cómo funciona (Benyus, 1998, pp. 2-9). J. Benyus describe tres niveles de biomimesis: El primer nivel es imitar un producto, por ejemplo, los componentes de una pluma de búho para producir un tejido. El segundo es imitar un proceso natural: “las plumas de un búho se auto-organizan en función de la temperatura del cuerpo”. Y el tercero es la imitación de los eco- sistemas. Pero más allá de la enorme biblioteca de la naturaleza, el gran legado de la biomimesis inspira gratitud y “el deseo ardiente de proteger el genio que nos rodea” (2010, pp. 3-7). Es decir, inspira biofilia: amor a la vida (BTTR Research, 2015, p. 19). De los tres niveles parece dominar ampliamente el primero, aunque empiezan a desarrollarse los otros dos.

A lo largo de la historia, los humanos hemos imitado diseños naturales. Los cuchillos y hachas de piedra se asemejan a los dientes de mamíferos. La máquina voladora de Leonardo da Vinci imita a los pájaros. Los hermanos Wright pudie-

ron volar al imitar la forma de las alas de las aves. La curvatura superior permite una mayor velocidad del aire que la curvatura inferior, lo que genera un impulso hacia arriba. La innovación en biomimesis crece de forma explosiva. Hay una docena de revistas científicas dedicadas a ella, que publican miles de artículos al año. Se aplica en la industria manufacturera, química, biología, arquitectura, medicina, agricultura, etc., (Lepora *et al.*, 2013, p. 5).

La mayoría de los materiales biomiméticos se han desarrollado en la UE y la estrategia de I+D Horizon 2020 de la UE establece que las soluciones basadas en la naturaleza es un área prioritaria de inversión. También, en Japón y EEUU la están impulsando, especialmente en el campo de la investigación en nanotecnologías. La mayoría de sistemas funcionales se han originado desde la nano-escala o micro-escala de partes de insectos y plantas. Pero se está produciendo una nueva ola de imitación de animales. En Alemania 28 centros de investigación biomimética han creado la plataforma de cooperación BIOKON. Los *ratios* de patentes biomiméticas crecieron en el periodo 1985-2005 un 93%, mientras que el resto de las patentes sólo crecieron un 2,7% (UNEP, 2012, p. 11). Por ello, B. Rattner (directora del *Biomimicry Institute*) afirma: “Estamos empezando un cambio colosal desde tecnologías y sistemas que agotan los recursos naturales escasos a otras que no afectan (o incluso restauran) nuestro planeta compartido” (2017, p. 27).

Además, la UE está dando pasos hacia un enfoque sistémico. Creó el *Horizon 2020 Expert Group on ‘Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities’* (EGN-BSR-NC), que en 2015 emitió un informe con el mismo título. La iniciativa es muy importante porque el 73% de los europeos viven en ciudades y se prevé que sean el 82% en 2050. Entre el 60% y el 70% de los humedales han sido destruidos. Entre 2002 y 2012 los fenómenos climáticos y accidentes de tráfico provocaron 80.000 muertos y pérdidas de 95.000 millones de euros en daños. Sus objetivos son “reforzar un urbanismo sostenible”, “restaurar ecosistemas degradados”, “desarrollar adaptación al (y mitigación del) cambio climático” y “mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia”. Sus áreas de investigación e innovación son: regeneración urbana, mejora del bienestar en áreas urbanas, resiliencia costera, gestión multi-funcional de cuencas fluviales y restauración de ecosistemas, uso sostenible de materia y energía, mejorar el valor del seguro de los ecosistemas y aumentar el secuestro de carbono. Y el EKLIPSE *Expert Working Group* elaboró una estructura de evaluación de impacto, con el objetivo de apoyar la planificación y la evaluación de los proyectos basados en las soluciones biomiméticas. Esta política es reforzada por la iniciativa *World Environmental Hubs*, promovida por la IUCN y la ciudad de Jeju, que pretende identificar “ciudades y regiones líderes a escala mundial que demuestren cualidades ambientales muy altas y un empeño de trabajo hacia un futuro sostenible” (EKLIPSE *Expert Working Group*, 2017, p. 3; EGN-BSR-NC, 2015, pp. 7-19; IUCN, Jeju, 2012).

Por otro lado, conviene aclarar el campo confuso de la química, por su importancia e impacto. Se utiliza en el 90% de los bienes manufacturados. Rachel Carson denunció en su libro *Silent Spring* (1962) la naturaleza de los productos químicos utilizados en agricultura. Y casos como el accidente de Seveso, la contaminación de la bahía de Minamata o el crecimiento de la evidencia empírica sobre la peligrosidad para la salud y/o el ambiente de muchos de sus productos provocan que la industria química sea cada vez más criticada. Ello ha provocado la proliferación de legislación ambiental (aunque se queda corta) por parte de los estados OCDE y de la UE y, al menos, de cuatro convenciones internacionales. Pero únicamente se ha logrado que un sector minoritario esté reduciendo la peligrosidad de los productos y sustancias. Se denomina química verde o química sostenible y, dentro de ella, está emergiendo una química biomimética.

El término de química verde domina en el mundo anglosajón y el de química sostenible fuera de él. Normalmente se las consideran equivalentes. El *Green Chemistry & Commerce Council* (GC3) la define como “el diseño de productos y procesos químicos que reduce o elimina el uso a la generación de sustancias peligrosas a lo largo de su ciclo de vida” (2015). Paul Anastas es considerado el padre de la química verde y definió doce principios en 1991, que son ampliamente aceptados. Pero la mayoría de ellos son incrementales: métodos sintéticos menos peligrosos, productos más seguros, reducción de residuos, química más segura en la prevención de accidentes, etc. El número de patentes se ha multiplicado por casi cuatro veces entre 2005-2009 y 2010-2014 en EEUU. Y, aunque aún supone una fracción menor del mercado, crece más rápido que la química convencional (GC3, 2015, pp. 6-22; *The Natural Edge Project*, 2008).

