

# **Biomimética y ciencias de la complejidad: fundamentos para el desarrollo regenerativo**

*Javier Collado-Ruano*

Universidad Nacional de Educación (UNAE), Ecuador

*Antonio Malo-Larrea*

Universidad del Azuay (UDA), Ecuador

**E**l objetivo principal de este artículo es demostrar que la biomimética es una ciencia compleja y transdisciplinaria que representa un meta-modelo para mejorar la economía, la ingeniería, el diseño, la arquitectura, el urbanismo, la industria, la tecnología, la política, la educación, la energía, el arte, etc., y también nos abre las puertas al desarrollo regenerativo. Mientras que la noción de desarrollo sostenible está enfocada en minimizar el impacto negativo de los humanos en el planeta, el desarrollo regenerativo se enfoca en maximizar el impacto positivo del ser humano en la Tierra. En este trabajo también se presentan las diferencias epistemológicas entre la ciencia moderna y las ciencias de la complejidad. Como resultado, la investigación defiende que la biomimética constituye un meta-sistema de pensamiento que busca regenerar el sistema socio-ecológico mediante una relación más cooperativa y menos dominadora con la naturaleza. Este concepto biocéntrico establece un nuevo imaginario colectivo basado en lo que podemos aprender de la naturaleza y no en lo que podemos extraer. Además, este bioconocimiento se aborda desde el fenómeno de la permacultura, basado en asentamientos humanos locales cuya filosofía de vida emula los modelos socio-ecológicos de las comunidades aborígenes tradicionales de Australia. Por último, se concluye que la revolución biomimética representa el inicio de una nueva era civilizatoria que busca transformar la matriz productiva del capitalismo globalizado actual con el fin de respetar los límites biofísicos establecidos por los ecosistemas naturales.

## **Introducción al sistema socio-ecológico**

La ecología humana, la economía ecológica y la ecología política abren un abanico de preguntas muy grande y colorido. Los límites de nuestro planeta y el concepto de la entropía cuestionan profundamente la relación de las sociedades humanas

con la naturaleza. Las ideas de progreso ilimitado y crecimiento infinito son una falacia cognitiva que ha provocado la sexta extinción en masa (Leakey & Lewin, 1996) y el cambio climático del Antropoceno (Steffen, Crutzen & McNeill, 2007), un periodo geológico caracterizado por la gran huella ecológica que dejamos en nuestro planeta (Wackernagel & Rees, 1996). A su vez, estos cuestionamientos filosóficos implican un proceso de re-significación del concepto de naturaleza, ya que producen racionalidades alternativas al capitalismo neoliberal globalizado (Leff, 2004). La noción de naturaleza implica que la *crisis ecológica* actual es causada porque el ser humano ha modificado el equilibrio de los ecosistemas. La realidad ontológica que nos rodea es un *continuum* donde la materia, la energía y la información fluyen libremente desde los circuitos ecológicos hacia los circuitos socio-económicos (Toledo, 2008). Las relaciones de los sistemas sociales con el sistema ecológico son relaciones evolutivas y co-evolutivas (Norgaard, 1984, 1987). Por esta razón, las ciencias sociales comenzaron a asumir la interdependencia del sistema social y del sistema ecológico durante el siglo XX, pero también su indivisibilidad (Morin, 1995, 1996; Stevens, 2012). En este contexto histórico, se produce una conceptualización ecológica de lo social, y social de lo ecológico, formando el sistema socio-ecológico (Gallopín, Gutman, & Maletta, 1989), o sistema social-ecológico (Berkes & Folke, 1992). El *sistema socio-ecológico* es mucho más que la integración conceptual de dos entidades que han sido tradicionalmente entendidas como dos sistemas diferentes, los sistemas social y ecológico. El sistema socio-ecológico es un sistema complejo y en continua evolución (Pujantell-Albós, 2012).

La concepción del sistema socio-ecológico implica, por un lado, que las sociedades humanas son parte del sistema ecológico, y por tanto, están profundamente conectadas a los procesos ecológicos a través de sus funciones biofísicas. Y por otro lado, también implica que el sistema social y el sistema ecológico deben ser considerados como un solo sistema complejo y adaptativo (Madrid, Cabello, & Giampietro, 2013). De acuerdo con Erb (2012), las sociedades humanas son un híbrido que nace del sistema cultural y del sistema biofísico. Para Latour (1993), no existen entidades o cosas, como puede ser la naturaleza, la sociedad o incluso la cultura, sino que existe lo humano y no humano, que forma híbridos socio-naturales que se reproducen constantemente.

El término socio-ecológico fue originalmente utilizado desde la década de 1950 en la etología (la ciencia que estudia el comportamiento animal), concretamente en la etología social, para referirse a las relaciones entre la ecología, la dinámica poblacional y el comportamiento social (Hurrell, 1970). Las primeras referencias a este término usado para enlazar a los sistemas humanos con su sistema ecológico se encuentran en la década de 1960, con el artículo de Gunnar Lindh *Water resources management problems in urban agglomerations*, publicado en 1966, donde

se presenta a las cuencas hídricas como sistemas socio-ecológicos. De esta manera, la idea de sistema socio-ecológico surge en la etología, y es adoptada después por las ciencias sociales y la ecología humana, para referirse al sistema complejo formado por las sociedades humanas y su sistema ecológico.

## La ciencia moderna y su reduccionismo epistemológico

Antes de producirse la gran revolución industrial que cambió para siempre el orden natural de los ecosistemas (Malthus, 1926), la ciencia moderna ya había comenzado a vertebrar el conocimiento de forma positivista e hiper-especializada. A pesar de que Galileo y Newton consideraban que la filosofía y la teología continuaban siendo las formas de conocimiento adecuadas para la explicación/compreensión de la realidad, otros padres del método científico moderno como Bacon y Descartes tuvieron posiciones diferentes. Actitudes bien diferentes tuvieron después los iluministas y los positivistas, que llevaron la intelectualidad europea hacia un camino contrario al propuesto por Galileo y Newton.

