

Biomímesis: una propuesta ética y técnica para reorientar la ingeniería por los senderos de la sustentabilidad¹

Biomimicry: an ethical and technical proposal to redirect engineering through the paths of sustainability

Nicolás Jiménez Iguarán² y Omar Javier Ramírez³

Fecha de recepción: 25 de enero de 2016.

Aceptación: 21 de abril de 2016

Recibido versión final: 30 de mayo de 2016

Resumen

Nos encontramos en lo que el intelectual español Jorge Riechmann denomina “el siglo de la gran prueba”. La actual crisis ambiental, cuyos síntomas no dejan de aparecer, nos impone retos en todos los niveles de nuestra vida. El presente trabajo tiene el propósito de explorar las potencialidades que tiene la ingeniería para superar esta crisis (o “prueba”), a la luz de la categoría *biomímesis*. Para esto, partimos de una reflexión central sobre la correspondencia entre el saber técnico ingenieril, los límites de la naturaleza y la noción de progreso para, a partir de ella, realizar una crítica propositiva a la ingeniería e inferir algunos elementos éticos que encaminen su desarrollo. Como ciencia aplicada, la ingeniería forma parte de nuestras vidas así no seamos plenamente conscientes de ello. En su desarrollo y evolución ha contribuido a producir sobrecargas significativas en la biosfera. La ética ambiental ha venido insistiendo, durante más de cinco décadas, en la necesidad de reconducir nuestra civilización hacia técnicas aplicadas que aprendan de la naturaleza en lugar de degradarla. La biomímesis, al recordar que los resultados de la ingeniería deben estar asociados a un objetivo social colectivo, se presenta como un camino para superar esta compleja realidad.

Palabras clave

Biomímesis, crisis ambiental, ética, pensamiento ambiental, sustentabilidad, tecnología.

1. Un avance de este trabajo se presentó de forma oral en Bogotá (Colombia) el 15 de octubre de 2015, en el marco del Tercer Congreso Internacional de Tendencias de Ingeniería.

2. Filósofo. Estudiante de maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente en la Universidad de Manizales. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Nacionalidad: colombiano. Email: nicolas.jimenez@unad.edu.co

3. Ingeniero Ambiental y Sanitario. MSc. Tecnología Ambiental, MSc. Sistemas Ambientales Humanos y estudiante del Doctorado en Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Grupo de Estudios Ambientales Aplicados (GEAA). Nacionalidad: colombiano. Email: omar.ramirez@unad.edu.co

Enviar correspondencia a: calle 14 sur # 14-23, piso 5. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Bogotá (Colombia). Teléfono: 3443700 Ext. 1530.

Abstract

We are in what Jorge Riechmann –the Spanish thinker and writer- referred to as “the century of the great test”. The current environmental crisis, whose symptoms keep appearing, impose us challenges at every level of our lives. This paper aims at exploring the potentialities of engineering in order to overcome this crisis (or “test”), in the light of the category of biomimicry. We start from a central reflection on the correspondence among the engineering technical knowledge, the limits of nature and the notion of progress, in order to make a proactive critic to engineering and infer some ethical elements to redirect its development. As an applied science, engineering is part of our lives even if we are not fully aware of it. In its development and evolution, it has helped producing significant overloads in the biosphere. Environmental ethics has been insisting for more than five decades on the necessity of redirecting our civilization towards applied techniques that learn from nature rather than degrade it. Biomimicry, by recalling that the results of engineering must be associated with a collective social goal, is presented as a way to overcome this complex reality.

Keywords

Biomimicry, environmental crisis, ethics, environmental thinking, sustainability, technology, engineering.

Introducción

*Los animales, las plantas, los microbios
son los ingenieros consumados. Ellos han descubierto qué
funciona, qué es apropiado, y lo más importante,
qué perdura aquí en la Tierra*
(Benyus 1997).

Eduardo Galeano señaló, acertadamente, que “no hay naturaleza capaz de alimentar a un *shopping center* del tamaño del planeta” (1999, 276). Estamos en una situación alarmante donde el riesgo y la incertidumbre de los efectos de las intervenciones antrópicas, motivados en buena parte por una tendencia a acumular ilimitadamente, nos advierten sobre la necesidad de transformar radicalmente no solo nuestros patrones de consumo, sino el modelo de *producción*⁴ de la sociedad en su conjunto. En el informe *Los límites del crecimiento*, publicado en

1972, el Club de Roma alertaba sobre los peligros derivados de la explotación de los recursos naturales, la producción de alimentos y la industrialización. De acuerdo con este informe, si se mantiene la tendencia con la que el ser humano realiza sus actividades productivas, será cuestión de décadas para que el crecimiento económico alcance sus límites absolutos, y con ello, se llegue a un punto de no retorno donde el propio bienestar de la especie humana y la integridad de los ecosistemas, tal como los conocemos, se vean amenazados.

Justamente esto, la naturaleza convertida en una existencia, en un objeto comercializable y disponible, como bien lo explicó Heidegger (1997) en su crítica a la técnica moderna, es lo que nos ha llevado a este punto límite, en el que la única salida parece estar en

4. En este caso, el concepto *producción* hace referencia tanto a la actividad económica como a la posibilidad de una sociedad de producirse o reconstruirse constantemente según los designios del proyecto colectivo.

aquellos que hemos estudiado por miles de años pero de lo cual poco hemos aprendido: *la naturaleza*.