El enfoque de la química biomimética (que nació de la colaboración entre la biología y la química orgánica) es opuesto al de la química convencional. Mientras ésta usa la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica (son 91) y muy pocos catalizadores, la química natural utiliza muchos catalizadores y sólo 20 elementos. La química biomimética está tratando de conocer los principios que gobiernan la química natural para aplicarlos. Pero ya está creando “sistemas organizados de varios componentes, cuyas interacciones provocan propiedades nuevas más allá de la preocupación por sustancias puras” (Breslow, 2008, p. 1341). Se está avanzando en la nano-química, creando biomateriales orgánicos e inorgánicos que son combinados para sintetizar materiales supra-moleculares (que son muy duros y adquieren todo tipo de curvaturas). Es lo que se llama química de coordinación. Así que “las dos palabras clave (composite y colectivo) resumen las lecciones principales que la naturaleza enseña a los químicos” (Bensaude-Vincent, 2009, p. 36). Debido al predominio de los materiales, a este campo se le conoce cada vez más como el de materiales biomiméticos, dominando la investigación en materiales hidrofóbicos, adhesivos, anti-reflexivos y sensores inspirados en diver-

sas especies (Shimomura, 2010, pp. 56-62).

Por último, la energía constituye el campo más avanzado de tecnologías biomiméticas. Las tecnologías eólicas, fotovoltaicas y solar-termales empiezan a ser dominantes en muchas áreas del mundo. En la UE constituyen la única energía que se instala en términos netos, como muestra el gráfico 6. En el mundo se instala más potencia renovable que convencional y esta disparidad crece con el tiempo. Y, en la medida en que avance la imitación de los diseños naturales, mejorará su eficiencia.

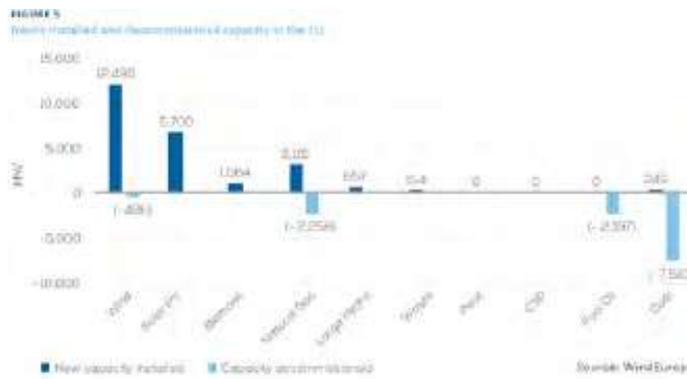


Gráfico 6. Nueva capacidad instalada y decomisada en la UE, 2016
Fuente: *Wind Europe*, 2016: 12.

Por otro lado, el hidrógeno es el combustible de la vida. La función principal de la fotosíntesis es el almacenamiento de energía en formas químicas, siendo el hidrógeno el elemento más usado para ello: “La fotosíntesis constituye la base de todos los métodos de producción biológica de H₂” (Allakhverdiev *et al.*, 2010, p. 49). Siendo así, el hidrógeno está emergiendo como la alternativa a los combustibles fósiles y a los agro-combustibles en el transporte. Pero la producción de hidrógeno por electrolisis (la única alternativa utilizada comercialmente que puede producir hidrógeno renovable) resulta poco eficiente porque normalmente el hidrógeno se usa en transporte aplicado a la célula de combustible (que produce la electricidad que impulsa los vehículos). Por ello, se están desarrollando tecnologías biomiméticas que producen directamente del sol el hidrógeno. El Proyecto HYDROSOL de la UE utiliza una planta solar termal para producir vapor de agua, el cual pasa por unas toberas que captan el oxígeno. El proyecto está en la fase de lograr su comercialización. Además, se están desarrollando células o reactores fotoelectroquímicos que pueden realizar una “conversión directa” de la luz solar en hidrógeno. Pero es preciso indicar que el hidrógeno no es un buen combustible para aviación o navegación de largo recorrido. Es por ello que se están desarrollando tecnologías que captan CO₂ y lo combinan con hidrógeno para producir

múltiples hidrocarburos líquidos (metanol, ácido fórmico, etc.), y que son más fáciles de almacenar y transportar (Hrastelj & Vilela, 2016, pp. 8-10; Braun, 2017; www.ciemat.es).

Proceso de construcción de un modelo producción comunal y sostenible

La eco-psicología ha demostrado que a través de la experiencia con otros seres “podemos comprender y desarrollar nuestras cualidades más profundas como seres humanos” (Webber, 2013, p. 20). Por ello, al ejercer violencia sobre la naturaleza, la estamos infringiendo sobre nosotros mismos porque somos parte de la red de vida. Tal y como afirma la Asamblea de NNUU: “Al contaminar y agotar la Madre Tierra, nos estamos contaminando y agotándonos a nosotros mismos” (A/66/302, p. 77). El párrafo 197 de Río+20 se acerca a esa visión: “Nosotros reafirmamos el valor intrínseco, así como los valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educacionales, culturales, recreacionales y estéticos de la diversidad biológica y su rol crítico en el mantenimiento de los ecosistemas que nos proveen servicios esenciales” (UNCSD, 2012, p. 35). Pero el incumplimiento de los principios funcionales está provocando una crisis de civilización. Así que, como afirma E. Sahtouris, ya que hemos alcanzado el límite de explotación del planeta, es el momento para reconocer que “la enemistad es más costosa que la colaboración amistosa, tenemos que cruzar el umbral nuevo que nos lleve a una maduración comunitaria y global de la ecosofía”. Esto significa, en última instancia y según la cultura de la Grecia antigua, organización de la hacienda creativa y sabia (2014, p. 5-6).