De este modo, el positivismo europeo irrumpió como una corriente de pensamiento en el siglo XVIII y encontró su punto álgido en la primera parte del siglo XX, con el denominado positivismo lógico promovido por el Círculo de Viena. Se trata de un movimiento filosófico que aparece como reacción a la filosofía idealista y especulativa, afirmando que el único conocimiento verdadero es el conocimiento científico, que surge con el análisis de los hechos empíricos a través del método científico. Con el transcurso del tiempo, el legado epistémico que hemos recibido en la actualidad de la ciencia moderna, es una herencia reduccionista donde el conocimiento dejó de ser el *espejo mental-espiritual* del Universo, el cual estaba presente en muchas tradiciones ancestrales de los pueblos originarios. Este abordaje epistémico objetivizó a la naturaleza y la redujo a un simple proveedor de materia prima para la industria, convirtiéndola en un simple instrumento de manipulación y explotación (Max-Neef, 1986).

Desde el siglo XVII hasta el siglo XIX, la ciencia moderna se fundamentó en la idea de separación del individuo con la naturaleza (separación de sujeto y objeto) y estableció tres postulados fundamentales: 1) la existencia de leyes universales de carácter matemático; 2) la identificación de estas leyes por experimentos científicos; y 3) la reproductibilidad de los datos experimentados. Las matemáticas se constituyeron como el lenguaje de esa nueva ideología científica empírico-racional que pronto se volvió hegemónica en los ambientes científicos y académicos para formular nuevas teorías del conocimiento. Un buen ejemplo es el método analítico creado por Descartes en su “*Discurso del Método*” de 1637, cuyo principio “*cogito ergo sum*” (pienso, luego existo) constituye el elemento esencial para

establecer un dualismo sustancial entre el cuerpo (*res extensa*) y el alma (*res cogitans*); entre el sujeto y el objeto; entre el espíritu y la materia; entre el sentimiento y la razón; entre la libertad y el determinismo.

En términos generales, el pensamiento derivado de la física clásica se fundamentó como el soporte epistemológico para la organización del conocimiento científico de la ciencia moderna, que comprendía al propio universo como una máquina mecanicista y previsible al estar limitado por las leyes de la *continuidad*<sup>1</sup>, la *causalidad local*<sup>2</sup> y el *determinismo*<sup>3</sup>. La sencillez de estos tres conceptos científicos ha venido fascinando a gran parte de intelectuales racionalistas de los últimos siglos en el mundo europeo y occidental. Esta situación de euforia colectiva científica dio lugar a una nueva organización del conocimiento denominada hoy día como *paradigma mecanicista* o *paradigma de la simplificación* por su tendencia a fragmentar el conocimiento científico en un número creciente de disciplinas especializadas de partes cada vez menores de la realidad (Morin, 2005).

Con el transcurso del tiempo, esta visión reduccionista ha dado lugar a una ilusión o error epistémico que ha llevado a las sociedades occidentales a considerar el conocimiento científico como el único conocimiento válido “para llegar a la verdad”. Esta creencia cultural también marginó a aquellas esferas que no son medibles, constatables ni experimentables. Es decir, las emociones, la espiritualidad y la creatividad, como otras tantas dimensiones humanas, han sido olvidadas históricamente por una ciencia moderna que ha evolucionado de acuerdo a los intereses económicos capitalistas. De este modo, el pensamiento racional y científico se constituyó como el eje de enunciación de paradigmas (Dussel, 2006). Como consecuencia de ello, la economía globalizada nos ha llevado a cuotas de insostenibilidad planetaria sin precedentes históricos.

Si bien es cierto que gracias al pensamiento de reducción epistemológica occidental se ha obtenido un gran desarrollo tecnológico y material en las últimas décadas, la propia especialización disciplinar ha puesto en jaque las fronteras conceptuales y metodológicas del reduccionismo epistemológico en que la ciencia moderna se apoyaba. Paradójicamente, ha sido la esencia misma de las ciencias exactas las que han llevado a la idea de los límites del conocimiento disciplinario (Nicolescu, 2008). Después de un largo período de tiempo bajo un marco epistemológico reduccionista, el conocimiento disciplinario ha llegado a sus propias limitaciones, extendiéndose también para la cultura y la vida social en general. Esta situación ha permitido la aparición de un diálogo interdisciplinar entre las propias disciplinas científicas. Pero también ha provocado un diálogo inter-epistemológico transdisciplinar entre las disciplinas científicas con los saberes no científicos subyacentes de las culturas ancestrales, la sabiduría indígena, las artes, la espiritualidad, las emociones y otras epistemes (Collado, 2018).

## Las ciencias de la complejidad y su transdisciplinariedad epistemológica

Si bien la ciencia positivista implicó la muerte de la idea de la naturaleza como un ser cuasi-cósmico y mítico, el nacimiento de la ecología como una ciencia tácitamente compleja, significó el surgimiento de nuevos conceptos como ecosistema y biósfera. Estos conceptos resucitaron a la naturaleza como un ente vivo que se auto-organiza y que se autorregula (Morin, 1995). Lynn Margulis (2002), quien propuso la teoría biológica de la endosimbiosis sobre el origen de los organismos eucariotas, y quien además es coautora de la hipótesis Gaia (Margulis & Lovelock, 1989), sostenía que la naturaleza es una entidad evolutiva y autopoiética (Maturana & Varela, 2011). Ese sistema natural en constante proceso de evolución, autoorganización y automantenimiento, ha sido llamado también sistema ecológico por Berkes & Folke (1992). De esta manera, el sistema ecológico puede ser entendido como un *sistema adaptativo complejo* (Levin, 1998).

Durante la modernidad, la naturaleza se ha ido constituyendo como un ente discursivo, es decir, como una entidad que puede ser protegida, culpada y dominada, en nombre del bienestar de la humanidad (Leff, 2004). La dicotomía sociedad-naturaleza ha permitido el uso de la naturaleza como una fuente de crisis, facilitando el ejercicio del poder, al justificar decisiones geopolíticas y económicas específicas (Kaïka, 2003). De ahí que las percepciones de la *naturaleza* han tenido, y tienen, profundas implicaciones geopolíticas (Gandy, 2004). En este contexto de crisis civilizatoria (Morin & Kern, 2005), las ciencias de la complejidad ofrecen una perspectiva intersistémica que permite estudiar la ambigüedad de la distinción sociedad-naturaleza, evidenciando la interacción de los valores humanos con el entendimiento científico del mundo natural (E. Odum, 1997; H. Odum, 1971; Prigogine & Stengers, 1984; Schneider & Kay, 1994; Schrödinger, 1944; Ulanowicz & Hannon, 1987; Whiteside, 2002).