Nos encontramos en lo que el intelectual español Jorge Riechmann denomina “el siglo de la gran prueba”. La actual crisis ambiental⁵, cuyos síntomas no dejan de aparecer, nos impone retos en todos los niveles de nuestra vida, más aun a quienes trabajamos en la construcción y en el sostenimiento del mundo material.

En este orden de ideas, el presente trabajo tiene el propósito de explorar las potencialidades que tiene la ingeniería, como disciplina práctica, para superar esta crisis (o “prueba”) a la luz de la categoría de biomimética. Iniciaremos, en primer lugar, haciendo una reflexión sobre la correspondencia entre el saber técnico ingenieril, los límites de la naturaleza y la noción de progreso para, a partir de ella, realizar una crítica propositiva a la ingeniería e inferir algunos elementos éticos⁶ que encaminen su desarrollo.

Como ciencia aplicada, la ingeniería forma parte de nuestras vidas así no seamos plenamente conscientes de ello. Desde un lápiz hasta una máquina de fractura hidráulica para extraer gas o petróleo requieren, necesariamente, de la ingeniería. Ahora bien, ¿son sus resultados siempre los más deseados? En su desarrollo y evolución, la ingeniería ha contribuido a producir sobrecargas significativas en las funciones ambientales. Uno de los principales aportes de la biomimética es señalar que los resultados de la ingeniería no deben buscarse por sí mismos, sino que deben estar asociados, indefectiblemente, a un objetivo colectivo⁷. Rosemond y Anderson (2003) van más allá al afirmar que las prácticas de

la ingeniería deberían mantener no solo una alta calidad de vida para los seres humanos, sino también garantizar la existencia y el hábitat de otras especies. Bajo este orden de ideas, vale la pena recordar que la ética ambiental ha venido insistiendo durante más de cinco décadas en la necesidad de reconducir nuestra tecnósfera imitando a la naturaleza, en lugar de degradarla (Sosa 1994).

Progreso, técnica y crisis ambiental

La modernidad empieza con una disposición particular hacia el mundo. La razón, como máximo instrumento de poder, está en capacidad de *vencer* y *controlar* la naturaleza. La visión mecanicista del mundo sirvió de base para legitimar la instrumentalización del mundo y determinar el *modus operandi* de la teoría económica. Como fundamento de esta teoría económica orientada al crecimiento se encuentra el desarrollo de la técnica moderna, que no solo hace referencia a un conjunto de instrumentos para alcanzar ciertos fines, sino a una comprensión general del mundo en sí misma. La división entre sujeto y objeto, propia de la modernidad, impone un orden fragmentado del mundo, donde la naturaleza es interpretada ahora como *objeto*. En palabras de Adorno y Horkheimer (2009, 60), “lo que los hombres quieren aprender de la naturaleza es servirse de ella para dominarla por completo [...] Ninguna otra cosa cuenta”.

La técnica moderna está asociada a una pretensión de dominación total de la naturaleza: la tecnicificación de la *totalidad*. La naturaleza *aparece* como algo que está siempre disponible. La acelerada explotación

5. Es importante aclarar que si bien hablamos de crisis ambiental, la crisis como tal es de la civilización. Es decir, la crisis no es del medio ambiente sino del tipo de sociedad instalada, sus valores y su cultura. Desde hace algunos años se ha venido utilizando el concepto de *crisis civilizatoria* para referirse a la crisis estructural y sistémica de la sociedad actual, que afecta, considerablemente, al metabolismo sociedad-naturaleza (*tecnósfera/biósfera*).

6. Para efectos del presente trabajo, la ética se aborda desde una perspectiva de “ética ambiental”, entendiéndola como una rama de la ética que tiene como objeto identificar los diferentes presupuestos valorativos que inciden en la relación de los seres humanos con la naturaleza, para construir, a partir de un abordaje crítico, principios que orienten esta conducta de manera justa y sustentable.

7. Esta tesis se infiere de los planteamientos de Jorge Riechmann y Janine Benyus quienes promueven la biomimética como estrategia para la sustentabilidad y el cuidado de las generaciones futuras (Benyus 1997; Riechmann 2006).

de los recursos naturales hace patente esta forma violenta de *hacer aparecer* las cosas. De hecho, la propia denotación de la naturaleza en términos de *recursos naturales* es parte del proceso de tecnificación referido. El mundo natural, lejos de significar “una entidad autónoma, fuente de vida y de discurso” (Escobar 1998, 369) es reducido a un gran depósito de bienes materiales al servicio de la producción de mercancías.

La racionalidad productiva, imperante hoy en día, es una racionalidad instrumental que impone una economía desarticulada de su principal fuente: *la naturaleza*. El paradigma del crecimiento económico, como fuente de progreso ilimitado, valora la productividad desde la racionalidad cuantificable y calculadora del mundo en aras de la acumulación monetaria, igualmente ilimitada.

