

# Innovación ecológica: la biomimesis como una nueva forma de pensar y actuar ecológicamente

*Vincent Blok*

*Bart Gremmen*

School of Social Sciences. Wageningen University (Países Bajos)

**E**n este artículo, reflexionamos de manera crítica sobre el concepto de biomimesis. A partir de un análisis de esta noción en la literatura académica existente y de su origen filosófico, hacemos una distinción entre un concepto fuerte y uno más débil de biomimesis. El fundamento del concepto fuerte de biomimesis está relacionado con la idea de que la naturaleza es vista como una medida para juzgar la corrección ética de nuestras innovaciones tecnológicas, pero, al mismo tiempo, su debilidad estriba en una serie de presuposiciones cuestionables. Estas presuposiciones son abordadas a través del concepto más débil de biomimesis, pero al precio de que ya no cabe distinguir entre un tipo de innovaciones tecnológicas que fomenten la explotación y otro tipo de innovaciones de carácter ecológico. En ese sentido, el texto es una comparación de los conceptos relativos a la biomimesis mediante la reflexión crítica sobre cuatro dimensiones del mismo: mimesis, tecnología, naturaleza y ética.

## Introducción

Debido a las crecientes presiones sobre los recursos y el medio ambiente, se reconoce cada vez más que tenemos que buscar alternativas para resolver los problemas derivados de la destrucción tecnológica de los ecosistemas originados durante el periodo industrial (véase Comisión Europea, 2012). En consecuencia, la demanda de materiales reciclables y biodegradables está aumentando. En el contexto de la Unión Europea, por ejemplo, se argumenta que “en un mundo con presiones crecientes sobre los recursos y el medio ambiente, la UE no tiene más remedio que apostar por la transición hacia una economía circular eficiente y, en última instancia, regenerativa en el uso de los recursos” (Comisión Europea 2012, p. 1).

Con el transcurso de los años, las aproximaciones biomiméticas hacia la tecnología y a la innovación han recibido cada vez más atención como una alternativa

factible a las tecnologías convencionales que han provocado la destrucción de ecosistemas durante el periodo industrial. La biomimesis o biomimética es “una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza y los imita o toma inspiración de estos diseños y procesos para resolver problemas humanos” (Benyus 2002, I). La naturaleza se ve desde esta perspectiva como una fuente inspiradora de conocimiento -por ejemplo, una célula solar inspirada en una hoja-, lo que permite el desarrollo de innovaciones basadas en la naturaleza, como, por ejemplo, ciertos materiales reciclables y biodegradables. Otros ejemplos incluyen edificios sostenibles inspirados en termiteros que establecen una regulación térmica o diseños de automóviles inspirados en la forma en que los árboles y los huesos optimizan su resistencia y sus materiales.

Según los defensores de la biomimesis, este concepto introduce un enfoque nuevo y respetuoso con el medio ambiente, que ya no se basa en el dominio y en la explotación de la naturaleza, sino en el aprendizaje y en la exploración. Benyus, por ejemplo, argumenta que la primera revolución industrial se caracteriza por la dominación y explotación de la naturaleza, mientras que la segunda revolución industrial -biomimética- se caracteriza por el aprendizaje y la exploración de la naturaleza. Al “hacerlo de la manera natural”, nuestras innovaciones tecnológicas pueden estar mejor integradas y en una relación armónica con los ecosistemas naturales del planeta (Benyus 2002, ver Hawken *et al.*, 2000). Una orientación similar se puede encontrar en el enfoque *Cradle to Cradle* de McDonough y Braungart:

En lugar de preguntar ¿cómo puedo cumplir con los estándares ambientales actuales?, los diseñadores empezaron a cuestionarse lo siguiente: ¿en qué medida mis decisiones en el campo del diseño tienen sentido dentro del contexto global del mundo natural? Irónicamente, este enfoque sobre la tierra adopta el verde del diseño verde, porque seguir las leyes de la naturaleza es simplemente avanzar por el camino hacia un diseño óptimo y de alta calidad. En el mundo natural, los procesos de cada organismo en un sistema vivo contribuyen a la salud del conjunto. El desperdicio de un organismo se convierte en alimento para otro, y los nutrientes y la energía fluyen perpetuamente en ciclos cerrados de crecimiento, descomposición y renacimiento. Comprender estas cualidades regenerativas nos permite reconocer que todos los materiales que utilizamos como diseñadores, -incluso los materiales sintéticos de alta sofisticación técnica-, también se pueden ver como nutrientes. ...Las leyes de la naturaleza son, pues, la base de un buen diseño, en la medida en que contribuyen a conformar un conjunto cohesivo de prácticas de diseño basadas en la ciencia que denominamos *Cradle to Cradle Design* (McDonough & Braungart 2002).

Sin embargo, según los opositores a la biomimética, el concepto es tan amplio que uno podría preguntarse si no es más que un lema forjado por los químicos

para desempeñar un papel significativo en el campo de la sostenibilidad (véase Bensaude-Vincent *et al.*, 2002). Desde esta perspectiva, se pone en duda que la biomimesis sea una verdadera revolución, y hay un cuestionamiento sobre si es capaz de cumplir sus objetivos y en qué condiciones. Si la discusión actual acerca de la potencialidad de la biomimesis como una nueva forma de pensar y de actuar de manera ecológica muestra una cosa es que, precisamente, el concepto mismo y sus implicaciones están poco desarrollados desde un punto de vista filosófico (véase Mathews, 2011). Esta es una omisión importante porque es posible que la biomimesis acabe conceptualizándose implícitamente de manera ambigua o en categorías - tecnología versus naturaleza, descubrimiento versus intervención, explotación (tecnológica) versus exploración (ecológica), etc.,- lo que desembocaría en un estancamiento de su propio desarrollo.

A fin de profundizar en la conceptualización de la biomimesis como una forma ecológica de innovación tecnológica, en este texto reflexionamos críticamente en torno a esta noción. En la sección correspondiente a la “*Introducción*”, analizamos los elementos que constituyen el concepto de biomimesis y su origen filosófico, centrado en la dicotomía naturaleza y mimesis. Además de lo anterior, distinguimos un concepto fuerte y uno más débil, aunque más sofisticado, de biomimesis. Posteriormente, en la sección denominada “*Dos conceptos de biomimesis*”, comparamos ambos enfoques (la biomimesis fuerte y la débil) a través de una reflexión crítica sobre cuatro dimensiones que atraviesan este concepto: mimesis, tecnología, naturaleza y ética.