Dicho de otro modo, las ciencias de la complejidad emergen como una alternativa epistémica transdisciplinar al pensamiento científico positivista, que desde la Grecia antigua hasta nuestro tiempo ha buscado construir un conocimiento humano preciso, cierto y seguro. Este positivismo lógico se sostiene en un pensamiento lineal, donde toda causa tiene un efecto y viceversa, lo que permite modelar al cosmos y predecir su comportamiento. Es decir, entiende al universo como una gran máquina que se puede descifrar y controlar, y a la tierra como otra máquina que nos puede proveer infinitamente de recursos (Munné, 2004).

Si bien es cierto que los principios de universalidad, reducción y separación de la inteligibilidad propia del pensamiento “clásico” dieron lugar a grandes progresos (desde la gravitación de Newton hasta la relatividad de Einstein), no cabe duda que el mismo desarrollo de los conocimientos científicos ha entrado en crisis desde la revolución cuántica (Morin, 2008). Resulta evidente que el abordaje

reduccionista del conocimiento positivista es incapaz de visualizar el contexto planetario actual de crisis ecológica y civilizatoria, puesto que se basa únicamente en una estrategia o inteligencia parcelada, compartimentada y disyuntiva. Por este motivo, las ciencias de la complejidad emergen desde un abordaje epistémico transdisciplinar que nos permite entender mejor la multidimensionalidad e interconectividad de los fenómenos ontológicos de nuestra realidad.

En este sentido, Morin (2005) nos recuerda las palabras del físico y matemático Blaise Pascal: “*es imposible conocer el todo sin conocer las partes, ni conocer las partes sin conocer el todo*”. Pero no se trata de sustituir el orden por el desorden, la separabilidad por la no separabilidad, ni la lógica clásica por la lógica cuántica o por una sinrazón. Se trata de complementar los principios inteligibles del pensamiento clásico reductor con los principios epistémicos transdisciplinares de las ciencias de la complejidad. Del mismo modo que la transdisciplinariedad *se nutre* de la disciplinariedad, en el sentido de que la complementa, la transgrede y no se opone a ella; el pensamiento complejo debe contextualizar globalmente y, al mismo tiempo, reconocer lo singular, lo concreto y lo individual.

En palabras del biólogo y teórico Edward Wilson (1998, 59), “*la complejidad es lo que interesa a los científicos al final, no la sencillez. El amor por la complejidad sin reduccionismo hace arte; el amor por la complejidad con reduccionismo hace ciencia*”. Es decir, las ciencias de la complejidad integran y complementan el abordaje epistémico reductor de la ciencia moderna, puesto que tiene como horizonte gnoseológico la búsqueda de una dialógica entre los diferentes niveles que constituyen los fenómenos de la totalidad viviente. Mientras que el pensamiento simplificador explica todos los objetos, fenómenos y sistemas a partir de la reducción hiperespecializada de sus partes más simples y elementales, el pensamiento complejo y transdisciplinar combina saberes científicos y no científicos. Es decir, las ciencias de la complejidad se constituyen mediante un diálogo inter-epistemológico que fusiona los conocimientos científicos de un universo exterior con la sabiduría ancestral de nuestro universo espiritual interior (Collado, 2018). Es precisamente en este marco epistemológico de ciencias de la complejidad donde aparece la biomimética como un meta-sistema de pensamiento.

## **La biomimética como meta-sistema de pensamiento**

Ante los problemas de insostenibilidad planetaria y la crisis socio-ecológica actual, el enfoque biomimético emerge como una de las respuestas más innovadoras para proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida a través de nuevos hábitos de consumo y producción sostenibles. El término *biomímesis* proviene del griego antiguo *bios* (vida), y *mimesis* (imitación), por lo que significa “imitación

de la vida”. Pero esta visión científica de estudiar e imitar los procesos naturales es muy antigua, y está presente en la mayoría de las cosmovisiones ancestrales y tradiciones culturales antiguas. “*La biomimesis se vale de un estándar ecológico para juzgar la corrección de nuestras innovaciones. Después de 3.800 millones de años de evolución, la naturaleza ha descubierto lo que funciona, lo que es apropiado y lo que perdura*” señala la bióloga Janine Benyus (2012, 13). En efecto, a diferencia de la Revolución Industrial, que viene usando a la naturaleza como un objeto sin vida para producir materia prima, la Revolución Biomimética inicia un período basado en lo que podemos aprender de la naturaleza para resolver nuestros complejos problemas sociales.

La perspectiva biomimética puede *bioinspirarnos* para mejorar la economía, ingeniería, diseño, arquitectura, urbanismo, industria, tecnología, política, educación, energía, arte, etc. (Collado, 2017). Desde esta perspectiva meta-sistémica, se puede definir la biomimesis como el estudio transdisciplinar de la auto-eco-organización de los sistemas biológicos en su entorno medioambiental, con la finalidad de descubrir los principios de sostenibilidad y las estrategias coevolutivas que se producen en la naturaleza para tomarlos como un meta-modelo a imitar en los sub-modelos humanos. Dicho de otro modo, la biomimética es un meta-modelo epistémico que busca transformar la encrucijada histórica en la que nos encontramos a través de la imitación de los procesos creativos que se hallan intrínsecos en la sabiduría de la naturaleza.

La biomimética constituye una cosmovisión epistemológica que cuestiona los valores y las prioridades occidentales con el fin de transformar el imaginario colectivo actual que nos conduce al colapso ecológico y civilizatorio. También nos muestra que el crecimiento material continuado es insostenible y nos invita a concebir al propio universo desde un pensamiento más holístico, relacional, contextual y participativo. De acuerdo con Benyus (2012, p. 16), “*los seres vivos han hecho todo lo que queremos hacer nosotros, sin devorar combustibles fósiles, contaminar el planeta ni hipotecar su futuro. ¿Puede haber mejores modelos?*”. Sin duda, la biomimética representa una (r)evolución del conocimiento humano porque deja atrás siglos de esfuerzos destinados a dominar y controlar la naturaleza (Riechmann, 2014).