El mundo moderno codifica todas las cosas como *capital* y las enmarca en la lógica del mercado, sin considerar las complejas relaciones que impone sobre el mundo natural. De esta forma nos encontramos en lo que Jacques Ellul denominó una *sociedad tecnológica*, en la cual el mundo natural está permanentemente condicionado, por un lado, a los imperativos de la economía de mercado y, por otro, a la técnica moderna, es decir, a las máquinas, a los procesos de industrialización, al desarrollo de teorías científicas, y con ellas, a nuevas formas de organización social (Ellul 2003). Es preciso decir que este carácter predominante de la técnica sobre otras actividades humanas y formas de organización social llevó a Ellul a analizarla sistemáticamente en el mundo moderno como el fenómeno más importante del siglo XX. De esta forma, la economía de mercado y el vertiginoso avance tecnológico han conformado un complejo escenario de transformación de la naturaleza, donde el horizonte de conocimiento de los cambios desatados es limitado y donde los niveles de riesgo e incertidumbre se acentúan a múltiples escalas (Beck 1998).

En este orden de ideas, el saber técnico, que se configura en la modernidad, es aquel que responde a la racionalidad tecnológica. Este saber, convertido en

poder, es fuente de control y dominio de la naturaleza. Herbert Marcuse concibe el saber técnico como organización y tratamiento de la materia, “como el simple material de control, como instrumentalidad que se lleva a sí misma a todos los propósitos y fines” (Marcuse 2010,183). La ingeniería, como saber técnico aplicado a la vida cotidiana de la personas, está condicionada por esta racionalidad instrumental que conduce a las fuerzas productivas de la sociedad hacia niveles de cosificación cada vez más agresivos.

Los efectos de esta cosificación se evidencian en la crisis civilizatoria que se vive en la actualidad. La conexión entre la degradación ambiental y el uso desmesurado de la tecnología se expresa en la tensión permanente que esta última genera en los sistemas naturales en forma de impactos ambientales. Por ejemplo, a nivel de infraestructura (solo por referenciar un caso de los cientos posibles), se prevé que habrá 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras pavimentadas a nivel mundial a mediados del siglo, lo suficiente como para rodear la tierra más de 600 veces. Una novena parte de estos nuevos proyectos de ingeniería se realizará en países en desarrollo, los cuales albergan buena parte de los ecosistemas biológica y ecológicamente más ricos del planeta (Laurance *et al.* 2015). Las tensiones resultantes de estas intervenciones tecnológicas se materializarán en mayores niveles de deforestación, afectación de la fauna y flora, emisión de gases efecto de invernadero, alteración de la calidad de las aguas, entre otros impactos.

La ingeniería constituye, desde su especificidad epistemológica y práctica, ese conjunto de acciones que, a partir de la investigación fundamental (Agassi 1981), buscan un conocimiento descriptivo-útil para la resolución experimental de los problemas (Cuevas 2004). Esto implica, bajo el marco de acción de un modelo productivo a gran escala, la transformación del mundo material. Sin embargo, en ese proceso de alteración hemos limitado la capacidad de los ecosistemas de absorber y asimilar las perturbaciones externas (resiliencia) (Gudynas 2014; Leff 2004). De acuerdo con Barry Commoner (1992), esto significa

que la tecnósfera ha entrado en guerra con la biosfera; es decir, aquello que hemos diseñado interviene violentamente en contra de las leyes de la naturaleza. Esto es lo que Jorge Riechmann denomina como el *problema de diseño*⁸ y para el tema que nos ocupa, será de gran utilidad en la medida en que nos va a permitir problematizar el saber técnico ingenieril para abrir el camino hacia una reflexión crítica y propositiva sobre la ingeniería.

La ingeniería, entonces, juega un papel fundamental en la construcción y sostenimiento de la tecnósfera, y en consecuencia también le corresponde cuestionar sus propios fundamentos epistemológicos e incorporar, de ser necesario, los ajustes correspondientes que le permitan adecuar sus principios bajo criterios de sustentabilidad, democracia y justicia (Manzini y Bigues 2000).

El problema del diseño y los límites de la naturaleza

La ingeniería ha contribuido, de manera significativa, a la creación de la *tecnósfera*, es decir, de ese mundo creado por *nosotros* mismos. Sin embargo,

ese mundo no ha surgido de la nada, sino que se ha construido a partir del mundo natural, también conocido como biosfera o ecósfera. Estos dos mundos, que interactúan permanentemente, están en “guerra”; es decir, sus procesos no se articulan necesariamente de manera armónica sino que, por el contrario, producen *fracturas metabólicas*. El concepto de “metabolismo”, para comprender las dinámicas de apropiación de la naturaleza, permite evidenciar las tensiones económico-ecológicas de nuestra relación con los ecosistemas. De acuerdo con Víctor Toledo, “el metabolismo social comienza cuando los seres humanos socialmente agrupados se apropián materiales y energías de la naturaleza (*input*) y finaliza cuando depositan desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales (*output*)” (Toledo 2013, 47). A partir de la interacción simbiótica entre los seres humanos y los ecosistemas (Figura 1), se produce un desbalance ambiental de tal magnitud que los cimientos mismos de nuestra supervivencia se encuentran en peligro inminente.