## **Dos conceptos de biomimesis**

### *La biomimesis y la conceptualización de la naturaleza*

La primera pregunta que nos gustaría abordar se refiere a la forma en que se presupone el concepto de naturaleza en la literatura en la que se trata la biomimesis. Durante las últimas décadas, varios filósofos y científicos han conceptualizado la naturaleza en sus diferentes trabajos sobre este asunto. Según Philip Ball, editor asesor de *Nature*, la biomimesis “decodifica y elucida la maquinaria molecular de la célula pieza por pieza” (Ball, 2001, p. 413); esto significa que la naturaleza es considerada aquí como un hecho tecnológico, es decir, como una máquina. Esta idea es confirmada por el químico de materiales Julian Vincent, quien conceptualiza la naturaleza como “el resultante de un proceso de Investigación y Desarrollo de 4 mil millones de años” (Vincent, 2001, p. 321). En una línea similar, Benyus argumenta que la naturaleza “ya ha resuelto los problemas que estamos luchando por resolver” en un proceso de “3.800 millones de años de investigación y desarrollo”

(Benyus, 2002). La naturaleza se considera aquí como una gran laboratorio de I + D. En un estudio histórico del concepto de biomimesis, Bensaude-Vincent *et al.*, argumentan incluso que la naturaleza puede ser entendida como un ingeniero en prácticas biomiméticas: “Biólogos, químicos, químicos físicos e ingenieros se reúnen en torno a un problema común: ¿cómo podemos crear, desarrollar, mantener y, finalmente, reciclar una estructura funcional con propiedades óptimas? Con base en ello, comenzaron a considerar a la naturaleza como un artista, un ingeniero incomparable del que podemos aprender muchas lecciones” (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002, p. 2). De esta forma, en la literatura sobre biomimesis, la naturaleza es vista como un *ingeniero* que está involucrado en un programa permanente de I + D con el objeto de resolver problemas comunes.

Llama la atención que el objetivo de la biomimesis es imitar a la naturaleza, pero aquí la naturaleza ya se entiende en términos tecnológicos, es decir, como una “tecnología natural” (Vincent & Mann, 2002) y la propia biomimesis como una vía de *transferencia* de tecnología desde la naturaleza hacia el hombre (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002). Es en este punto donde encontramos una primera ambigüedad con respecto al concepto de naturaleza. Por un lado, la idea de naturaleza se encuentra enraizada en una concepción tecnológica: la tecnología natural o la naturaleza como artista, *tektoon*, *techne*, o tecnología. Por otro lado, la dicotomía tradicional entre la naturaleza y la tecnología se ignora bajo el enfoque biomimético, o, como dice Ball, en los métodos biomiméticos de desarrollo de tecnología e innovación, en la medida en que “esta disparidad entre el arte de fabricación natural y el sintético comienza a disminuir” (Ball 2001, p. 413). Bajo esta perspectiva cabe reconocer un planteamiento marxista que sostiene que toda la tecnología humana está integrada en la naturaleza y, por lo tanto, es una expresión de ésta, ya sea sostenible o no. Esta primera ambigüedad, al mismo tiempo, plantea dos preguntas. Por un lado, cabe cuestionar si es posible superar las dicotomías fundamentales (como la que existe entre la naturaleza y la tecnología), que están tan profundamente enraizadas en nuestra cultura, y revitalizar los debates públicos sobre la modificación genética en la producción de alimentos, en la mejora humana, etc., (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002). Por otro lado y más importante para lo que nos ocupa, es posible también preguntarse sobre cuál es la diferencia real entre la primera y la segunda revolución industrial si la disparidad entre la naturaleza y la tecnología comienza a disminuir. Dada la convicción de los defensores de la biomimesis a la hora de reivindicar un nuevo enfoque acerca de la tecnología y de la innovación que esté *integrado* en la naturaleza y en armonía con los ecosistemas naturales del planeta, es al menos sorprendente que la imitación de la naturaleza suponga, en realidad, imitar un modelo tecnológico de la naturaleza.

La ambigüedad entre la naturaleza y la tecnología bajo la perspectiva biomi-

mética no sólo está presente en la investigación actual; también se vislumbra en la tradición filosófica. Por ejemplo, en su *Física* Aristóteles, al explorar el concepto de naturaleza, también utiliza referencias provenientes del dominio de la *techne* -el jarrón, la estatua- para entender la *phusis*. En el tercer capítulo del libro tres, por ejemplo, Aristóteles introduce cuatro causas de los seres naturales como constituyentes esenciales de su cambio físico (Aristóteles, 194b20-25). Sin embargo, al explorar las cuatro causas de los seres *naturales*, sigue recurriendo a modelos *tecnológicos*, como el bronce de la estatua a la hora de ejemplificar la causa material, el intervalo entre dos notas como ejemplo de la causa formal, el artesano que hace la estatua como un ejemplo de la causa eficiente y, finalmente, el ejercicio por el bien de la salud como ejemplo de la causa final (Aristóteles, 1980, 194b25-35). Esto significa que el concepto de naturaleza desarrollado por Aristóteles presupone, de hecho, una comprensión tecnológica de la misma.

Dicha circunstancia resulta aún más clara en la ecuación realizada por el Estagirita de la tecnología con la naturaleza en su *Física*. Según Aristóteles, tanto la tecnología (*techne*) como la naturaleza (*phusis*) se consideran productivas (*poiesis*). La diferencia entre *techne* y *phusis* es que los seres naturales tienen el principio de su productividad en sí mismos, mientras que los artefactos son producidos por un agente externo, como un artista o ingeniero (Aristóteles, 192b8-34); *techne* es una producción humana o *poiesis* elaborada por un agente externo y *phusis* es una producción natural o auto-fabricación (*auto-poiesis*). Debido a que tanto *techne* como *phusis* están estrechamente vinculados a la *poiesis*, ambos son esencialmente lo mismo según Aristóteles (véase Aristóteles, 199a10-20)<sup>1</sup>. Sin embargo, la decisión de pensar la naturaleza en términos de *poiesis* implica que la naturaleza se entiende en términos tecnológicos, es decir, en términos de productividad o capacidad de fabricación (véase Heidegger, 1999, p. 88).

La primera conclusión que podemos extraer, por lo tanto, es que la identidad de *techne* y *phusis* en la tradición aristotélica constituye el origen filosófico de la conceptualización tecnológica de la naturaleza en la literatura que trata sobre la biomimesis. Tanto la tradición aristotélica como la investigación biomimética actual presuponen un concepto tecnológico de la naturaleza y, por lo tanto, son incapaces de conceptualizar la naturaleza *en tanto que* naturaleza.