Esta idea de armonía con la Tierra ha estado presente en el ideario de las cosmovisiones ancestrales de los pueblos indígenas y aborígenes originarios, al defender la Pachamama como un sistema orgánico vivo, y no como una entidad muerta que únicamente nos provee de materias primas para su manufacturación. De ahí el carácter transdisciplinar adyacente en la biomimesis, cuya ecología de saberes científicos y no científicos convergen para crear un meta-modelo epistémico que nos abre las puertas a una convivencia socio-ecológica más resiliente. Es por esa razón que muchos científicos están volviendo a estudiar todas aquellas epistemes

que abogan por rescatar y defender a todos los organismos vivos y no vivos de la naturaleza por encima del lucro económico que impone la globalización imperante. Resulta obvio que la biomimética no es una idea nueva, ya que los humanos siempre han observado a la naturaleza en busca de respuestas para solucionar problemas simples y complejos de nuestra existencia.

Por este motivo, la biomimética es una ciencia compleja que comprende a la naturaleza como un meta-punto de encuentro civilizatorio transhistórico entre todas las sociedades del mundo, desde las que se consideran arcaicas hasta las más tecnológicas, ya que constituye la fuente energética y material que las alimenta para su supervivencia pasada, presente y futura. Dentro de cada sociedad pasada o presente, la naturaleza ha sido una fuente de inspiración para todas aquellas personas creativas que han buscado respuestas en la sabiduría intrínseca de especies que han co-evolucionado durante mucho más tiempo que la humana. Por esta razón, la biomimética se fundamenta como iniciativa inter-epistemológica que viene inspirando a múltiples artistas, arquitectos, músicos, escritores, ingenieros, economistas, médicos, biólogos, ecólogos, educadores y científicos de todo el mundo a lo largo de nuestra historia humana. De ahí que Benyus reivindique la necesidad de emular a la naturaleza a través de la biomimesis:

Todas nuestras invenciones ya han surgido antes en la naturaleza en una versión más elegante y menos costosa para el planeta. (...) Nuestros sistemas de calefacción central y acondicionamiento del aire son superados por los 30°C constantes de los termiteros. Nuestro radar más complejo es duro de oído en comparación con la transmisión multifrecuencial de los murciélagos. Y nuestros “materiales inteligentes” tienen que inclinarse ante la piel del delfín o la trompa de las mariposas. Incluso la rueda, que siempre hemos considerado una invención genuinamente humana, ha resultado estar presente en los motores moleculares que accionan los flagelos de las bacterias más antiguas.

También nos dan una lección de humildad las huestes de organismos capaces de hazañas que nosotros sólo podemos soñar. Las algas bioluminiscentes combinan sustancias químicas para encender sus linternas corporales. Los peces árticos y algunas ranas son capaces de congelarse del todo y luego revivir, protegiendo sus órganos de los daños causados por los cristales de hielo. Los osos negros hibernan todo el invierno sin intoxicarse por su propia urea, mientras que sus primos los osos polares permanecen activos gracias a una capa de pelos transparentes que actúan como los paneles de un invernadero. Los camaleones y las platijas se camuflan modificando la coloración de su piel para confundirse con el sustrato. Las abejas, las tortugas y las aves migratorias navegan sin necesidad de mapas, mientras que las ballenas y los pingüinos bucean sin escafandra. ¿Cómo lo hacen? ¿Cómo consiguen las libélulas superar en maniobrabilidad a nuestros mejores helicópteros? ¿Cómo se las arreglan los colibríes para cruzar el golfo de México con menos de tres gramos de combustible? ¿Cómo pueden las hormigas cargar con el equivalente



de cientos de kilos en el sofocante calor de la jungla? (Benyus, 2012, p. 21).

Como bien argumenta Benyus, el mundo natural ha diseñado procesos estratégicos coevolutivos que funcionan y perduran a lo largo de miles de millones de años, por lo que representa el mejor meta-modelo a imitar, copiar, emular y perfeccionar para crear modelos civilizatorios más resilientes, sostenibles y regenerativos. Sin apenas darnos cuenta, las últimas décadas han traído incontables eco-inventos. Turbinas y aerogeneradores más eficientes a partir de la aleta de la ballena jorobada (el mamífero más grande la Tierra). Células fotovoltaicas que emulan a las hojas de las plantas. El tren bala japonés Shinkansen copió al martín pescador para reducir el ruido y el consumo (en un 15% menos de energía), aumentando su velocidad en un 10%. Se han creado hélices, ventiladores e impulsores a partir de la piel de moluscos, que presentan una fricción menor y reduce el ruido en un 75% y las necesidades energéticas en un 85%. Los ingenieros automovilísticos diseñaron la forma del coche “*Mercedes-Benz Bionic*” a partir del pez tropical “*ostracion cubicus*” para mejorar la aerodinámica y la resistencia de su chasis. La fabricación de cerámicas irrompibles basadas en la capa interna de la concha de ciertos mariscos (conocida como madreperla o nácar). La construcción de edificios orgánicos que ahorran un gasto energético considerable gracias a la imitación de las termitas “*macrotermes michaelsoni*”, una especie africana que mantiene la humedad y la temperatura en el interior de sus nidos. La creación de lentes especiales para grandes telescopios y plantas de energía termosolar que imitan los brazos de las estrellas de mar (*ofiuras*). La “hijuela de araña” imita y mejora las propiedades de la fibra arácnida natural para ayudar a fijar implantes de tejidos y órganos en la medicina regenerativa.

También se ha diseñado una pintura que imita el tejido hidrofóbico de la flor de loto (*nelumbo nucifera*) para repeler el agua y arrastrar toda la suciedad y microorganismos que puedan dañarla. Se ha desarrollado una cinta adhesiva auto-limpiable y reutilizable basada en los filamentos de la planta de las patas del reptil gecko. El velcro utilizado en las prendas de vestir reproduce la forma de aguja de gancho que recubren a las espinas del cardo (*xanthium spinosum*). Los cascos de bicicleta *Catlike* se inspiran en los paneles de miel de las abejas. El traje de baño que *Speedo* lanzó en los Juegos Olímpicos de Pekín (2008) simulaba la piel de los tiburones para reducir la fricción, ahorrar energía y aumentar la velocidad de los nadadores.