Existe un consenso muy amplio sobre la necesidad de crear economías descentralizadas, autosuficientes, comunitarias y sostenibles. Un informe del *High Level Panel of Eminent Persons* (HLPEP, creado para apoyar Río+20) afirma que “las autoridades locales tienen un rol crítico en definir prioridades, ejecutar planes, evaluación de resultados e involucrar a las empresas locales y a las comunidades” y son el origen “de los programas más exitosos de apoyo al sector informal y a las microempresas” (2013, pp. 10-11). Río+20 enfatiza la importancia de la descentralización y, entre otros muchos párrafos, destaco el 136, que reconoce “el rol importante de los gobiernos municipales en definir una visión de ciudades sostenibles” y el 137: “la colaboración entre ciudades y comunidades desempeña un rol importante en la promoción del desarrollo sostenible”. La descentralización es la única forma de lograr integración social, sostenibilidad y eficiencia sistémica. Fortalece la sostenibilidad, porque el ambiente y los recursos locales constituyen elementos vitales del bienestar local. Optimiza “las relaciones de la población humana y el ambiente natural, en términos de adaptabilidad, estabilidad y efi-

ciencia” (Goerner *et al.*, 2014, p. 14). Sólo las economías descentralizadas tienen capacidad potencial para cerrar los flujos de los materiales y generar diversidad y eficiencia. La diversidad se produce porque cada economía local se desarrolla en un contexto diferente (cultura, recursos, clima, etc.), maximizando así las oportunidades de aprendizaje mutuo. Y la eficiencia es inherente a la descentralización. Reduce la necesidad de transporte, de generación de residuos. Produce alimentos más sanos y refuerza la seguridad alimentaria (Bristow & Healy, 2014, p. 97; Fiscus, 2013, p. 567).

Los movimientos transformadores

Un informe del *United Nations Research Institute for Social Development* (UNRISD) (fruto de una Conferencia con más de 70 contribuciones) concluye que en la década pasada se produjo una gran expansión y diversificación de la *Economía Social y Solidaria* (ESS) (que es el resultado de unir “la economía solidaria y la economía social” (Kawano, 2013)). Y lo explica: “El renacimiento de múltiples formas de cooperativas, así como las de producción, servicios y consumidores; el crecimiento de mutualidades que ofrecen servicios financieros y de seguros; el desarrollo del comercio justo y redes comerciales de alimentos alternativas que conectan productores y consumidores de una forma más justa y verde; formas nuevas de empresas sociales que a menudo ofrecen servicios de proximidad; la organización colectiva en asociaciones de trabajadores de la economía informal; varias formas de esquemas comunitarios en campos como finanzas solidarias, gestión del riesgo, satisfacción de necesidades básicas y la gestión de un fondo común de recursos; y la emergencia de millones de grupos de auto-ayuda, a menudo dirigido sobre todo a mujeres” (2014, p. 1).

Productive community	Linux	Mozilla	GNU	Wikipedia	Wordpress
Entrepreneurial coalition	e.g. Linux Professional Institute, Canonical	e.g. Mozilla corporation	e.g. Red Hat, Endless, SUSE	e.g. Wikia company	e.g. Automatic company
For-benefit association	Linux Foundation	Mozilla Foundation	Free Software Foundation	Wikimedia Foundation	Wordpress Foundation

Tabla 1. Sistema de creación de CBPP
Fuente: Bauwens et al, 2017: 13

Ante la multitud de movimientos englobados en la ESS conviene, al menos, aclarar algunos conceptos: hay términos que se usan en realidades antagónicas;

no suele haber acuerdo sobre su significado; y algunos de ellos sólo se aplican en determinadas zonas del mundo. Algunos de los términos utilizados son: economía social, economía social y solidaria, *sharing economy* (así llamada en EEUU, pero en Europa se conoce como *collaborative economy*, aunque las plataformas capitalistas se consideran parte de la *sharing economy*, con independencia de que el término utilizado por movimientos transformadores); economía del buen vivir, economía regeneradora, etc. Por último, el término economía social sólo se utiliza en Europa y Canadá (TFSSE, 2014, p. 3).

Se están desarrollando múltiples iniciativas de creación de recursos inmateriales (conocimiento y diseño) de libre acceso (basado en la tecnología digital y conocido como software libre). Este empezó con la creación del sistema GNU/Linux y le siguieron *Apache*, *Eclipse*, *Firefox* o *Ubuntu* y en la actualidad hay millones de diseños digitales. Su calidad supera a los productos capitalistas. También, se han creado otros muchos bienes comunes de conocimiento. Wikipedia existe en una docena de idiomas. Hay más de 10.000 revistas científicas de libre acceso, así como muchos recursos educacionales (cursos o libros) que son de libre acceso. Se estima que hay más de mil millones de trabajos creativos y de información en el mundo bajo la licencia de bienes creativos comunales (desarrollándose así “un fondo común de conocimiento para toda la humanidad”). Los miembros de la comunidad que intervienen en los proyectos de software libre realizan trabajo voluntario y producen conocimiento, que es un bien común. Y frecuentemente estas iniciativas dan lugar a la creación de empresas como medio de tener ingresos o con la intención de obtener beneficios. Normalmente, en el primer caso, las empresas crean fundaciones que canalizan fondos para potenciar la producción comunal (como son los casos que se muestran en la tabla) e incluso realizan cooperación para el desarrollo (Bauwens & Kostakis, 2014, p. 356; Bloemen & Hammerstein, 2017, p. 20; Bollier, 2015, p. 12). El gráfico 7 sintetiza el proceso explicado el proceso explicado.

Por otro lado, el software libre ha venido siendo distribuido con base en la licencia de reciprocidad comunitaria (CBRL en inglés), que permitía que cualquiera pudiera utilizar el conocimiento pero con la condición de que si lo mejoraba, lo debía aportar a la comunidad. Sin embargo, las empresas capitalistas se han venido apropiando de él sin añadir mejora alguna. Por ello, se proponen dos vías para evitarlo. Una, que ya se está aplicando, es cambiar la licencia CBRL por la *Copyfair*. Ésta obliga a las empresas capitalistas a pagar por el conocimiento adquirido, pero sigue siendo libre en el ámbito de la economía comunal. Pero *Copyfair* coexiste con la de *Bienes Comunes Creativos No-Comerciales*, como Wikipedia. Otra alternativa más sistémica sería crear cooperativas abiertas para cada iniciativa, que pagaría a los voluntarios que no quisieran integrarse. De esta forma, el conocimiento adquirido fortalecería el movimiento comunal en una doble

dimensión: aumentando su conocimiento y obteniendo recursos en el mercado vendiendo sus productos (Bauwens & Kostakis, 2017, pp. 12-13).