### *Biomimesis y la conceptualización de la mimesis*

Dejemos por un momento el concepto tecnológico de la naturaleza que se presupone en la filosofía de Aristóteles y centrémonos en la manera en que éste conceptualizó de forma explícita la relación entre *techne* y *phusis*. La razón de ello es que en la *Física* de Aristóteles también es posible encontrar la definición clásica de *mimesis*. Según Aristóteles, *techne* y *phusis* son esencialmente el mismo fenómeno.

no, no sólo porque ambos están asociados a la *poiesis* (véase la sección 1.1), sino también porque la tecnología imita a la naturaleza (Aristóteles, 194a20-25). La *techne*, en función de la *phusis*, consigue o perfecciona lo que la *phusis* no es capaz de realizar, o, en su caso, imita (*mimētai-mimesis*) a la *phusis* (Aristóteles, 199a20-25). Por lo tanto y de acuerdo a Aristóteles, existen dos tipos de *mimesis* tecnológica sobre la naturaleza. En primer lugar, está la copia mimética o la reproducción de lo dado naturalmente que podríamos encuadrar bajo una perspectiva naturalista de mímica -con la que ya estamos familiarizados-. Sin embargo, es importante reconocer que Aristóteles distingue también otro tipo de *mimesis*, centrada en la deficiencia de la naturaleza. La naturaleza no es capaz de producir o efectuar todo y, en este caso, la imitación complementa productivamente las capacidades de aquella (véase Lacoue-Labarthe, 1998). ¿Cuál de los dos tipos de *mimesis* se utiliza en los estudios sobre biomimesis y cuál de los dos tipos es adecuado para ser utilizado en la segunda revolución biomimética industrial?

Según algunos defensores de la biomimesis, el mimetismo no es la explotación de biomateriales para generar aplicaciones tecnológicas, sino que consiste en aprender de la naturaleza y explorarla (véase Benyus, 2002). Los científicos biomiméticos intentan “elucidar cómo la vida crea estructuras jerárquicas complejas, integrando muchas funciones, para comprender las estrategias químicas y físicas empleadas por los sistemas vivos y así aplicarlas, con las modificaciones adecuadas, al campo del diseño tecnológico” (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002, p. 2). En lugar de inventar nuevas tecnologías, la biomimesis descubre procesos naturales y aplica estos procesos al diseño tecnológico. ¿Es posible afirmar con claridad que Benyus *cum suis* opta por la biomimesis como una copia o reproducción de procesos naturales y que, por lo tanto, adopta el concepto naturalista de biomimetismo? De hecho, tenemos que distinguir entre un concepto fuerte y uno más débil de biomimesis.

El concepto fuerte de biomimesis es representado, sin duda, por Janine Benyus. Ella conceptualiza la biomimesis de una manera naturalista, esto es, poniendo el acento en la imitación de los modelos de la naturaleza para resolver problemas humanos. El objetivo principal de la biomimesis, de este modo, es “hacerse eco” de las ideas de la naturaleza para nuestras propias vidas. Los científicos biomiméticos “están explorando las obras maestras de la naturaleza: -la fotosíntesis, el autoensamblaje, la selección natural, los ecosistemas autosostenibles, los ojos y oídos, la piel y las conchas, las neuronas parlantes, las medicinas naturales, etc.-, y copian estos diseños y procesos de fabricación para resolver nuestros propios problemas. Yo llamo biomimesis a su búsqueda, a la emulación consciente del genio de la vida, a la innovación inspirada en la naturaleza” (Benyus, 2002, pp. 4-5). Aunque la mímica está inspirada en la naturaleza, dicha inspiración se entiende principalmente como el descubrimiento y la imitación de la misma y viene

a representar, por lo tanto, el concepto naturalista de mímica que encontramos en la *Física* de Aristóteles.

Este concepto fuerte de biomimesis está, según Benyus, parcialmente motivado por la idea de que la naturaleza es una medida para juzgar la corrección ética de nuestras innovaciones tecnológicas (Benyus, 2002). Debido a que se supone que los principios naturales son principios que conducen a la salud ecológica y la integridad de los ecosistemas del planeta tierra, puede afirmarse que la tecnología biomimética y la innovación son éticamente correctas<sup>2</sup>. Al utilizar los mismos principios de diseño que las entidades y sistemas naturales, y al modelar nuestro diseño tecnológico sobre principios naturales, la biomimesis se adhiere a una ética bioinclusiva que nos permite resituar nuestro diseño tecnológico dentro de los límites ecológicos de la biosfera: “Si nosotros como seres humanos debemos actuar desde dentro de la naturaleza’, el *ethos* de la biomimesis implica que debemos aplicar a nosotros mismos, a nuestra agencia, el requisito de recursividad. Debemos permitir que nuestros fines y nuestros medios, nuestros diseños, estén formados por aquello que existe en nuestro entorno” (Mathews, 2011, p. 373). En este sentido, el concepto fuerte de biomimesis asume que la naturaleza constituye un principio normativo para la propiciación de la salud e integridad ecológicas en el campo del diseño, es decir, un estándar de ética ecológica que se contrapone a aquellas aproximaciones biomiméticas que contemplan estos principios naturales en términos exclusivamente mecanicistas.

No obstante, la adhesión a los principios naturales como estándares normativos en el desarrollo tecnológico y del diseño exige que el mimetismo se entienda como una copia o una reproducción de la naturaleza. Por un lado, al copiar o hacerse eco de los principios de diseño de la naturaleza, se entiende que nuestras innovaciones tecnológicas pueden ser más “naturales” y más “adaptativas” a las capacidades de la biosfera (Benyus, 2002). Por otro lado, nuestros diseños biomiméticos solo pueden pretender ser éticamente ventajosos si realmente han copiado estos principios naturales. En otras palabras, el propio significado que se atribuye a la biomimesis como copia o reproducción de procesos naturales permite a Benyus *cum suis* afirmar que la biomimesis es bioinclusiva y éticamente “correcta”.

Sin embargo, hay al menos tres presunciones latentes en este concepto fuerte de mimesis que son cuestionables. Primero, el concepto fuerte de biomimesis presupone una distinción estricta entre el mero descubrimiento de entidades o sistemas que ya existen y que se copian -esto es, los principios naturales-, y la invención de cosas recién creadas como artefactos. Esta distinción estricta es cuestionable desde la propia perspectiva aristotélica, porque la mimesis no se refiere solo a la imitación o reproducción de lo que se da en la naturaleza, tal y como hemos visto, sino también a la perfección suplementaria de lo que la naturaleza no es capaz de producir por sí misma. Esta dificultad para distinguir entre descu-

brimiento e invención se confirma a la hora de analizar la historia del concepto de innovación por parte de Godin (2008), la idea de novedad es clave en el concepto de invención, en contraste con el concepto de imitación, pese a que la invención puede usarse tanto para encontrar como para hacer. Finalmente, si reconocemos la carga teórica de la percepción (Popper, 1974), tenemos que admitir que cada descubrimiento, como cualquier invención, ya implica una construcción.