Desde el punto de vista de la biomimética, “cada vez más ciclos naturales son rotos por la actividad

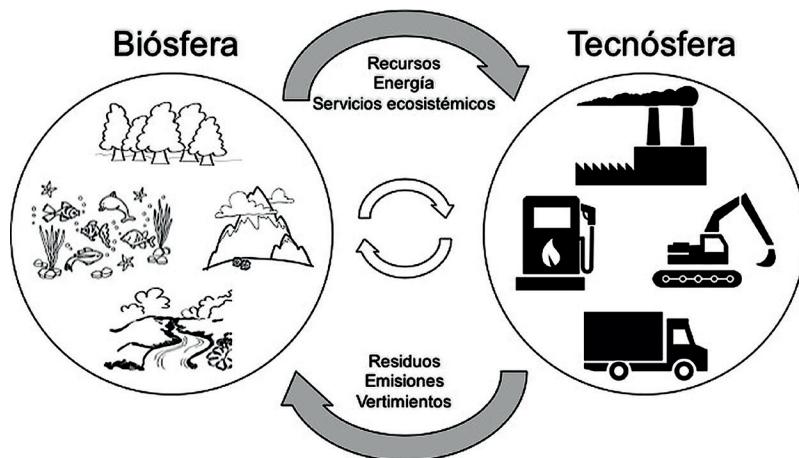


Figura 1. Relación biósfera y tecnósfera. Fuente: elaboración propia.

8. El problema del diseño hace referencia al desajuste que hay entre el mundo creado por los seres humanos y los ecosistemas. En el proceso de construcción y edificación de sistemas humanos, como las ciudades, no hemos tenido en cuenta el funcionamiento de los sistemas naturales y, en consecuencia, hemos producido unos desbalances ecosistémicos que pueden ser catastróficos.

humana, mientras que los «extremos» de nuestro sistema productivo absorben materias primas y energía; y excretan residuos y desechos a un ritmo insostenible” (Riechmann 2006, 74). Esto significa que en la medida en que se rompen los ciclos naturales con mayor frecuencia como producto de las actividades humanas, resulta más necesaria la tarea de rediseñar la tecnósfera. Si bien el informe del Club de Roma (*Los límites del crecimiento*) ya advertía, desde hace más de cuarenta años, la importancia de modificar las tendencias al crecimiento y de establecer unas normas de estabilidad ecológica y económica que pudieran ser mantenidas por mucho tiempo de cara al futuro, la biomimesis emerge como una propuesta concreta de cambio que, al promover la comprensión de los principios fundamentales de los procesos biológicos para su posterior emulación, aporta a la resolución de problemas técnicos específicos (Agnarsson *et al.* 2009).

Esta tendencia al crecimiento de mercado metabólicamente insostenible que está saturando al mundo es consecuencia directa de la era técnica, donde la explotación *desmedida* de la naturaleza prima sobre cualquier valor ético y ambiental. El problema del diseño nos permite, justamente, plantear algunos interrogantes sobre el quehacer ingenieril en el marco de esta tendencia al crecimiento. Las leyes de la física, de la ecología y de la administración son las principales restricciones con las que se encuentran los ingenieros. Las leyes con las que opera la naturaleza restringen los alcances técnicos de los diseños. Asimismo, las condiciones administrativas y presupuestarias imponen ciertos obstáculos. Sin embargo, estas restricciones no impiden de ninguna manera que sus desarrollos sean agresivos, toscos y fuente de desequilibrios ecosistémicos. Los proyectos de ingeniería, como los paquetes tecnológicos de fractura hidráulica o la modificación genética, por nombrar solo algunos ejemplos, tienen graves consecuencias ambientales y humanas.

En términos tecnológicos, la ingeniería ha incorporado conocimientos sofisticados de las ciencias naturales. Sin embargo, se enfrenta a un

gran dilema: avanzar ciegamente hacia el desarrollo tecnológico produciendo artefactos que maximicen el crecimiento económico a costa de la degradación ambiental y el deterioro social o, por el contrario, incorporar criterios de diseño “bioinspirados” que tengan como fundamento imperativos ético-ambientales que permitan la compatibilidad entre las tecnologías y el funcionamiento de la biosfera. La incertidumbre ambiental (incluyendo aspectos sociales como la salud pública) generada por varios de los procesos ingenieriles (como la fracturación hidráulica, los organismos transgénicos, el uso indiscriminado de preservantes y conservantes en los alimentos, entre otros), debe ser tomada en consideración, y de manera prioritaria, para que el control de las fuerzas materiales de la naturaleza no entre en contradicción con el propósito altruista de la ingeniería: mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