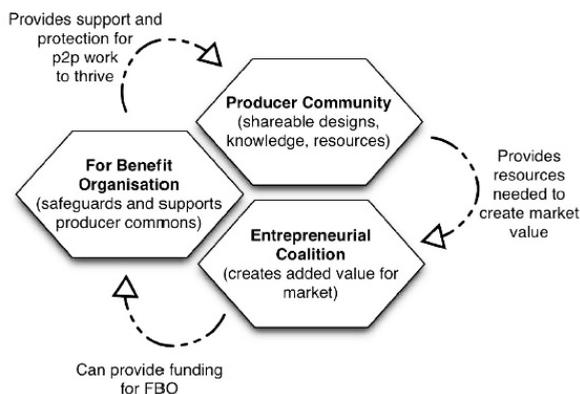


Gráfico 7. Simbiosis entre los productores comunales y las coaliciones empresariales
Fuente: C. Giotitsas, J. Ramos, 2017: 5 NEF

Por último, hay más bienes comunales, como infraestructuras de internet descentralizadas, bienes comunales científicos (licencias, diseños o estudios), espacios urbanos comunales, iniciativas culturales (música o teatro) comunitarias y otras muchas que están provocando un cambio cultural (Bloemen & Hammersstein, 2017, p. 8). Su ritmo de crecimiento es muy fuerte. Están siendo impulsados por muchos institutos, fundaciones y cada vez es más frecuente que lo hagan también los municipios. Estudios realizados en Flandes y en Holanda muestran que en la última década las iniciativas cívicas se han multiplicado por un factor diez (Bauwens, 2017, p. 3).

A lo largo de Europa y de otras regiones del mundo ciudadanos, emprendedores y comunidades están inventando nuevas formas de compartir y cooperar “para crear, preservar o acceder a bienes y servicios” comunales (Troncoso, 2017, p. 2). Se desarrolla una red mundial de micro-fábricas de propiedad comunal. La primera fue diseñada por el *Center of Bits and Atoms* del MIT en 2001 y le dio el nombre de *FabLab* (laboratorio de fabricación). Pero se están imponiendo términos como *hackerspaces* o *makerspaces*. Producen bienes por medio de impresoras 3D, cortadores laser y máquinas herramientas de control numérico, que están conectadas en red. Su coste es de 25.000 a 65.000\$. De forma que, así como Internet facilita el acceso a la información y comunicación, las redes de *makerspaces* están democratizando la producción de bienes. Este modelo tiene una dimensión mundial y otra distribuida, que se sintetiza en el lema “diseña mundial, fabrica local”. El gráfico 8 refleja que el diseño (conocimiento, que no pesa) es compartido y mejorado mediante redes mundiales, mientras que la producción de bienes materia-

les (que pesan) es local (Kostakis *et al.*, 2016a, p. 86; Kostakis *et al.*, 2016b, p. 2).

En 2017 había una red de más de mil *makerspaces* y unos 10.000 usuarios que estaban conectados en red mediante la plataforma *FabLabs.io*, creada en 2014. Su actividad está muy centrada en la educación. Además, se estima que hay más de 100.000 emprendedores y hobbistas que producen bienes con esas tecnologías en otros mil *makerspaces*. Producen bienes especializados. Crecen a un ritmo muy fuerte y, aunque la mayoría se concentra en el oeste europeo y en EEUU (aunque aquí hay muchos menos), se están extendiendo por todo el mundo y, sobre todo, por China. Por otro lado, proliferan las iniciativas de diseño abierto de bienes, de las que explico dos muy relevantes. El proyecto *RepRap* se centra en el diseño de una impresora 3D sencilla que, con el paso del tiempo, puede construir más piezas de sí misma; en 2010 colaboraban 5,000 investigadores y su número se dobla cada semestre. El proyecto *Open Source Economy* impulsa el diseño y la fabricación de 50 máquinas sencillas y eficientes que son necesarias para las economías locales. Esta experiencia se financia con la venta de los bienes producidos (Niaros *et al.*, 2017, pp. 3-5; Bauwens & Kostakis, 2017, p. 10).

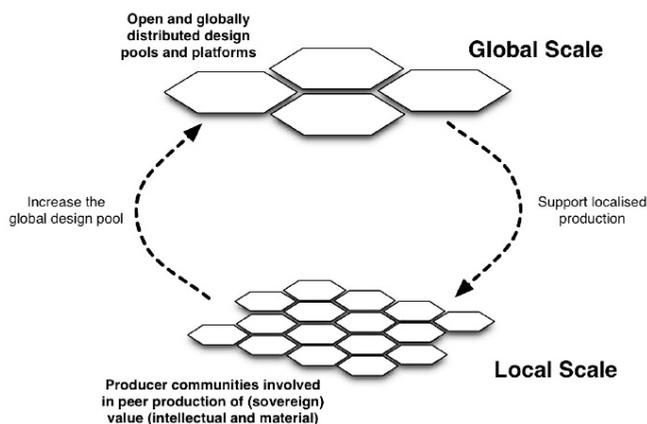


Gráfico 8. Diseño mundial, producción local. Fuente: C. Giotitsas, J. Ramos, 2017: 5 NEF

Estas iniciativas constituyen lo que se conoce como producción entre iguales o pares basada en bienes comunales (“*commons-based peer to peer production*” (CBPP)). Y “CBPP es una vía nueva de creación y distribución de valor, donde las infraestructuras P2P permite a los individuos comunicar, auto-organizarse y, en última instancia, co-crear valor de uso que no rivaliza con otros, en la forma de bienes comunes digitales de conocimiento, software y diseño” (Bauwens & Kostakis, 2017, p. 10).