Una segunda presunción subyacente en el concepto fuerte de biomimesis tiene que ver con nuestra suficiencia epistémica para “conocer” los diseños de la naturaleza; dicho de otra manera, para ‘hacerse eco de las ideas de la naturaleza’ o ‘tomar prestados diseños de un sistema de vida más amplio’, deberíamos poder tener acceso completo a la naturaleza y, de este modo, poder comprender y conocer los procesos naturales en sí. Sin embargo, es del todo punto cuestionable que los procesos naturales sean totalmente accesibles y comprensibles para nosotros. La complejidad y la idiosincrasia de los fenómenos naturales limitan la posibilidad de que descubramos y nos hagamos eco de los modelos de la naturaleza para resolver problemas tecnológicos (véase Bensaude-Vincent *et al.*, 2002).

Cabe encontrar una tercera presunción procedente del concepto fuerte de biomimesis en la distinción estricta entre la intervención tecnológica en la naturaleza -identificada con la explotación de la primera revolución industrial- y la receptividad pura de la naturaleza -ligada a la percepción y el aprendizaje de la naturaleza de la segunda revolución industrial-. Si reconocemos la complejidad y la idiosincrasia singular de la naturaleza, también debemos reconocer la necesidad de traducir e interpretar los fenómenos naturales para explorar su aplicabilidad en el contexto de los problemas tecnológicos. Sin embargo, con la introducción del concepto de traducción e interpretación, la ventaja ética del diseño biomimético se vuelve cuestionable, porque ya no se puede hacer una distinción estricta entre reproducción e invención.

Debido a lo cuestionable de estas tres presunciones que subyacen bajo el concepto fuerte de biomimesis, parece legítimo recurrir a un concepto de biomimesis más débil pero más sofisticado, como el desarrollado por Joanna Aizenberg, codirectora del Instituto Kavli de Ciencia y Tecnología Bionano de la Universidad de Harvard. Durante una charla de TED (*Technology, Entertainment, Design*)<sup>3</sup> celebrada el 5 de marzo de 2012, introdujo una idea de biomimesis que ponía el énfasis en “una estrategia para imitar soluciones de alta tecnología que la naturaleza nos puede proporcionar, reformular materiales naturales, estrategias naturales y crear nuevos materiales y dispositivos que superan todo lo que tenemos hoy” (Aizenberg, Ted 2012). Desde este enfoque sofisticado de biomimesis, el mimetismo no consiste en la reproducción o duplicación de soluciones naturales; más bien, se toman como fuente de inspiración para crear nuevos materiales y dispositivos o, tal y como Bensaude-Vincent *et al.*, han indicado: “la biomimesis...es una cues-



tión de inspiración que debe entenderse, más bien, en el sentido poético, esa es la intención de formas o procesos originales que, a partir de un motivo natural, han resuelto un problema similar ya sea tomando prestado elementos directamente a los seres vivos, o imitando estructuras, funciones y procesos de la naturaleza...” (Bensaude-Vincent *et al.*, 2002).

Contrariamente a la concepción fuerte de biomimesis, el enfoque débil percibe el mimetismo no como la duplicación de soluciones naturales, sino principalmente como una solución creativa inspirada por la naturaleza (véase Ball, 2001). Al margen de la segunda y la tercera presunción que se asocia al concepto fuerte, el concepto más débil reconoce que “se requiere alguna forma o procedimiento de interpretación o traducción desde la biología a la tecnología” (véase Vincent *et al.*, 2006). De esta forma, por lo tanto, se reconoce la complejidad y la singularidad de los fenómenos naturales, así como la necesidad de la traducción para transferir la resolución natural de problemas a la resolución tecnológica de problemas.

Esto plantea la pregunta crítica de qué es lo que ocurre con nuestro deseo de un nuevo enfoque biomimético de la naturaleza que ya no domina y explota la naturaleza si se admite el concepto más débil de biomimesis. ¿Todavía existe diferencia entre la tecnología tradicional, caracterizada por la explotación de la naturaleza, y la tecnología biomimética, si la naturaleza ya no es el modelo y el estándar ético de nuestras innovaciones tecnológicas, sino que simplemente se entiende en términos mecánicos? ¿Cuál es, en otras palabras, la diferencia entre la primera y la segunda revolución industrial si la biomimesis es concebida bajo el enfoque débil? Y es que el concepto débil de biomimesis no puede pretender establecer una ética bioinclusiva, puesto que no asume los principios naturales como un estándar normativo, sino que se centra en la recreación de la naturaleza para fines humanos. Bajo esta aproximación, la naturaleza se considera puramente como un “almacén de diseños listos para que podamos llevar a cabo experiencias de mezcla y combinatoria a fin de satisfacer nuestros propósitos de consumo” (Mathews, 2011, p. 373), es decir, la naturaleza acaba siendo un recurso para fines útiles (ver Schyfter, 2012). Con la introducción de un concepto más débil pero más sofisticado de biomimesis, las ventajas específicas de este planteamiento, centradas en la posibilidad de aprender de la naturaleza más allá de la explotación de ésta, amenazan con desvanecerse.

Antes de que sea factible responder a la pregunta acerca de cuál de los dos tipos de biomimesis resulta adecuado para su desarrollo en la segunda revolución biomimética industrial, es preciso establecer una comparación entre ellos mediante la reflexión crítica de cuatro dimensiones específicas: *mimesis*, naturaleza, tecnología y ética.

## Comparación entre las concepciones fuerte y débil de la biomimesis

### *Mimesis*

Como hemos visto en la sección anterior, el concepto de *mimesis* no puede entenderse desde las oposiciones clásicas tales como el descubrimiento *versus* la invención. En la tradición aristotélica, la *mimesis*, no es solo la imitación mecánica de la naturaleza tal como es descubierta (esto es, la naturaleza como modelo), sino también la emulación o perfección de este modelo, es decir, una “invención” (*poiesis*). Sin embargo, la *mimesis* no puede entenderse como una invención inspirada en la naturaleza, porque la *mimesis* solo puede ser una emulación o perfección de la naturaleza si se aproxima a la naturaleza como modelo. La distinción entre descubrimiento e invención no ayuda a caracterizar la naturaleza de la biomimesis y parece introducir una categoría completamente nueva.