En las últimas décadas, la economía ecológica nos ha enseñado que el sistema económico no es una esfera aislada del sistema natural. Es decir, la tecnósfera no se desarrolla al margen de la biosfera. El esquema de la economía de mercado representa un flujo circular y cerrado donde productores y consumidores están coordinados de tal manera que el equilibrio del circuito no produce cambios significativos al interior del sistema. Para la economía ecológica, por el contrario, el proceso de producción se caracteriza por desarrollarse en un sistema abierto y dependiente de la energía y los materiales que intercambia con la naturaleza. De ahí la vulnerabilidad de la biosfera cuando la tecnósfera transgrede los límites de su propia base material. Según Nicholas Georgescu-Roegen, “el proceso económico está cimentado sólidamente en una base material sujeta a determinadas restricciones. En razón de estos obstáculos, el proceso económico tiene una evolución unidireccional irrevocable” (1989, 71). Así, estamos llevando al límite la capacidad de resiliencia ecológica, generando cambios energéticos significativos (entropía) y acelerando, como consecuencia de esto, la degradación ambiental, la

cual tiene como correlato el detrimento de la salud y de las condiciones físicas de vida de buena parte de la población, especialmente la más vulnerable. Los defensores de la economía de mercado han querido subordinar la naturaleza a sus propias leyes, sin darse cuenta de que, en realidad, es la economía la que está sujeta a los límites y restricciones de la naturaleza.

En este sentido nos preguntamos, ¿Qué criterios deberían orientar a la ingeniería para ajustarse al funcionamiento de los ecosistemas? ¿Qué principios ambientales han sido incorporados por la práctica ingenieril y no han podido restringir la producción de *fracturas metabólicas*? ¿Cómo es interpretada la naturaleza por la ingeniería y qué tanto es tomada como fuente de inspiración de sus desarrollos y diseños?

Biomímesis: diseñar una tecnósfera sustentable

Es necesario deconstruir y reconstruir la tecnósfera. No cabe duda de que estamos ante una crisis civilizatoria sin precedentes y de que es nuestra responsabilidad, como sociedad, superarla para que no llegue a niveles que con toda seguridad puedan resultar irreversibles. La necesidad de transformar nuestra relación social con la naturaleza es sumamente urgente. ¿Qué cambios tenemos que producir para transformar esta relación y qué responsabilidad tendría la ingeniería? Frente a esto hay un marco ético, de diseño y de actuación ante la vida que no es muy conocido en el contexto ingenieril latinoamericano, denominado *biomímesis*, el cual busca estudiar los modelos de la naturaleza para imitarlos y resolver problemas humanos (Benyus 1997).

Del griego *bios* (vida) y *mimesis* (imitación), la biomímesis (*biomimicry* en inglés) es un concepto que se inspira en la naturaleza. Durante los años noventa, la biomímesis estuvo fuertemente relacionada con la robótica. Se buscaba, entonces,

imitar organismos naturales para construir artefactos y máquinas altamente calificadas para cumplir funciones específicas⁹. Con el tiempo, el creciente interés en la biomímesis ha proporcionado un terreno fértil para el desarrollo de innovadores diseños y productos en diferentes campos del conocimiento, por ejemplo, en el área de perfeccionamiento de materiales (materiales inteligentes, modificaciones de superficies, materiales de arquitectura y adaptación tecnológica como el diseño de sensores) (Tatman *et al.* 2015); en el mejoramiento de la movilidad (a partir de la optimización de la cinética de movimiento y la eficiencia energética) (Lurie 2014); en el diseño arquitectónico (Zari 2010); en la hidrodinámica marina (Chu 2016); en la ingeniería de tejidos (Fernandez-Yague *et al.* 2015); entre otros.

La biomímesis, desde la perspectiva del *problema del diseño*, puede abordarse desde dos enfoques (Aziz y El Sherif 2016): i) a partir de la identificación de una necesidad humana o del diseño de un problema se procede a observar e investigar cómo otros organismos y ecosistemas resuelven este tipo de situaciones (enfoque de arriba hacia abajo o *top-down*); y ii) a partir de la identificación de una característica, comportamiento o función particular de un organismo y ecosistema, se investiga la forma de imitarlo para innovar en diseños y productos (enfoque de abajo hacia arriba o *bottom-up*) (Figura 2).

Pese a los recientes avances de la biomímesis, el desarrollo de procesos amigables con el medio ambiente y de tecnología no contaminante aun son campos poco explorados (Lurie 2014). Esto nos llama la atención y nos permite señalar la necesidad de abordar este tema desde una perspectiva política, más aun cuando la incorporación de la imitación de ecosistemas debe llevarse a cabo con el propósito de diseñar y crear las bases para una sociedad ecológicamente sustentable. Esto significa que la biomímesis, en un sentido más amplio, está

9. Sin embargo, es posible ubicar diferentes creaciones humanas en diversos períodos de la historia, donde la inspiración era la naturaleza. En 1903, por ejemplo, los hermanos Wright se inspiraron en el vuelo de los buitres para inferir algunos de los principios de la aviación y probar un aerodino impulsado con un motor.