Además, están emergiendo las cooperativas abiertas o de multi-agentes (CMA) y las plataformas cooperativas (PC). Las primeras vienen desarrollándose desde

hace al menos una década y ya tienen un arraigo muy importante. La segunda aparece en 2015, empezó a crecer lentamente, pero en la actualidad lo hace a un ritmo muy importante. Ambos se solapan, pero tienen rasgos diferentes, aunque en algunos casos es difícil diferenciarlas. Ello explica que los autores no se suelen poner de acuerdo en encuadrar experiencias. Las plataformas cooperativas nacen como respuesta a la auto-llamada *sharing economy* por Uber, TaskRabbit o Amazon y se han creado cientos de ellas, pero están expandiendo su ámbito de actuación. En algunos casos compiten con algunas de esas plataformas (como es el caso de FairMondo en relación con Amazon). Algunas cooperativas clásicas empiezan a ensayar plataformas cooperativas para cooperar entre sí o para relacionarse con las sociedades. También emergen las CMA, llamadas así porque están gobernadas por actores que intervienen en su desarrollo: productores, consumidores, prestamistas, *sponsors*, clientes, suministradores, representantes de las comunidades o agencias públicas que las apoyan. Estas cooperativas son mucho más resilientes que las clásicas, porque no pueden ser privatizadas (lo cual sigue siendo un problema histórico del cooperativismo clásico). Son adoptadas por los movimientos de producción comunal (Troncoso & Utratel, 2017, pp. 5-10; Bauwens & Kostakis, 2017. p. 27; Scholz, 2016: 11; Restakis & Bauwens, 2014, p. 64).

La estrategia de la P2P Foundation de creación de una economía comunal y sostenible

La *P2P Foundation* está liderando la CBPP en Europa (espacio donde más iniciativas se están desarrollando), y ha diseñado una estrategia cuya primera fase consiste en la multiplicación y crecimiento de los movimientos transformadores. La segunda es su integración a todos los niveles. D Bollier & P. Conaty afirman que hay “un potencial enorme de aumento de la coordinación y colaboración” entre las múltiples plataformas existentes de software libre, diseño abierto y hardware abierto (2014, p. 35). En 2016 se celebró una conferencia en el Parlamento Europeo a la que asistieron más de 150 representantes de 21 países y diversos europarlamentarios. En ella crearon la *European Commons Assembly*. En la última fase se pretende lograr la convergencia con el cooperativismo clásico, las PYMES y las empresas con una misión social. Pero la tarea prioritaria es “promover la colaboración entre el cooperativismo y los bienes comunales” (Troncoso, 2017, p. 10). Los movimientos comunales aportarían un caudal inmenso de conocimiento y el cooperativismo su gran dimensión. Un informe de Dave Grace and Associates (DGA) para UNDESA, muestra que hay 2,6 millones de cooperativas en el mundo que tienen más 1000 millones de miembros y clientes. Estas cooperativas generan 250 millones de empleos, más que todas las grandes corporaciones. Obtienen unos ingresos de al menos 3 billones de dólares y están implantadas en 145 países (DGA, 2014).

J. Restakis no ve impedimento alguno en la convergencia con las PYMES, siempre que “traten con justicia a los empleados, no provoquen el control de mercados o a prácticas que dañan a las sociedades o al medio ambiente”. Las empresas con una misión social (conocidas como empresas B) están amparadas ya por 28 estados federados. Además, es necesario que se incorporen otros movimientos no económicos para que aporten sus respectivas culturas, como los movimientos ecologista, en pro de la justicia social (como sindicatos) o feminista (Restakis, 2016, p. 6; Bollier, 2015, p. 26; Ramos *et al.*, 2016, p. 195, 196; Kostakis *et al.*, 2015, pp. 128-132).

Por otro lado, se están produciendo múltiples iniciativas municipales y, en menor medida, de gobiernos regionales: re-municipalización de servicios; ciudades por el clima; ciudades y regiones 100% renovables; etc. Además, muchos municipios y algunas regiones están impulsando economías comunales y sostenibles. Y este soporte institucional es de vital importancia para el fortalecimiento de un proceso transformador. Sólo citaré dos movimientos por razones de espacio. En 2011 varios organismos (*Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña -ICCC-*, el *MIT Centre for Bits and Atoms*, la *Fab Foundation* y el Consistorio de la ciudad de Barcelona) lanzaron el proyecto *FabCities* en la conferencia de Lima. En 2014, con ocasión de una nueva conferencia desarrollada en Barcelona, su consistorio propuso la iniciativa de lograr ser autosuficientes en un 50% para 2054. En la conferencia del siguiente año se adhirieron a la iniciativa siete ciudades. A principios de 2017 había 16 iniciativas, doce ciudades (Barcelona, Boston, Somerville, Cambridge, Ekurhuleni, Shenzhen, Amsterdam, Toulouse, París, Sacramento, Santiago de Chile y Detroit), dos regiones (Kerala y Región Occitana) y dos estados (Buthan y Georgia). M. Bauwens y V. Niaros califican a esta iniciativa como “el programa más ambicioso en la actualidad” (2017, p. 64).

El ARTS (*Accelerating and Rescaling Transition to Sustainability*) es un programa impulsado con financiación de la Comisión Europea a desarrollar en tres años. Forman parte de la iniciativa Brighton, Budapest, Dresde, Gante y Estocolmo. El programa pretende que las ciudades creen un plan de acción mediante un proceso participativo para definir iniciativas de transición hacia la sostenibilidad basadas en colectivos de actores locales (movimientos cívicos, movimientos comunales, gobiernos municipales, empresas...). La ciudad de Gante comisionó a *P2P Foundation* para evaluar el movimiento comunal existente (halló más de 500 iniciativas), explicar las razones de su emergencia y proponer medidas para fortalecerlo. Y la ciudad pretende crear una plataforma de transición que contará con una Asamblea Comunal y una Cámara Comunal y será asesorada por un grupo de expertos (Bauwens & Onzia, 2017, pp. 6-10).