El filósofo francés Lacoue-Labarthe ha reflexionado extensamente sobre el concepto de *mimesis* (Lacoue-Labarte, 1990 & 1998). Según este autor, la *mimesis* no es una invención completamente nueva, porque perfecciona lo que ya está, en cierto modo, y, al mismo tiempo, no está: es decir, la naturaleza. La razón de ello es que, si ya existía por completo, no tendría que ser perfeccionado por una *mimesis* tecnológica. Entonces, por un lado, la *mimesis* imita lo que ya existe, y, por otro lado, solo existe en el sentido estricto de la palabra a causa de la actividad imitadora de la *techne*.

Lacoue-Labarthe conceptualiza esta relación entre *techne* y *phusis* en términos de una suplementariedad original (Lacoue-Labarte, 1990, p. 58ff). La *techne* aporta algo nuevo al proceso mimético de la naturaleza. Se trata de un suplemento, y sólo este suplemento tecnológico proporciona acceso a la *phusis* y se constituye en el origen de la *mimesis* porque, de acuerdo a Lacoue-Labarthe, la perfección de la *phusis* por la acción de la *techne* implica una deficiencia en la naturaleza. La naturaleza es deficiente porque no puede producir todo y tiene que ser perfeccionada por la tecnología. Sobre la base de la famosa tesis de Heráclito de que la naturaleza tiene la tendencia a ocultarse, es posible conceptualizar esta deficiencia de la *phusis* como aquella tendencia a ocultarse presente en la naturaleza y, por lo tanto, ésta tiene que ser complementada por una re-presentación tecnológica para que aparezca ante nosotros (véase Blok, 2014a, Heidegger, 2000). Como re-presentación de la *phusis*, la *mimesis* tecnológica debe ser entendida como una adición o complemento de la *phusis* original. Al mismo tiempo, esta re-presentación forma parte constitutiva de nuestra experiencia de la *phusis*. En la medida en que la *phusis* tiende a ocultarse, solo un suplemento o representación técnica de la *phusis* puede darnos acceso a la *phusis* original, según Lacoue-Labarthe. Por lo tanto, la *mimesis*, no es solo una reproducción de la *phusis* original sino que a la

vez es constitutiva de esta naturaleza original. A este respecto, Lacoue-Labarthe considera que la *techne* y la *phusis* son co-originales (véase Peperstraten, 2005).

Lo que deja claro la exploración de Lacoue-Labarthe es que el concepto de *mimesis* está teóricamente subdesarrollado en la literatura actual en torno a la biomimesis, pero que su análisis conceptual podría proporcionar posibles pautas para futuras investigaciones en este campo. El concepto de suplementariedad podría, por ejemplo, ser útil en prácticas biomiméticas, porque puede ayudarnos a reconsiderar la dicotomía entre la recepción y el descubrimiento, por un lado, y la invención y la intervención, por el otro. La biomimesis no es, entonces, el descubrimiento del modelo de la naturaleza y la copia de procesos naturales para nuestros diseños tecnológicos, como es habitualmente defendido bajo el concepto fuerte de biomimesis. Esta perspectiva es muy ingenua, porque la copia exitosa de la naturaleza es bastante rara; la imitación del ala de un pájaro, por ejemplo, no da como resultado la capacidad de volar, si atendemos a la historia de las técnicas aerodinámicas (Vogel, 1998). La cuestión es, sin embargo, cómo se debe entender en la práctica una complementación del concepto de biomimesis, y cuáles son las consecuencias de ello para el cumplimiento del propósito de integrar armónicamente las innovaciones biomiméticas en los ecosistemas del planeta.

### *Naturaleza*

Como ya se ha visto en la sección “*Introducción*”, el concepto de naturaleza que se presupone tanto en la tradición filosófica como en la literatura específica que ha tratado la biomimesis parte de un modelo tecnológico; la naturaleza se entiende, en términos tecnológicos, como productiva y realizable. Bajo el concepto fuerte de biomimesis, la producción de la naturaleza es, en sí, perfecta y únicamente debería reproducirse en tecnologías biomiméticas; las tecnologías de la primera revolución industrial son imperfectas y deberían ser perfeccionadas por las que se generen en la segunda revolución industrial mediante la imitación de la naturaleza. Mathews, por ejemplo, argumenta: “Si nosotros, como seres humanos, debemos ‘actuar desde dentro de la naturaleza’, como así implica el espíritu de la biomimesis, entonces el requisito de la recursividad también se aplica a nosotros mismos, a nuestra agencia. Debemos permitir que nuestros fines y nuestros medios, nuestros diseños, estén formados por aquello que se encuentra en nuestro entorno” (Mathews 2011, p. 373). Al mismo tiempo, hemos demostrado en la sección “*Biomimesis y la conceptualización de la naturaleza*” que la consideración de la biomimesis como reproducción de la naturaleza es altamente ingenua y que toda imitación implica introducir un complemento o una reproducción en la dimensión productiva de la misma. Por lo tanto, a pesar del deseo presente en el concepto fuerte de la biomimesis de volver a realizar una producción perfecta de la na-

turalaleza, una reproducción tan pura es muy ingenua e incluso imposible, dado el carácter complementario de todo proceso mimético. Esta suplementariedad existente en la reproducción mimética parece ser mejor reconocida a través del concepto débil de la biomimesis. Sin embargo, si el mimetismo se entiende como una reproducción suplementaria de la naturaleza, lógicamente se deduce que la naturaleza misma ya no se considera perfecta, sino imperfecta o deficiente.

El carácter deficiente de la naturaleza no es un rasgo nuevo que se relacione exclusivamente con el concepto débil de biomimesis, sino que se encuentra arraigado en una larga tradición filosófica, desde Platón a Nietzsche, en la que la tecnología humana se considera un “remedio” para solventar la deficiencia o incompletitud biológica de nuestra existencia genética e instintiva (ver Nicolosi, 2014). En este sentido, la biomimesis puede incluso entenderse como un esfuerzo por superar los límites de la naturaleza. De esta manera, la deficiencia de la naturaleza puede ser considerada como una razón sólida para rechazar un concepto fuerte de biomimesis. Es decir, si la naturaleza es deficiente, lo que se plantea en el concepto fuerte de biomimesis ya no es deseable porque la tecnología humana no debería imitar esta deficiencia sino desarrollar un remedio precisamente para ella. Y es éste el enfoque que subyace bajo el concepto más débil de biomimesis.