En suma, todos estos eco-inventos tecnológicos, y muchos otros que están inspirados en la naturaleza, suponen un paso muy importante para aprender a coevolucionar en armonía con la Pachamama. Muchas de las (bio)tecnologías que servirán para innovar y reconstruir ecológicamente nuestras sociedades ya están inventadas, o a lo sumo alcanzarán su madurez en los próximos años. Un buen

ejemplo son las bobinas eléctricas diseñadas por el inventor, físico e ingeniero Nikola Tesla al observar las tormentas eléctricas. Sin duda, todas estas ideas biomiméticas y eco-inventos podrían ayudarnos a cumplir los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) pactados por los Estados-Miembros de las Naciones Unidas para el año 2030, puesto que nos orientan hacia una transformación civilizatoria basada en el bioconocimiento.

## **La permacultura como gestión resiliente del sistema socio-ecológico**

Al hablar de bioconocimiento, es necesario hablar de todas aquellas prácticas socio-ecológicas que comprenden e integran la rica biodiversidad planetaria como una fuente de conocimiento científico y saber ancestral. La permacultura es una práctica agroecológica que acoge de manera transdisciplinar el conjunto de saberes, conocimientos y aplicaciones, tanto tradicionales como científicas, con el fin de producir alimentos obtenidos mediante un abordaje biomimético basado en la imitación y en el perfeccionamiento de los ecosistemas naturales. Para muchas personas, la permacultura es un claro ejemplo de estilo de vida y de planificación del hábitat a través de la ingeniería ecológica, puesto que se logra extender la concepción de sostenibilidad ecológica a la sostenibilidad de los asentamientos humanos locales.

El término de *permacultura* fue acuñado en la década de 1970 por los ecologistas australianos David Holmgren y Bill Mollison, con el objetivo de crear una filosofía de vida basada en los modelos socio-ecológicos de las comunidades aborígenes tradicionales de Australia. La *permacultura* constituye una nueva forma sistémica de pensar y concebir los principios ecológicos que pueden ser usados para proyectar, crear y mejorar los esfuerzos de individuos y comunidades para alcanzar un futuro sostenible. En su versión contemporánea, la permacultura reposa sobre tres pilares éticos fundamentales: (1) cuidar de la Tierra, (2) cuidar de las personas, y (3) repartir todos los excedentes. A partir de esta triética, el propio David Holmgren (2010) definió 12 principios de diseño de la Permacultura en su libro “*Permaculture: Principles & Pathways Beyond Sustainability*”. Apoyado en la Teoría de Sistemas, Homgren (2010) presenta las siguientes guías generales para desarrollar un sistema sostenible dentro de la complejidad social y natural:

- 1) *Observar e interactuar*. Hay que tomarse el tiempo necesario para involucrarnos en los procesos coevolutivos de la naturaleza. Es posible diseñar soluciones específicas que se adapten a cada situación particular.
- 2) *Capturar y almacenar recursos*. Es necesario desarrollar sistemas inteligentes y sostenibles que colecten y almacenen recursos para las generaciones futuras.

- 3) *Obtener rendimiento.* La productividad debe medirse en términos de producto real a partir del trabajo que se está haciendo, sin hipotecar el futuro.
- 4) *Practicar la autorregulación y aceptar la retroalimentación.* Al comprender cómo funcionan las retroalimentaciones de la naturaleza se pueden diseñar sistemas que sean autorregulados, lo que reduce el esfuerzo destinado a su gestión y manutención.
- 5) *Usar y valorar los servicios y recursos renovables.* Hay que hacer un mejor uso sobre la abundancia natural, reducir nuestro consumismo y acabar con la dependencia que tenemos de los recursos no renovables.
- 6) *Dejar de producir residuos.* El concepto de residuo deja de tener sentido al reutilizar los recursos disponibles e integrarlos adecuadamente dentro de los ciclos naturales.
- 7) *Diseñar de los patrones a los detalles.* Al observar la naturaleza y la sociedad desde una perspectiva más amplia se pueden identificar patrones que formen la espina dorsal de nuestros diseños, para después implementarlos con los detalles.
- 8) *Integrar más que segregar.* Puesto que en la naturaleza existen diferentes tipos de relaciones (depredación, parasitismo, simbiosis, etc.), hay que colocar los elementos apropiados en los lugares adecuados para desarrollar relaciones de cooperación entre los fenómenos que mejoran y fortalecen al conjunto como un todo.
- 9) *Usar soluciones lentas y pequeñas.* Los sistemas lentos y pequeños son más fáciles de mantener que los sistemas rápidos y grandes porque hacen un uso más adecuado de los recursos locales y producen resultados más sostenibles.
- 10) *Usar y valorar la diversidad.* La diversidad reduce la vulnerabilidad de las posibles amenazas y saca partido de la naturaleza única del ambiente en el que reside.
- 11) *Utilizar los bordes y valorar los elementos marginales.* La naturaleza tiene un mayor dinamismo en los bordes, ya que los interfaces entre aire, agua y tierra permiten constantes intercambios que facilitan la formación de condiciones propicias para el desarrollo y procreación de la vida.
- 12) *Usar y responder creativamente al cambio.* Se puede tener un impacto positivo en los cambios inevitables si observamos con atención e intervenimos en el momento justo.

Con estos 12 principios, Holmgren (2010) logra integrar las prácticas humanas con la naturaleza de manera resiliente, buscando responder al rápido crecimiento que se dio tras la Segunda Guerra Mundial, cuando se globalizaron los métodos agroindustriales por todo el planeta. Con la crisis del petróleo en la década de 1970, Mollinson y Holmgren criticaron la necesidad de crear nuevos sistemas agrí-

colas estables para frenar los procesos de envenenamiento de la tierra, del agua y del aire, la reducción drástica de la biodiversidad y la destrucción de toneladas de suelo que estos procesos agroindustriales ocasionan. Una década más tarde, en 1980, esta cosmovisión se expandió desde el diseño de sistemas agrícolas hasta un diseño más holístico y sostenible de los hábitats humanos. Gracias al esfuerzo colectivo de personas que se han enfocado en la puesta práctica de la permacultura se ha logrado revalorizar muchas prácticas y conceptos ancestrales de todo el mundo. En términos generales, el diseño de estos sistemas utiliza ideas de la Teoría de Sistemas, la biocibernética y la filosofía de la ecología profunda. Durante el proceso de diseño permacultural, la planificación, implementación y mantenimiento se enfocan tanto en la optimización del sistema para cubrir las necesidades actuales, como en la prevención de una productividad futura abierta a ser mejorada por las generaciones venideras.