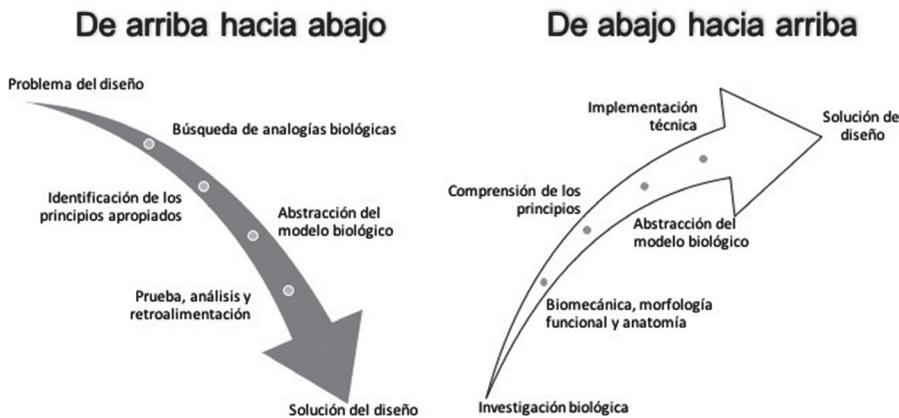


Figura 2. Enfoques top-down (de arriba hacia abajo) y bottom-up (de abajo hacia arriba) de la biomimética. Fuente: elaboración propia a partir de información de Aziz y El Sherif (2016).

llamada a aportar elementos significativos para reconstruir los “sistemas humanos de manera que encjen armoniosamente en los sistemas naturales” (Riechmann 2006, 194).

Autores como Benyus (1997), Commoner (1992) y Riechmann (2006), entre otros, han insistido en la necesidad de que la sociedad aprenda de las dinámicas y los diseños de la naturaleza para incorporar en los sistemas humanos principios que permitan adaptarse de manera más eficiente y sustentable a los límites ecológicos. Desde esta perspectiva, es posible abrir un campo de reflexión que nos permita pensar la ingeniería desde otras coordenadas: reconocer la naturaleza, no como un objeto o *commodity*, sino como un *modelo* de inspiración que permite solucionar problemas humanos de manera más eficiente y sustentable; o como una *medida*, a partir de la cual podamos considerar aquello que funciona, que resulta apropiado y que puede durar; o por último, como una *guía* que nos permita *aprender* de ella y orientarnos mejor en el mundo (Benyus 1997, 1). El reto de la ingeniería está, precisamente, en aprender de la naturaleza y utilizar ese conocimiento para “resolver los dos problemas pendientes en la actualidad, el problema de la supervivencia y el problema de la paz: por un lado, la paz entre los humanos y, por otro, la paz entre los humanos y todo el conjunto de la naturaleza” (Feyerabend 2005, 17).

Benyus (1997) ha destacado la estabilidad dinámica de los seres vivos no-humanos y ha sintetizado las estrategias que la naturaleza ha incorporado a través de su evolución para sobrevivir. De acuerdo con esta científica norteamericana, los sistemas naturales:

- Funcionan con la luz solar.
- Utilizan únicamente la energía necesaria.
- Adecúan forma y función.
- Reciclan todo.
- Recompensan la cooperación.
- Acumulan diversidad.
- Contrarrestan los excesos desde el interior.
- Utilizan la fuerza de los límites.
- Aprenden de su contexto.
- Cuidan de las generaciones futuras.

Imitar estas cualidades para diseñar sistemas o artefactos cuya función sea la preservación de la vida y la sustentabilidad ambiental no es imposible. En este orden de ideas, Riechmann considera a la biomimética como una *estrategia* que permite dotar de contenido el concepto de sustentabilidad, así como *reinventar lo colectivo* en el presente y en perspectiva de futuro (Riechmann 2006). De acuerdo con este autor, son cuatro (4) los rasgos que caracterizan nuestra situación actual.

En primer lugar, nos encontramos en un mundo saturado como resultado del acelerado crecimiento económico (*problema de escala*) y la cultura de consumo. En este “mundo lleno”, como afirma Riechmann, *la gestión de la demanda* es un principio que permite reorganizar la producción y la convivencia de manera sustentable. En segundo lugar tenemos el problema de diseño (mencionado anteriormente). Es decir, “nuestra técnósfera está mal diseñada” (Riechmann 2006, 194), y como resultado hemos transgredido los límites de la biosfera. El principio de *biomímesis* introduce criterios ético-ambientales en los procesos de diseño, impulsando tecnologías y sistemas sustentables. En tercer lugar, está el problema del ineficiente uso que hacemos de las materias primas y la energía. El desperdicio energético y de materiales es muy alto. En este sentido, el principio de *eficiencia* promueve el uso eficiente de la naturaleza, de manera que los impactos ambientales de nuestras actividades no sobrepasen los límites naturales. Por último, tenemos el problema fáustico, el cual hace referencia al riesgo que encarna la tecnociencia y su imagen del mundo como objeto, siempre disponible para ser utilizado. Frente a esta situación, diferentes autores e instituciones anteponen el *principio de precaución* (Riechmann y Tickner 2002).

Cada uno de estos rasgos nos permite trazar elementos de análisis para ubicar, de manera crítica y propositiva, el quehacer de la ingeniería hoy en día. Los resultados de la ingeniería no deben buscarse por sí mismos. El mundo está lo suficientemente saturado como para que continuemos produciendo más desperdicio y contaminación.