Pero, ¿es inevitable aceptar este supuesto que da por sentado la deficiencia de la naturaleza? Este asunto resulta de gran importancia porque nos sitúa en el modo en que estas características de la naturaleza como agente productivo y como realidad deficiente pueden relacionarse entre sí dentro del concepto débil de biomimesis. ¿Es factible llegar a la conclusión de que la naturaleza es deficiente a causa de su carácter productivo (*poiesis*)? Si reconocemos que la deficiencia de la naturaleza es el resultado de su conceptualización como realidad productiva (*poiesis*) -la naturaleza es productiva pero deficiente porque no puede producir todo-, la pregunta que surge es la siguiente: ¿es posible pensar la naturaleza de manera negativa como deficiente si no existe previamente una definición de la naturaleza basada en un modelo de tecnología? ¿Cuál es la esencia de la naturaleza en general y cuál es el estado ontológico de la “deficiencia” de la naturaleza en particular? ¿Es necesario conceptualizar la naturaleza negativamente como deficiente o, por ejemplo, es posible conceptualizarla en términos más neutros como realidad que se oculta a sí misma (véase la sección “*Biomimesis y la conceptualización de la naturaleza*”) o, en el léxico de Lacoue-Labarthe, bajo el enfoque de *desistimiento* de la naturaleza? Desistencia significa originalmente retirarse o retirarse, y el *desistimiento* de la naturaleza se relaciona tanto con el retiro de la naturaleza como con el ser retirado de la naturaleza (véase Derrida, 1998; Martis, 2005; Blok, 2014b).

El concepto de *desistencia* podría ser útil en las prácticas biomiméticas porque nos permite entender y reconocer la complejidad fundamental y la singularidad de los procesos naturales que la biomimesis está tratando de imitar. Por un lado,

una formulación tan neutra del *desistimiento* de la naturaleza deja espacio para el concepto fuerte de biomimesis. Sin embargo, por otro lado, el problema que debe abordarse desde el concepto fuerte es cómo integrar esta *desistencia* de la naturaleza en nuestros diseños tecnológicos. Benyus, por ejemplo, argumenta que no sólo los diseños de productos deben buscar una inspiración de la naturaleza, sino también los procesos de producción y la propia infraestructura que facilita esta producción (Benyus, 2002; véase Mathews, 2011). Parece, en otras palabras, que el concepto débil de biomimesis posee una mayor flexibilidad para abordar la cuestión de cómo el *desistimiento* de la naturaleza debe conceptualizarse e integrarse en diseños biomiméticos concretos. Sin embargo, mientras la naturaleza se comprenda, desde el enfoque biomimético, sobre la base del modelo tecnológico, no va a ser posible pensar la naturaleza en tanto que naturaleza, es decir, comprender el propio estado ontológico de esta “deficiencia” existente en la naturaleza.

### *Tecnología*

La complementariedad de las tecnologías biomiméticas presupone la continuidad entre la naturaleza y la tecnología, porque ésta última se enfrenta al objetivo de perfeccionar la naturaleza. Pero, de modo simultáneo, implica una situación de discontinuidad entre la naturaleza y la tecnología porque se alude a una suplementación de la naturaleza. Si la tecnología biomimética es esencialmente suplementaria y no puede reducirse a la propia naturaleza, el estado ontológico de esta complementariedad de la tecnología no está claro. ¿Qué es exactamente eso que no es natural en la tecnología biomimética? En este sentido, se puede argumentar que la biomimesis es quizá capaz de imitar una función real de un organismo o un ecosistema, -por ejemplo, la función de un geco para caminar sobre el techo-, pero, al contrario de lo que ocurre en los sistemas vivos, los objetos tecnológicos producidos no pueden imitar la capacidad de adaptación de los sistemas vivos a las nuevas circunstancias como resultado de los cambios en el medio ambiente. La complementariedad de la tecnología biomimética se refiere, entonces, al hecho de que es posible realizar una copia de una función actual y fija de un organismo o sistema natural mediante su extracción del contexto y de la historia espacio-temporal. Esto significaría que la complementariedad de la tecnología biomimética se limita a reproducir fenómenos naturales sin su contexto espacio-temporal específico, lo que supone, en el fondo, una constante dependencia de los procesos naturales a la hora de encontrar nuevas funciones posibles que puedan ser reproducidas de una manera tecnológica. No obstante, cabe entender la complementariedad de la tecnología biomimética de otra manera. Si la tecnología biomimética copia una función fija de un organismo sacándolo de su contexto espacio-temporal, el carácter suplementario de esta tecnología biomimética podría desembocar en la produc-

ción de una narrativa con un nuevo contexto espacio-temporal.

Si algo está claro es que esta concepción que identifica un componente en la tecnología biomimética tiene consecuencias importantes para nuestro concepto de biomimesis como tal. Por un lado, la complementariedad de la tecnología biomimética limita la constatación fuerte de una supuesta naturalidad. Por otro lado, la complementariedad tecnológica también limitaría el concepto más débil de la biomimética como solución creativa, ya que esta inspiración depende en gran medida de la dinámica de los sistemas naturales. ¿Es posible entonces mantener un concepto fuerte de biomimesis si la complementariedad tecnológica implica que ya no puede verse este proceso como algo natural? ¿O es posible mantener un concepto débil de biomimesis que parte de la complementariedad entre la ausencia de naturalidad en las tecnologías biomiméticas y el desarrollo de un nuevo contexto espacio-temporal para nuestros diseños tecnológicos?

La ambigüedad de la discontinuidad de la naturaleza y la tecnología lleva, en definitiva, a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el estado ontológico de la complementariedad de la tecnología biomimética si no es natural en el sentido estricto de la palabra?

### *Ética*

Hemos visto que la naturaleza opera como un estándar normativo para juzgar la “rectitud” o “naturalidad” bajo el concepto fuerte de biomimesis, porque se supone que los principios son los que conducen a la salud ecológica y a la integridad de los ecosistemas del planeta tierra. Tenemos que reconocer que el concepto fuerte tiene la ventaja de posibilitar la incorporación en la naturaleza y la armonización con los ecosistemas naturales del planeta, mientras que el concepto más débil puede justificarse para explotar y destruir la naturaleza. Sin embargo, es cuestionable la alusión estricta a la naturaleza como medida ética en las prácticas biomiméticas. Por un lado, tenemos que admitir que es imposible cumplir con los requisitos de la ética bioinclusiva de Benyus debido a la necesidad de traducir e interpretar la resolución natural de problemas y su consiguiente transferencia a las problemáticas humanas. Por otro lado, se puede argumentar que se comete la falacia naturalista cuando se recurre a la naturaleza como una medida para juzgar la corrección ética de nuestras innovaciones tecnológicas (Moore, 1903).