Por último, la *P2P Foundation* considera que coexisten dos tipos de capitalismo: el tradicional de producción manufacturera y el que llaman cognitivo. Éste

presenta dos formas, una mundial y otra distribuida. La primera gestiona Internet por medio de múltiples empresas, entre las que destacan Google, Twitter y Facebook. Las redes digitales constituyen el modo principal de organizar la producción y las relaciones socio-económicas. Se basa en la apropiación del conocimiento, gracias a su propiedad de las plataformas que operan en Internet, pero bajo el dominio del capital financiero. Este capitalismo genera escasez de conocimiento y lo privatiza, convirtiendo la cultura en una mercancía. Su forma distribuida está representada por empresas que mediante la creación de plataformas digitales controlan diversos gremios. Son los casos de TaskRabbit (gremios), Uber (taxistas) o Amazon (que tiene múltiples actividades). Someten a los trabajadores condiciones laborales muy precarias. El primer capitalismo sigue siendo dominante pero está en declive por la disminución de beneficios, porque la competencia rebaja cada vez más los precios. Por el contrario, el segundo crece de forma explosiva, aunque su dinámica se irá ralentizando debido a que su actividad también se ve sometida a la tendencia de los rendimientos decrecientes. La alternativa a los dos capitalismoes es la economía comunal y sostenible. Se ha pasado de una fase de crecimiento lento a la actual de crecimiento rápido. Y se presenta como el único modelo económico capaz de superar el modelo de producción capitalista (Kostakis *et al.*, 2016a, pp. 84-86; Kostakis & Bauwens, 2014, pp. 21-33).

Pero para ello, muchos autores consideran necesario la creación de una masa crítica de personas muy evolucionadas. Se las denomina de otras muchas formas. J. Ramos, M. Bauwens y V. Kostakis declaran que la perspectiva P2P está de acuerdo con “la visión de la necesidad de un despertar espiritual”. Y es una espiritualidad “basada en la exploración común de la herencia espiritual de la humanidad” (Ramos *et al.*, 2016, p. 196). S. Bloemen y D. Hammerstein opinan que los cambios sociales están a menudo “enraizados en un cambio cultural”, por lo que éste “es un factor clave de la transformación social” (2017, p. 7). La AEMA declara que los valores y visiones que facilitan la transformación sistémica tienen “un rol fundamental” (EEA, 2016, p. 20). Por último, la bióloga evolucionista Elisabeth Sahtouris afirma que asistimos a un extraordinario renacimiento de la auto-suficiencia y sostenibilidad local, que es el resultado de la maduración humana: “El cuidado de otros y el compartir están sustituyendo al competir y acaparar, lo que es debido, en no poca medida, al empoderamiento creciente de la mujer, que siempre han sostenido esos valores. Y muchos lo vemos como un crecimiento o maduración de la humanidad” (2014, p. 4).

BIBLIOGRAFÍA

- ABEL, T. & STEPP, J. R. (2003). A new ecosystems ecology for anthropology. *Conservation Ecology*, 7 (3), 12.
- ALLAKHVERDIEV, S. I. *et al.* (2010). Photosynthetic energy conversion: hydrogen photoproduction by natural and biomimetic systems. In Mukherjee, A. (Ed.). *Biomimetics, learning from nature*. Croatia: In-Tech.
- ALLEN, C. R. (2014). Panarchy and Application. *Ecosystems*, Volume 14, Issue 4.
- ANDERIS, J.M. *et al.* (2013). Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability. *Ecology and Society*, 18(2), p. 8.
- BAUWENS, M. (2014). *A Commons Transition Plan*. Commons Transition. Obtenido de <http://commonstransition.org/a-commons-transition-plan/>.
- BAUWENS, M. & KOSTAKIS, V. (2014). From the Communism of Capital to Capital for the Commons: Towards an Open Co-operativism. *Triple C*, 12 (1), CSIRO.
- BAUWENS, M., KOSTAKIS, V., PAZAITIS, A. (2018). *Peer-to-Peer: The Commons Manifesto*. London: Westminster University Press.
- BAUWENS, M., & NIAROS V. (2017). Re-dynamising Local Economics in the Age of Trumpism. *Journal of Futures Studies*, 21(3), 101-106.
- BAUWENS, M. *et al.* (2017). Commons Transition and P2P: a primer. *Transnational Institute*.
- BAUWENS, M. & ONZIA, J. (2017). *Commons Transition Plan for the City of Ghent*. Obtenido de http://commonstransition.org/commons-transition-plan-city-ghent/#_ftn.
- BENIFAND, K. *et al.* (2015). *Re-imagining the Future: The Biomimetic Economy*. *Proceedings of RSD3*. Third Symposium of Relating Systems Thinking to Design. Oslo, Norway: Oslo School of Architecture and Design.
- BENYUS, J. (1998). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Quill / William Morrow.
- BENYUS, J. (2009). *What do you mean by the term of biomimicry?* Obtenido de www.biomimicryinstitute.org.
- BENYUS, J. (2010). *The Biomimicry Institute. Inspiring, educating and connecting biomimics throughout the world*. Obtenido de www.biomimicryinstitute.org.
- BRISTOW, G.; HEALY, A. (2014). Regional Resilience: An Agency Perspective. *Regional Studies*, 48(5).
- BLOEMEN, S. & HAMMERSTEIN, D. (2017). *Supporting the Commons. Opportunities in the EU policy Landscape*. European Cultural Foundation, Heinrich Böll Foundation
- BOLLIER, D. (2014). *The Commons as a Template for transformation*. *Great Transition Initiative*. Obtenido de <http://greattransition.org/publication/the-commons-as-a-template-for-transformation>.
- BOLLIER, D. (2015). *Reinventing Law for the Commons*. *Heinrich Böll Foundation*. Obtenido de https://www.boell.de/sites/default/files/reinventing_law_for_the_commons_memo.pdf.
- BOLLIER, D. (2016). *Transnational Republics of Commoning. Friends of the earth*. Obtenido de <http://www.bollier.org/blog/transnational-republics-commoning>.
- BOLLIER, D., & CONATY, P. (2014, September). *A new alignment of movements?* A report on Common Strategies Group Workshop, Meissen.
- BONAIUTI, M. (2017). Are we entering the age of involuntary degrowth? *Journal of Cleaner Production* (in press).