¿A qué escala se proyecta la ingeniería? Esta es una pregunta que nos permite reconocer qué es lo que está buscando la ingeniería actualmente. El problema del diseño, como vemos, es fundamental: no porque sea posible crear algo es necesariamente bueno y deseable. En este sentido, la tecnología debe contribuir al bienestar colectivo de la sociedad y en esa medida, debe alejarse del paradigma del crecimiento económico. De acuerdo con Riechmann, “hay que adaptar los procesos productivos en la

tecnósfera a las condiciones de nuestra vulnerable biosfera [...] Se trata de *diseñar productos* –bienes y servicios– y sistemas socioeconómicos introduciendo como primer objetivo la salud humana y la salud de los ecosistemas” (Riechmann 2006, 75).

Para alcanzar estos objetivos, es necesario que la ingeniería incorpore, como acontece en el mundo natural, diseños que fortalezcan las relaciones simbióticas, de tal forma que sustituya su actual rol depredador y reductor de la biodiversidad, por uno que favorezca la presencia de otras especies (Rosemond y Anderson 2003). Se trata, en otras palabras, de que la ingeniería pase de ser constructora de un mundo unidimensional (donde el monocultivo y las grandes urbes son sus principales exponentes) y se convierta en diseñadora de un mundo diverso y apto para el desarrollo de diferentes especies. Asimismo, los sistemas de ingeniería deben reincorporar principios ecológicos fundamentales como el ciclo de nutrientes, de tal forma que sus procesos minimicen el nivel de entropía y tiendan al reciclaje de materiales y a la capacidad de recuperación de los entornos intervenidos. Por último, es indispensable que la ingeniería formule diseños flexibles y adaptables a las condiciones y fluctuaciones de las condiciones ambientales, de tal manera que el éxito de los proyectos se evalúe tanto por la inclusión de especies y rasgos de los ecosistemas (Bergen *et al.* 2001), como por la cantidad de capital natural creado y conservado.

Con estas ideas se amplía el horizonte ético de la ingeniería, se impulsan nuevos desarrollos y se democratizan sus beneficios al hacer un uso eficiente de los recursos naturales. El profesional en ingeniería, además, debe ser cauto y debe reconocer que sus acciones bien pueden acarrear riesgos socio-ambientales de gran envergadura, o producir beneficios muy importantes para la sociedad. El *principio de precaución* (Riechmann y Tickner 2002), así como el *principio de responsabilidad* (Jonas 1995), invitan a tener una disposición humilde y a reconocer que *más no es necesariamente mejor*.

A modo de conclusión

Como se señaló en el epígrafe de este trabajo, “los animales, las plantas, los microbios son los ingenieros consumados”. Quizás estemos muy lejos de lograr esos niveles de adaptación que otros organismos de la naturaleza han logrado, pero de lo que sí podemos estar seguros es que tenemos que actuar y cambiar el rumbo de nuestra civilización. Imaginemos un diseño y una gestión del conocimiento y de la tecnología donde la naturaleza sea nuestro modelo, nuestra medida y nuestra guía, adaptando creativamente la construcción de nuestro mundo (*tecnósfera*) a los límites naturales de la *biósfera*. Es posible “vivir bien dentro de los límites de la biósfera” (Riechmann 2006, 165) y para ello necesitamos *reinventar*, con criterios ético-ambientales, tecnologías que nos permitan, justamente, restablecer el metabolismo social con la naturaleza y reconocernos, en tanto especie, como parte de ella.

La idea central que nos ha permitido transgredir los límites de la naturaleza es creer que ella está *abierta* a nuestra disposición. La biomimesis, desde una perspectiva ética y política, cuestiona el criterio de acción hasta ahora dominante (propio de un antropocentrismo mercantil fuerte) el cual define el “principio de máxima ganancia como fuerza motriz fundamental de la economía” (Fabelo 1999, 267). Este cuestionamiento no busca subvalorar al ser humano, ni desplazarlo del centro de atención para esbozar caminos de sustentabilidad, sino reconocer e interpelar sus rasgos distintivos históricamente desarrollados, para reconstruir las relaciones sociales que conducirán a otras formas de relacionamiento con el entorno natural.

Estamos en un momento clave en el que debemos aplicar una estrategia diferente. Es necesario reivindicar la perspectiva de la biomimesis y repensar, a la luz de sus postulados, una nueva ingeniería que construya tecnologías alternativas a escala humana, capaces de recrear la *tecnósfera* sobre la base de valores éticos-ambientales que permitan conducir por otro camino no solo la economía y los avances

tecnológicos, sino toda la civilización. Esta nueva ingeniería surgirá como resultado de múltiples esfuerzos e iniciativas que incluirán -pero no estarán limitadas a- la transformación de los currículos de estudio, la innovación en los procesos pedagógicos, la reflexión profunda de los fundamentos epistemológicos de la ingeniería, y el análisis reflexivo y ético de los procesos de transformación de la naturaleza impulsados por la ingeniería, en un contexto interdisciplinar y democrático. Para ello, siguiendo a Odum (1998), es fundamental tener presente que en la naturaleza hay una gran cantidad de respuestas acerca de lo que debemos hacer en la sociedad.

Walter Benjamin decía que las verdaderas revoluciones no son necesariamente las locomotoras de la historia (o del desarrollo), sino quizás, “la forma en que la humanidad, que viaja en ese tren, acciona el freno de emergencia” (Benjamin 2010, 34). Hoy sabemos que accionar ese freno de emergencia no es una tarea fácil, pero es nuestra responsabilidad crear las condiciones para hacerlo.