En resumen, los procesos de diseño de la permacultura tienen el objetivo de integrar, de la mejor forma posible, nuestras necesidades socio-ecológicas, de tal modo que a largo plazo se pueda auto-regular y mantener dentro de un equilibrio dinámico mediante un número de interferencias muy reducido. Por eso la permacultura busca inspiración biomimética en los bosques, lagos y océanos, puesto que representan un meta-modelo a imitar para configurar nuevos marcos epistémicos de bioconocimiento. Un movimiento similar a la permacultura se dio en Nuevo México y California (EE.UU.) en la década de 1990, acuñado como “*bioneers*” (*biological pioneer*) por el emprendedor social, periodista y director de cine Kenny Ausubel, para describir el trabajo individual y grupal que busca soluciones creativas en los sistemas autorregulados de la naturaleza para emularlos y solucionar diversos problemas ambientales y socioculturales. Junto a su esposa Nina Simons, Ausubel fundó la ONG de *bioneers* para concientizar a la ciudadanía de que las soluciones a los problemas globales contemporáneos no están en la tecnología, sino en los modelos biológicos de interconectividad.

## **Conclusiones para caminar hacia el desarrollo regenerativo**

Además de todas estas cosmovisiones, filosofías y campos de aplicación emergentes en las últimas décadas, los pensadores biomiméticos también han buscado en la naturaleza el meta-modelo idóneo que les permita solucionar la devastación ecosistémica que ocasiona el crecimiento económico descontrolado en el que nos hallamos inmersos como sociedad-mundo (Morin & Kern, 2005). Como bien advierte el analista medioambiental Lester Brown (2004, p. 20), “si no podemos estabilizar la población y el clima, no habrá un solo ecosistema del planeta que podamos salvar”. De ahí la urgencia en concebir al sistema socio-ecológico desde

el meta-modelo de pensamiento que la biomimética nos ofrece para enfrentar el cambio climático y evitar el desastre ecológico y civilizatorio (Leff, 2004). Como ya se ha explicado, el sistema económico globalizado ha reducido la capacidad biofísica de regeneración de los ecosistemas: empujándonos en dirección opuesta a los procesos coevolutivos de la vida.

Al comprender que ya se han superado los límites ecológicos regeneracionales, tenemos la oportunidad de reinterpretar la economía humana como un subsistema del sistema Tierra, donde es necesario crear bucles cerrados, como sucede en los arrecifes de corales y en los bosques de secuoyas y de nogales. Como explica Wilson (2003, p. 110), “un gran número de observaciones independientes de diferentes tipos de ecosistemas apuntan hacia la misma conclusión: cuantas más especies viven juntas, más estable y productivo es el ecosistema que componen”. Al hacer una revisión historiográfica de aquellos autores y pensadores que ya vislumbraron en la naturaleza el meta-modelo y el punto de partida a emular para lograr procesos socioeconómicos sostenibles y resilientes, encontramos infinidad de voces que están distribuidas por todos los rincones del mundo.

Además de los pueblos originarios y tribus de aborígenes e indígenas tradicionales, que lo defienden desde hace milenios, multitud de activistas y científicos han respaldado la idea de caminar más allá del desarrollo sostenible, y comenzar a construir el camino hacia un desarrollo regenerativo (Orr, 2002; Pauli, 2015; Wahl, 2016). Mientras que el concepto de desarrollo sostenible está enfocado en minimizar el impacto negativo de los humanos en el planeta, el desarrollo regenerativo está enfocado en maximizar el impacto positivo del ser humano en la Tierra. Este concepto biocéntrico establece un nuevo imaginario colectivo basado en lo que podemos aprender de la naturaleza, y no en lo que podemos extraerle.

En este sentido, la República del Ecuador es un país pionero a nivel mundial, ya que la *Constitución de Montecristi* del año 2008 de la República del Ecuador reconoció los Derechos de la Naturaleza y les estableció un nivel conceptual similar al de los Derechos Humanos. La Carta Magna del Ecuador es un claro ejemplo de diálogo de saberes, donde las epistemes de la ciencia moderna occidental se fusionaron con los conocimientos y saberes de los diferentes pueblos, etnias, culturas y naciones que configuran la complejidad de este país andino. Aquí se reconoció, de manera horizontal y transdisciplinar, que nuestro déficit espiritual es la causa principal que nos aboca al consumo desenfrenado de los recursos naturales de la Pachamama.

Sin duda, los conceptos de *economía azul* y *desarrollo regenerativo* que plantea el emprendedor Gunter Pauli (2015) resultan muy importantes para consolidar la biomimética como una ciencia compleja enfocada en restaurar los ecosistemas naturales. A diferencia de la biosfera, que tiende a la diversificación y se auto-eco-organiza como un sistema en equilibrio a escala planetaria, la globaliza-

ción económica promovida desde Occidente ha tendido hacia la homogenización agroindustrial: destruyendo todos los ecosistemas para adaptarlos a sus necesidades industriales. Este comportamiento humano de consumo y producción ha dejado una huella ecológica que ha provocado todo tipo de daños en nuestro planeta: devastación de los recursos naturales, extinción de la biodiversidad, desertificación, contaminación del agua y del aire, calentamiento global, deshielo glaciar, acidificación de los océanos, cambio climático, inseguridad alimentaria, guerras, pobreza multidimensional, etc. De ahí la urgente necesidad de superar el concepto de desarrollo sostenible creado por la tecno-ciencia y de crear estrategias de desarrollo regenerativo que potencialicen nuestro impacto positivo como un sistema socio-ecológico integral. Según expresa Pauli:

Las industrias basadas en la economía azul, altamente productivas y capaces de generar pleno empleo, están en el horizonte. Se inspiran en la manera en que la naturaleza hace uso de la física y la bioquímica para construir totalidades que funcionan armoniosamente, canalizando la abundancia, transformando sin esfuerzo y reciclando eficientemente sin desechos ni pérdidas de energía. Estas fuerzas no sólo determinaron los parámetros de la vida en la Tierra, sino que contribuyeron a moldear la vida misma. Al pasar de una percepción lineal a una concepción cíclica y regenerativa, también podemos remodelar nuestros comportamientos y prácticas para asegurar que se satisfagan las necesidades básicas de todos y que nuestro planeta azul, con todos sus habitantes, progrese hacia un futuro óptimo (Pauli, 2015, p. 35).