Según Moore, la falacia naturalista consiste en argumentar que algo es bueno *porque es natural*. Es más general que la falacia de Hume, consistente en afirmar que una conclusión debe derivarse de premisas conectadas lógicamente. Mientras que el concepto débil de biomimesis evita la falacia naturalista, el concepto fuerte comete la falacia naturalista porque afirma que las innovaciones tecnológicas son buenas dado que se basan en los principios de la naturaleza.

Los defensores de un concepto fuerte de biomimesis pueden sostener que su componente normativo -la protección de la salud y la integridad de los ecosistemas del planeta tierra- es independiente de su componente descriptivo -la descripción de los principios naturales que conducen a la salud e integridad ecológicas-; al imitar estos principios naturales, la biomimesis contribuye a la protección de los ecosistemas del planeta sin cometer la falacia naturalista. Aunque ésta es una posible defensa, de hecho resulta, por lo menos, ambigua, porque Benyus *cum suis* también sugiere que los principios de la naturaleza son éticamente buenos en sí mismos: “La biomimética está descubriendo lo que funciona en el mundo natural, y más importante, lo que dura. Después de 3,8 mil millones de años de investigación y desarrollo, los fallos acaban siendo fósiles, y lo que nos rodea es el secreto para la supervivencia. Cuanto más se vea y hagamos funcionar nuestro mundo como este mundo natural, es más probable que se nos acepte en este hogar que es nuestro, pero no sólo nuestro” (Benyus 2002, p. 3). Además del riesgo de cometer la falacia naturalista, se puede plantear la cuestión de hasta qué punto puede decirse que la naturaleza, en tanto que es “aquello que dura”, es éticamente buena en absoluto.

Podemos, por ejemplo, argumentar que la naturaleza es el producto de una lucha por la existencia. En tal sentido, es cuestionable que la medida evolutiva de la supervivencia sea, a su vez, una buena medida del comportamiento ético; no podemos afirmar que los más aptos para sobrevivir sean automáticamente los éticamente buenos. En segundo lugar, la I + D natural puede ser el resultado de 3.800 millones de años de procesos de prueba y error que desembocaron en hermosos diseños naturales -y que culminaron en los seres más aptos para sobrevivir- pero también en enormes cantidades de desechos (véase Zwiers *et al.*, 2015). La resolución de los problemas humanos no puede permitirse esta cantidad de residuos y necesita prácticas de gestión que eviten la pérdida de generaciones y mejoren el comportamiento ético. Incluso se puede argumentar que la ética es contraria a los procesos naturales de la lucha por la existencia. En consecuencia, la transferencia de I + D natural al contexto de la resolución de problemas humanos siempre está limitada por nuestros estándares éticos, y estos estándares éticos en sí mismos no se derivan principalmente de la naturaleza (mimetismo) sino que se imponen a la naturaleza. Esto lleva a la paradoja de que una ética biomimética en sí misma no es ecológica o natural. Con todo, varios ejemplos de tecnologías biomiméticas, como edificios sostenibles inspirados en montículos de termitas que se enfrían por sí mismos, sugieren que este tipo de tecnologías están mejor integradas y en armonía con los ecosistemas del planeta tierra. No obstante, el riesgo de cometer la falacia naturalista es, por lo tanto, un problema extraordinario para el concepto fuerte de biomimesis.

La ambigüedad de la naturaleza, entendida como medida para la incorporación de nuestras innovaciones tecnológicas en los ecosistemas del planeta, y la conside-

ración de la naturaleza como un actor posiblemente no ético plantea la siguiente pregunta: ¿en qué medida la ética bioinclusiva de la biomimesis deriva de la naturaleza o, más bien, se impone a ella?

## Conclusiones

En este artículo, hemos reflexionado críticamente en torno al concepto de biomimesis. Sobre la base de un análisis del origen filosófico de los conceptos de naturaleza y de la *mimesis* como constitutivos del enfoque biomimético, concluimos, en primer lugar, que tanto la tradición aristotélica como la investigación biomimética actual conceptualizan la naturaleza en términos tecnológicos, es decir como tecnología natural. Aunque el objetivo de la biomimesis es imitar a la naturaleza, de hecho es imposible conceptualizar la naturaleza en tanto que naturaleza. Sin embargo, la conceptualización de la naturaleza en tanto que naturaleza es importante para la biomimesis, porque la diferencia entre la primera y la segunda revolución biomimética industrial amenaza con desvanecerse si la biomimesis no consigue desarrollar una ética bioinclusiva, es decir, una ética que parta de la naturaleza como medida para la incrustación de nuestras innovaciones tecnológicas en los ecosistemas del planeta. La potencia del concepto fuerte de biomimesis se sustenta en la idea de que la naturaleza es vista como una medida para juzgar la corrección ética de nuestras innovaciones tecnológicas. No obstante, su debilidad se encuentra en tres supuestos cuestionables; (a) una distinción estricta entre el mero descubrimiento de entidades o sistemas que ya existen -los principios naturales-, que se copian, y la invención de cosas recién creadas como artefactos, que se inventan; (b) nuestra suficiencia epistémica para ‘conocer’, aprender y aplicar los diseños de la naturaleza; (c) una distinción estricta entre la intervención tecnológica en la naturaleza -la explotación de la primera revolución industrial- y la receptividad pura de la naturaleza -basada en la percepción y el aprendizaje de la naturaleza de la segunda revolución industrial-. Estas presuposiciones son abordadas por el concepto más débil de biomimesis, pero al precio de que ya no es posible distinguir entre un tipo de tecnología explotadora y dominante y un tipo exploratorio y ecológico de tecnología biomimética.