- BRAUN, A. (2017). *Photoelectrochemical and Bio-electrochemical Cells for Decentralized Fuel and Chemical Production*. European Commission Futurium. Obtenido de <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/direct-conversion-solar-energy-renewables-and-more>.
- CAPRA, F., LUISI, P. L. (2014). *The Systems View of Life*. Cambridge: Cambridge University Press
- CARPINTERO, O. (2006). *La bioeconomía de Georgescu-Roegen*. Madrid: Montesinos.
- COSTANZA, R. (1993). Developing ecological research that is relevant for achieving sustainability. *Ecological Applications*, 3(4).
- COSTANZA, R. *et al.* (2013). The Future We Really Want. *Natural Capital Solutions*, 4 (4), pp. 37-43.
- DALY, H. (2015). *Economics for a Full World*. Great Transition Initiative. Obtenido de <http://www.greattransition.org/images/Daly-Economics-for-a-Full-World.pdf>.
- DGA (Dave Grace Associates) (2016). *Global Research on Augmented Collaborative Economy*. UNDESA.
- DRAKE, W. J. *et al.* (2016). *White Paper. Internet Fragmentation: An Overview*. Geneva: WEF.
- EC (European Council) (2015, November). *The Promotion of the social economy as a key driver of economic and social development in Europe*. European Council.
- EEA (European Environmental Agency) (2016). *Sustainability: Now for the long term*. EEA Transitions. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- EKLIPSE Expert Working Group (2017). *An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects*. Expert Working Group on Nature-based Solutions to promote Climate Resilience in Urban Areas.
- EXPERT GROUP ON NATURE-BASED SOLUTIONS AND RE-NATURING CITIES (2015). *Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- DALY, H. (2015). *Economics for a Full World*. A Great Transition Initiative. Obtenido de <http://www.greattransition.org/publication/economics-for-a-full-world>.
- FRIESS, P., & RIEMENSCHNEIDER, K. (2016). New Horizons for the Internet of Things in Europe. En Vermesan, O. & Friess P. (Eds.). *Digitalizing the Industry, Internet of Things. Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds*. Gistrup & Delft: River Publishers.
- GARMESTANI, A.S. *et al.* (2009): Panarchy: Discontinuities Reveal Similarities in the Dynamic System Structure of Ecological and Social Systems. *Ecology and Society*, 14 (1), 15.
- GIOTITSAS, C., RAMOS, J. (2017). *A New Model of Production for a New Economy*. P2P Foundation.
- GOERNER, S. (2013). Corrective lenses: How the laws of energy networks improve our economic vision. *World Futures*, 69.
- GOERNER, S. *et al.* (2014). *What energy science network science can teach us about resilience and the larger story of systemic health and development*. The Integral Institute.
- GOERNER, S., LIETAER, B., & ULANOWICZ, R. E. (2009). Quantifying economic sustainability: Implications for free-enterprise theory, policy and practice. *Ecological Economics*, 69, 76–81.
- GOERNER, S. *et al.* (2015). Using Energy Network Science (ENS) to connect resilience with the larger story of systemic health and development. *Emergence: Complexity and Organization*, 17 (4).
- GOWDY, J., & KRALL, L. (2013). The ultrasocial origin of Anthropocene. *Ecological Economics*, 95, 137–47.
- HLPEP (High-Level Panel of Eminent Persons) (2013). *A New Global Partnership*. New

York: United Nations Publications.

- HOMER-DIXON, T. (2011). Our Panarchic Future. *World Watch Magazine*, Vol. 22, No. 2.
- HRASTEJ, N., & VILELA, B. (2016). *A vision for sustainable chemistry production*. Belgium: EuChemMS.
- IUCN. (2012). *World Environmental Hubs*. IUCN. Obtenido de <https://www.iucn.org/regions/europe/projects/world-environmental-hubs>.
- JORGENSEN, S. E., & NIELSEN, S. N. (2015). Hierarchical networks. *Ecological Modelling*, 295, 59-65.
- JORGENSEN, S. E., & NIELSEN, S. N. (2013). The properties of the ecological hierarchy and the application as ecological indicators. *Ecological Indicators*, Vol. 28, 48-53.
- KOSTAKIS, V. *et al.* (2015). Digital Global, manufacture local: Exploring the contours of an emerging productive model. *Futures*, 73, 126–135.
- KOSTAKIS, V. *et al.* (2016a). Towards a political ecology of the digital economy: Socio-environmental implications of two competing value models. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, 82-100.
- KOSTAKIS, V. *et al.* (2016b). The convergence of digital commons with local manufacturing from a degrowth perspective. *Journal of Cleaner Production*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616314184>.
- LEPORA, N. F. *et al.* (2013). *The state of the art of biomimetics*. *Bioinspiring Biomimetics*, 8. Doi: 10.1088/1748-3182/8/1/013001.
- LERCH, D. (2015). *Six Foundations for Building Community Resilience*. Santa Rosa: Postcarbon Institute
- LASZLO, E. (2014). *The Self-Actualizing Cosmos*. Rochester: Inner Traditions.
- MAGDOFF, F. (2013) Twenty-first-century land grabs: Accumulation by agricultural dispossession. *Monthly Review*, 65, 6.
- MARTIN, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, vol. 12, issue 1, 1-32.
- NIAROS, V., *et al.* (2017). *Making (in) the smart city: The emergence of makerspaces*. Telemat. Informat. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.004>.
- NIELSEN, S. N. (2007). What has modern ecosystem theory to offer to cleaner production, industrial ecology and society? The views of an ecologist. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15, No. 17, 2007, p. 1639-1653.
- NIELSEN, S. N., & MULLER, F. (2009). Understanding the functional principles of nature. *Ecological Modelling*, 220, 1913-1925.
- NIELSEN, S. N. (2011). Thermodynamic constraints of life as downward causation in ecosystems. *Cybernetics & Human Knowing*, vol. 16, 27-49.
- MULLER, F. (2009). Understanding the functional principles of nature-proposing another type of ecosystem services. *Ecological Modelling*, Vol. 220, 1913-1925.
- MULLER, F. & JORGENSEN, S. E. (2013). Goal functions, orientors and indicators in ecology. *Ecological Indicators*, 28 (31).
- ODUM, E. P. (1992). *Ecología: Bases Científicas para un nuevo paradigma*. Barcelona: Vedral.
- ODUM, E. P. & SARMIENTO, F. O. (1998). *Ecología. El puente entre ciencia y sociedad*. Mexico D. F.: McGraw Interamericana.
- OECD (2016). *The Next Industrial Revolution*. OECD. Obtenido de <http://www.oecd.org/>