En armonía con el artículo 72 de la Constitución de 2008 del Ecuador<sup>4</sup>, que señala que la naturaleza tiene derecho a la restauración, la noción de *desarrollo regenerativo* nos brinda la posibilidad de “restaurar” los ecosistemas de nuestra Madre Tierra. Esta nueva forma de comprender y utilizar el ingenio, la economía y la simplicidad de la naturaleza nos ayuda a emular la ecoeficiencia intrínseca de la lógica ecosistémica y, en consecuencia, transformar de raíz de la matriz productiva que se sustenta en industrias globalizadas. Esta es la esencia de la economía azul: utilizar a la naturaleza como un modelo, una medida y un mentor que nos ayuda a superar la crisis multidimensional provocada por la lógica reduccionista del pensamiento monocultural, colonial y epistemicida de la ciencia moderna (Santos, 2010).

Desde el marco de las ciencias de la complejidad, la biomimética emerge como un meta-sistema de pensamiento que busca regenerar el sistema socio-ecológico mediante una relación más cooperativa y menos dominadora con la naturaleza. La “bioeconomía” respeta los límites de la biosfera para producir de forma sostenible sin sobrepasarlos. La “ecología industrial” recompone los ciclos cerrados de los materiales. La “química verde” procura crear procesos similares a la bio-

química de la naturaleza. La “ecoarquitectura” se encamina a construir edificios e infraestructuras que afecten mínimamente a los paisajes y ecosistemas. La “ecología urbana” integra convenientemente los pueblos y las ciudades en el entorno ecosistémico local que los rodea. La “biotecnología” procura ser ambientalmente compatible en la instauración de biomoléculas artificiales al guiarse por el proceder de la naturaleza. Los “agroecosistemas” rechazan los petroquímicos de la agricultura industrial actual para crear una agricultura que imita a los ecosistemas naturales. Todos estos principios socio-ecológicos derivados del meta-modelo biomimético representan una nueva forma de pensar el futuro de la humanidad en la Tierra, donde se busca dar prioridad a la salud de la ciudadanía mundial y de los ecosistemas naturales frente al desarrollo industrial que nos guía hacia el colapso civilizatorio.

Nuestra biosfera no tiene los recursos suficientes para que el modelo socioeconómico predominante en EE.UU., la Unión Europea o Japón pueda expandirse a todos los países del mundo: “si viviéramos el estilo de vida de un residente típico de EE.UU., necesitaríamos 3.9 planetas” (WWF, 2014, p. 36). Por eso el desarrollo regenerativo implica un desarrollo humano que respete los límites biofísicos establecidos por los ecosistemas naturales. Esto significa que debemos transformar la matriz productiva y no cometer el error de intentar cambiar algunas partes del sistema capitalista globalizado actual. La Revolución Biomimética representa el inicio de un cambio de época civilizatoria que nos urge a transformar de raíz los hábitos individuales y colectivos de acumulación capital y explotación medio ambiental, especialmente en los denominados países del Norte global (Collado, 2016).

Si no puede universalizarse el modelo socioeconómico de occidente a los países del Sur global, porque es un modelo insostenible, tampoco es justo que lo sigan manteniendo, ya que está dando lugar a una especie de “apartheid planetario”: donde “el 1% más rico de la población mundial acumula más riqueza que el 99% restante” (OXFAM, 2016, p. 2) y el 80% la ciudadanía mundial está excluida de los grandes avances y privilegios del bienestar social alcanzado por estos países que se han “sobredesarrollado” a costa de utilizar los recursos naturales del resto. Esto significa que, en términos generales, los países del Norte global deben decrecer cuantitativamente y enfocarse en el desarrollo cualitativo, para dejar que los países del Sur global puedan crecer y desarrollarse (Daly, 2014; Georgescu-Roegen, 2011; Martínez Alier, 2011; Max-Neef, 2006; Polanyi, 2001). En conclusión, se requieren estrategias de codesarrollo que pongan en marcha políticas equitativas de redistribución de los recursos naturales que nos acerquen a modelos de vida menos perjudiciales para el medio ambiente y que permitan un desarrollo humano digno para toda la humanidad, presente y futura.

## NOTAS

<sup>1</sup> De acuerdo con los órganos sensoriales del ser humano, resulta inconcebible desplazarse del punto “A” al punto “B” sin pasar por todos los puntos intermedios que les separa.

<sup>2</sup> Todo fenómeno físico es comprendido por un encadenamiento continuo de causas y efectos.

<sup>3</sup> Conociendo la velocidad y la posición de un objeto físico, podemos calcular sus posiciones y velocidades en cualquier momento del tiempo.

<sup>4</sup> Según la Asamblea Nacional (2008), el artículo 72 señala: “La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas”.