Para determinar cuál de los dos tipos de biomimesis es adecuado para ser utilizado en la segunda revolución biomimética industrial, comparamos ambos conceptos al reflexionar críticamente cuatro dimensiones que están presentes en la noción de biomimesis: mimesis, naturaleza, tecnología y ética. La Tabla 1 resume los resultados de nuestra comparación:



	Mímesis	Naturaleza	Tecnología	Ética
Biomimesis fuerte	Conceptualización ingenua de <i>mimesis</i>	Presupone la perfección de la naturaleza	No puede tratar la sub-plementariedad de la tecnología biomimética	Riesgo de cometer la falacia naturalista.
Biomimesis Débil	Reconoce la suplementariedad de la <i>mimesis</i>	Presupone la <i>desistencia</i> de la naturaleza	No puede tratar la suplementariedad de la tecnología biomimética	Evita la falacia naturalista

Tabla 1. Comparación entre el concepto fuerte y débil de biomimesis

De la Tabla 1 concluimos que, desde una perspectiva filosófica, el concepto fuerte de biomimesis es más problemático que el concepto débil de biomimesis. En las cuatro dimensiones, el concepto fuerte tiene problemas importantes que resolver, mientras que el concepto débil tiene que abordar los principales problemas en solo dos dimensiones. Antes de que podamos responder a la pregunta de si el concepto fuerte de biomimesis puede ser una forma más “responsable” o “ecológica” de innovación tecnológica o si deberíamos cambiar al concepto más débil de biomimesis, la investigación futura debe responder al menos a las siguientes preguntas de investigación:

- (1) ¿Cómo deberíamos entender la suplementariedad de la biomimesis en la práctica, y cuáles son las consecuencias de la idea de que las innovaciones biomiméticas están mejor integradas y en armonía con los ecosistemas del planeta?
- (2) ¿Cómo debe conceptualizarse e integrarse el desistimiento de la naturaleza en diseños biomiméticos concretos?
- (3) ¿Cuál es el estado ontológico de la suplementariedad de la tecnología si no es natural en el sentido estricto de la palabra?
- (4) ¿En qué medida la ética bioinclusiva de la biomimesis deriva de la naturaleza o se impone a ella?<sup>4</sup>

## NOTAS

<sup>1</sup> En la siguiente sección, exploramos un argumento adicional sobre por qué, según Aristóteles, la naturaleza y la tecnología son esencialmente lo mismo.

<sup>2</sup> La suposición de que los principios naturales conducen a la salud ecológica no implica que los principios no naturales conduzcan necesariamente a ecosistemas no saludables. Es posible descubrir principios de diseño que no se pueden encontrar en la naturaleza pero que sin embargo conducen a la salud ecológica, y con esto, es posible diseñar tecnologías e innovaciones basadas en principios

no naturales, que cabe afirmar que son éticamente correctos. Pero este no es un argumento en contra de la afirmación del concepto fuerte de biomimesis de que las innovaciones biomiméticas son éticamente correctas. Los defensores de un concepto fuerte de biomimesis no tienen que negar la posibilidad de una medida no natural para juzgar la rectitud ética de las innovaciones tecnológicas. Sólo argumentan que los principios naturales conducen a la salud ecológica y, por lo tanto, puede afirmarse también que las tecnologías biomiméticas y las innovaciones son éticamente correctas.

<sup>3</sup>TED (*Tecnología, Entretenimiento, Diseño*) es una organización sin fines de lucro cuyo objetivo declarado es hacer accesibles las grandes ideas y suscitar el debate ([www.ted.com](http://www.ted.com)).

<sup>4</sup>Nos gustaría agradecer a los revisores del *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* sus comentarios sobre un borrador anterior de este artículo.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ARISTOTLE. (1980). *The Physics*. Cambridge/London: Loeb Classical Library/Harvard UP.
- BALL, P. (2001). Life's lessons in design. *Nature*, 409, 413-416.
- BENSAUDE-VINCENT, B., ARRIBART, H., BOULIGAND, Y., & SANCHEZ, C. (2002). Chemists and the school of nature. *New Journal of Chemistry*, 26, 1-5.
- BENYUS, J. M. (2002). *Biomimicry. Innovation inspired by nature*. New York: Harper Perennial.
- BLOK, V. (2014a). Reconnecting with Nature in the Age of Technology. The Heidegger and Radical Environmentalism Debate Revisited. *Environmental Philosophy*, 11(2), 307-332.
- BLOK, V. (2014b). Being-in-the-World as Being-in-Nature: An ecological Perspective on Being and Time. *Studia Phaenomenologica*, 14, 215-235.
- DERRIDA, J. (1998). Desistance. In P. Lacoue-Labarthe (Ed.), *Typography* (pp. 1-42). Stanford: Stanford UP.
- EUROPEAN COMMISSION. (2012). *Manifesto for a resource-efficient Europe*. Obtenido de [http://europa.eu/rapid/pressrelease\\_MEMO-12-989\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/pressrelease_MEMO-12-989_en.htm).
- GODIN, B. (2008). *Innovation: The history of a category*. Working paper.
- HAWKEN, P., LOVINS, A., & LOVINS, L. H. (2000). *Natural capitalism: Creating the next industrial revolution*. Boston: Little, Brown & Company.
- HEIDEGGER, M. (1999). *Contributions to philosophy (from enowning)*. Indiana: Indiana UP.
- HEIDEGGER, M. (2000). *Introduction to metaphysics*. New Heaven & London: Yale UP.
- LACOUÉ-LABARTE, P. (1990). *Heidegger, art and politics*. Oxford: Basil Blackwell Inc.
- LACOUÉ-LABARTE, P. (1998). *Typography*. Stanford: Stanford UP.
- MARTIS, J. (2005). *Representation and the loss of the subject*. New York: Fordham UP.
- MATHEWS, F. (2011). Towards a deeper philosophy of biomimicry. *Organization & Environment*, 24(4), 364-387.
- MCDONOUGH, W., & BRAUNGART, M. (2002). *Cradle to cradle. Remaking the way we make things*. New York: North Point Press.
- MOORE, G. E. (1903). *Principia ethica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NICOLOSI, G. (2014). *On the traces of hephaestus. Skills, technology and social participation*. Ph.D. Thesis, Wageningen.
- PEPERSTRATEN, P. (2005). *Sublieme Mimesis*. Budel: Damon.
- POPPER, K. R. (1974). *Conjectures and refutations. The growth of scientific knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.
- SCHYFTER, P. (2012). Standing reserves of function: A Heideggerian reading of synthetic biology. *Philosophy & Technology*, 25, 199-219.
- VINCENT, J. (2001). Structural biomaterials and biomimetic strategies. In C. Sanchez (Ed.), *Biomimétisme et matériaux*. Paris: OFTA.
- VINCENT, J., BOGATYREVA, O., BOGATYREVA, N., BOWYER, A., & PAHL, A.-K. (2006). Biomimetics: Its practice and history. *Journal of the Royal Society, Interface*, 3(9), 471-482.
- VINCENT, J., & MANN, D. (2002). Systematic technology transfer from biology to engineering. *Philosophical Transactions from the Royal Society A*, 360(1791), 159-173.
- VOGEL, S. (1998). *Cat's paws and catapults. Mechanical worlds of nature and people*. New York & London: Norton & Co.
- ZWIERS, J., BLOK, V., LEMMENS, P., & GEERTS, R. J. (2015). The ideal of a zero-waste humani-

ty: Philosophical reflections on the demand for a bio-based economy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28 (2), 353-374.