Referencias

- Adorno, T. y Horkheimer, M. 2009. *Dialéctica de la Ilustración: Fragmentos filosóficos*. Madrid: Editorial Trotta.
- Agassi, J. 1981. *Science and Society: Studies in the Sociology of Science*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Agnarsson, I. Dhinojwala, A. Sahni, V. y Blackledge, T. 2009. “Spider silk as a novel high performance biomimetic muscle driven by humidity”. *Journal of Experimental Biology* 212: 1990-1994.
- Aziz, M. y El Sheriff, A. 2016. “Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation”. *Alexandria Engineering Journal* 55: 707-714.
- Beck, U. 1998. *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.

- Benjamin, W. 2010. *Tesis sobre la historia y otros fragmentos*. Bogotá: Ediciones Desde Abajo.
- Benyus, J. 1997. *Biomimicry: Innovation inspired by Nature*. Nueva York: HarperCollins Publishers.
- Bergen, S., Bolton, S. y Fridley, J. 2001. "Design principles for ecological engineering". *Ecological Engineering* 18: 201-210.
- Chu, Y. 2016. "A new biomimicry marine current turbine: Study of hydrodynamic performance and wake using software OpenFOAM". *Journal of Hydrodynamic* 28(1): 125-141.
- Commoner, B. 1992. *En paz con el planeta*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Cuevas, A. 2004. "La epistemología y el conocimiento útil". *Ciencia y Sociedad* 24(3): 329-365.
- Ellul, J. 2003. *La edad de la técnica*. Barcelona: Ediciones Octaedro.
- Escobar, A. 1998. *La invención del Tercer Mundo. Construcción y deconstrucción del desarrollo*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Fabelo, J. 1999. "¿Qué tipo de antropocentrismo ha de ser erradicado?". En: *Cuba Verde. En busca de un modelo para la sustentabilidad en el siglo XXI*, compilado por C. Delgado, 264-268. La Habana: Editorial José Martí.
- Fernandez-Yague, M., Abbah, S., McNamara, L., Zeugolis, D., Pandit, A. y Manus, B. 2015. "Biomimetic approaches in bone tissue engineering: Integrating biological and physicomechanical strategies". *Advanced Drug Delivery Reviews* 84: 1-29.
- Feyerabend, P. 2005. *Adiós a la razón*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Galeano, E. 1999. *Patas arriba. La escuela del mundo al revés*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Georgescu-Roegen, N. 1989. "La ley de la entropía y el problema económico". En: *Economía, ecología y ética: Ensayos hacia una economía en estado estacionario*, compilado por H. Daly, 61-72. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Gudynas, E. 2014. *Derechos de la naturaleza y políticas ambientales*. Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- Heidegger, M. 1997. *Filosofía, ciencia y técnica*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Jonas, H. 1995. *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*. Barcelona: Editorial Herder.
- Laurance, W., Peletier-Jellema, A., Geenen, B., Koster, H., Verweij, P., Van Dijck, P., Lovejoy, T., Schleicher, J. y Van Kuijk, M. 2015. "Reducing the global environmental impacts of rapid infrastructure expansion". *Current Biology* 25(7): R255-R268.
- Leff, E. 2004. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. México D.F.: Siglo XXI.
- Lurie, E. 2014. "Product and technology innovation: What can biomimicry inspire?" *Biotechnology Advances* 32(8): 1494-1505.
- Manzini, E. y Bigues, J. 2000. *Ecología y democracia*. Barcelona: Icaria.
- Marcuse, H. 2010. *El hombre unidimensional: ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Odum, E. 1998. *Ecological vignettes: ecological approaches to dealing with human predicaments*. Nueva York: Harwood Academic Publishers.
- Riechmann, J. 2006. *Biomimesis: Ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención*. Madrid: Editorial Catarata.
- Riechmann, J. y Tickner, J. (Coord.). 2002. *El principio de precaución. En medio ambiente y salud pública: de las definiciones a la práctica*. Barcelona: Icaria.
- Rosemond, A. y Anderson, C. 2003. "Engineering role models: do non-human species have the answers?" *Ecological Engineering* 20: 379-387.
- Sosa, N. 1994. *Ética Ecológica*. Madrid: Ediciones Libertarias.

- Tatman, P., Gerull, W., Sweeney-Easter, S., Davis, J., Gee, A. y Kim, D. 2015. "Multiscale Biofabrication of Articular Cartilage: Bioinspired and Biomimetic Approaches". *Tissue engineering Part B* 21(6): 543-59.
- Toledo, V. 2013. "El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica". *Relaciones* 136: 41-71.
- Zari, M. 2010. "Biomimetic design for climate change adaptation and mitigation". *Architectural Science Review* 53(2): 172-183.

Citar este artículo como:

Jiménez, N. y Ramírez, O. 2016. "Biomimesis: una propuesta ética y técnica para reorientar la ingeniería por los senderos de la sustentabilidad". *Gestión y Ambiente* 19(1): 155-166.