- sti/ind/next-production-revolution.htm.
- O'NEILL, R. V. *et al.* (1986). *A hierarchical concept of ecosystems*. Princenton: Princenton University Press.
- PEACOCK, K. A. (2011). *Symbiosis in Ecology and Evolution*. In K. Laplace, B. Brown, K.A. Peacock (Ed.), *Philosophy of Science*, Volume 11, Elsevier.
- PANDIT, A. & CRITTENDEN, J. C. (2015): Resilient Urban Systems: Where We Stand Now and Where We Need to Go. *Solutions Journal*, 2015-04-24
- RAMOS, J. *et al.* (2016): P2P and Planetary Futures. D. Banerji & M. R. (eds). *Critical Posthumanism and Planetary Futures*. New Delhi: Springer
- RATTER, B. (2017). Alive to solutions. *Our Planet, the magazine of UN Environment*. UNEP.
- RAYE, J. (2014). Fractal Organization Theory. *Journal of Organizational Transformation & Social Change*, Vol. 11, 1.
- RESTAKIS, J. (2014). *Public Policy for a Social Knowledge Economy. Transition Initiative*. Obtenido de <http://commonstransition.org/public-policy-for-a-social-knowledge-economy/>.
- ROCKEFELLER FOUNDATION (2015). *100 resilient cities*. Rockefeller Foundation. Obtenido de <https://www.rockefellerfoundation.org/our-work/initiatives/100-resilient-cities/>.
- SAHTOURIS, E. (2014). Ecosophy: Nature's Guide to a Better World. Kosmos. *Journal for Global transformation*. Retrieved from <https://www.kosmosjournal.org/article/ecosophy-natures-guide-to-a-better-world/>.
- SCHWAB, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- SCHOLZ, T. (2016). *Platform Cooperativism. Challenging the Corporate Sharing Economy*. New York: Rosa Luxemburg Stiftung.
- SCHUTZ, J. (1999). The value of economic reasoning. *Ecological Economics*, 31, 23–29.
- TRONCOSO, S. (2017). *Greece: Alternative Economies & Community Currencies*. P2P Foundation. Obtenido de <https://blog.p2pfoundation.net/greece-alternative-economies-community-currencies-pt-1/2017/11/16>.
- TRONCOSO, S. & UTRATEL, A. M. (2017). *From Platform to Open Cooperativism*. Obtenido de <http://www.resilience.org/stories/2017-04-21/from-platform-to-open-cooperativism/>.
- TFSSE (Inter-Agency Task Force on Social and Solidarity Economy). (2014, September). *Social and Solidarity Economy and the Challenge of Sustainable Development*. Executive Summary of a TFSSE Position Paper.
- THE NATURAL EDGE PROJECT (2008). *The Role of Chemistry in Sustainable Development*. Natural Edge Project & Griffith University.
- UNCSD (2012). *Our Common Future*. UNCSD. Obtenido de <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.
- UNEP (2012). *Nature and its role in the transition to a green economy*. UNEP. Obtenido de https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/28e9e60d-c56b-479b-8024-3ef927e934e6/TEEB_Nature_the_green_economy_Executive_Summary.pdf?v=63664509780.
- UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) (2012). *Making cities resilient: my city is ready*. Geneva: UNISDR.
- UNISDR (2014). *Social and Solidarity Economy*. Rosa Luxemburg Stiftung. Obtenido de <http://www.rosalux-nyc.org/social-and-solidarity-economy/>.
- VERMESAN, O. (2016). IoT Digital Value Chain Research, Innovation and Development. En Vermesan, O. & Friess P. (Eds.). *Digitalizing the Industry, Internet of Things. Con-*

- necting the Physical, Digital and Virtual Worlds*. River Publishers Series in Communications.
- ZORACH, A., & ULANOWICZ, R. E. (2003). Quantifying the Complexity of Flow Networks. How many roles are there?. *Complexity*, Vol.8, 3.
- WALTZ, K.N. (1999). Globalization and Governance. *Political Science and Politics*, Vol. 32, 4.
- WEBER, A. (2013). *Enlivenment. Towards a fundamental shift in the concepts of nature, culture and politics*. Berlin: Heinrich Böll Stiftung.
- WEF (2013). *Perspectives on a Hyperconnected World*. Obtenido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC_PerspectivesHyperconnectedWorld_ExecutiveSummary_2013.pdf.
- WEF (2016). *Inspiring Future Cities & Urban Services*. Obtenido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Urban-Services.pdf.
- WIND EUROPE (2016). *Wind in Power. 2016 European statistics*. Wind Europe. Obtenido de <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-in-power-2016/>.
- ZORACH, A., & ULANOWICZ, R. E. (2003). Quantifying the Complexity of Flow Networks. How many roles are there? *Complexity*, Vol.8, 3.