## BIBLIOGRAFÍA

- ASAMBLEA NACIONAL (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: Asamblea Nacional.
- BENYUS, J. (2012). *Biomímesis. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza*. Barcelona: Tusquets editores.
- BERKES, F., & FOLKE, C. (1992). A systems perspective on the interrelations between natural, human-made and cultural capital. *Ecological Economics*, 5(1), 1-8.
- BROWN, L. (2004). *Plan B. Salvar el planeta: ecología para un mundo en peligro*. Barcelona: Paidós.
- COLLADO-RUANO, J. (2016). *Coevolución en la Gran Historia: una introducción transdisciplinaria y biomimética a los Objetivos de Desarrollo Sostenible* (Tesis Doctoral). Salvador: UFBA.
- COLLADO-RUANO, J. (2017). El Antropoceno en el contexto de la Gran Historia: consideraciones biomiméticas. *ILIA. Debates sobre investigación en Artes*. Guayaquil: UArtes Ediciones Ensayo, pp. 58-68.
- COLLADO-RUANO, J. (2018). Cosmodern Education: Emotional, Spiritual, and Ecological Literacy to Develop a Sustainable Mindset. In: *Developing Sustainability Mindset in Management Education*. New York: Greenleaf Publishing, pp. 133-157.
- DALY, H. (2014). *From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy*. Northampton: EEPL.
- DUSSEL, E. (2006). *Ética de la liberación en la edad de la globalización y de la exclusión*. Madrid: Trotta.
- ERB, K.-H. (2012). How a socio-ecological metabolism approach can help to advance our understanding of changes in land-use intensity. *Ecological Economics*, 76(0), 8-14.
- GALLOPIN, G., GUTMAN, P., & MALETTA, H. (1989). Empobrecimiento Global, desarrollo sostenible y medio ambiente: un enfoque conceptual. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 121, 403-428.
- GANDY, M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action*, 8(3), 363-379.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (2011). *From Bioeconomics to Degrowth*. New York: Routledge.
- HOLMGREN, D. (2010). *Permaculture: Principles & Pathways beyond Sustainability*. London: Permanent Publications.
- HURRELL, J. (1970). Social organization and the environment: Aspects of contemporary social ethology. *Animal Behaviour*, 18, Part 2(0), 197-209.
- KAÏKA, M. (2003). Constructing Scarcity and Sensationalising Water Politics: 170 Days That Shook Athens. *Antipode*, 35, 919-954.
- LATOUR, B. (1993). *We have never been modern*. USA: Harvard University Press.
- LEAKEY, R., & LEWIN, R. (1996). *The Sixth Extinction: Biodiversity and Its Survival*. Nairobi: Phoenix Books.
- LEVIN, S. A. (1998). Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems*, 1(5), 431-436.
- LEFF, E. (2004). *Racionalidad Ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*. México D.F.: siglo XXI.
- MADRID, C., CABELLO, V., & GIAMPIETRO, M. (2013). Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*, 63(1), 14-24.

- MALTHUS, T. (1926). *An essay on the Principle of Population*. Londres: John Murray.
- MARGULIS, L. (2002). *Planeta simbiótico. Un nuevo punto de vista sobre la evolución*. Madrid: Debate.
- MARGULIS, L. & LOVELOCK, J. (1989). «Gaia and Geognosy». *Global Ecology: towards a science of the biosphere*, 1-29.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (2011). *El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Barcelona: Icaria.
- MATURANA, H., & VARELA, F. (2011). *A Árvore do Conhecimento. As bases biológicas da compreensão humana*. São Paulo: Palas Athena.
- MAX NEEF, M. (1986). *La economía descalza. Señales desde el mundo invisible*. Buenos Aires: Nordan.
- MAX NEEF, M. (2006). *Desarrollo a Escala Humana*. Barcelona: Icaria.
- MORIN, E. (1995). La relación átropo-bio-cósmica. *Gazeta de Antropología*, 11.
- MORIN, E. (1996). El pensamiento ecologizado. *Gazeta de Antropología*, 12.
- MORIN, E. (2005). *Ciência com Consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- MORIN, E. (2008). *Introdução ao Pensamento Complexo*. Lisboa: Instituto Piaget.
- MORIN, E., y Kern, A. (2005). *Tierra-Patria*. Barcelona: Kairós.
- MUNNÉ, F. (2004). El retorno de la complejidad y la nueva imagen del ser humano: Hacia una psicología compleja. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology*, 38(1), 23-31.
- NICOLESCU, B. (2008). *O Manifesto da Transdisciplinaridade*. São Paulo: TRIOM.
- NORGAARD, R. (1984). Coevolutionary development potential. *Land economics*, 60(2), 160-173.
- NORGAARD, R. (1987). Economics as mechanics and the demise of biological diversity. *Ecological Economics*, 38(1-2), 107-121.
- ODUM, E. (1997). *Ecology: A Bridge between Science and Society*. USA: Sinauer Associates Incorporated.
- ODUM, H. (1971). *Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy*. USA: Columbia University Press.
- ORR, D. (2002). *The Nature of Desing. Ecology, culture, and human intention*. Oxford: Oxford University Press.
- OXFAM (2016). *Una economía al servicio del 1%. Acabar con los privilegios y la concentración de poder para frenar la desigualdad extrema*. Informe no 210 de OXFAM, 18 enero 2016.
- PAUL, P. (2009). *Formação do sujeito e transdisciplinaridade: história de vida profissional e imaginal*. São Paulo: TRIOM.
- PAULI, G. (2015). *La Economía Azul. 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos*. Barcelona: Tusquets Editores.
- POLANYI, K. (2001). *The Great Transformation. The Political and Economic Origins of Our Time*. Boston: Beacon Press.
- PRIGOGINE, I., & STENGERS, I. (1984). *Order out of chaos*. London: Heinemann.
- PUJANTELL-ALBÓS, J. (2012). *Les manifestacions del canvi global en àrees de muntanya mediterrània: Un cas d'estudi al Baix Montseny*. (Tesis de Ph.D.). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- RIECHMANN, J. (2014). *Un buen encaje en los ecosistemas. Segunda edición (revisada) de Biomímesis*. Madrid: Ed. Catarata.

- SANTOS, B. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Montevideo: Trilce.
- SCHNEIDER, E. D., & Kay, J. J. (1994). Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. *Mathematical and Computer Modelling*, 19(6–8), 25-48.
- SCHRÖDINGER, E. (1944). *¿Qué es la vida?* Salamanca: Universidad de Salamanca.
- STEFFEN, W., CRUTZEN, P., MCNEILL, J. (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36 (8): 614-621.
- STEVENS, P. (2012). Towards an Ecosociology. *Sociology*, 46(4), 579-595.
- TOLEDO, V. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 7. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/87196>.
- ULANOWICZ, R., & HANNON, B. M. (1987). Life and the Production of Entropy. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 232(1267), 181-192.
- WACKERNAGEL, M., Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- WAHL, D. C. (2016). *Designing Regenerative Cultures*. Axminster: Triarchy Press.
- WHITESIDE, K. (2002). *Diveded Natures: French Contributions to Political Ecology*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- WILSON, E. (1998). *Consilience. The Unity of Knowledge*. New York: Random House.
- WILSON, E. (2003). *The Future of Life*. London: Abacus.
- WORLD WILDLIFE FUND (WWF). (2014). Living Planet Report 2014. *Species and Spaces, People and Places*.