

La disciplina emergente de la biomimesis como cambio de paradigma hacia el diseño para la resiliencia

Carlos Fiorentino

Universidad de Alberta (Canadá)

Carlos Montana-Hoyos

Instituto de Diseño e Innovación de Dubái (Emiratos Árabes Unidos)

La situación paradigmática en la que están inmersas las disciplinas de diseño como parte de la crisis global impulsada por los seres humanos -a nivel ambiental, social y económico- exige respuestas provenientes de la innovación y del cambio radical. En este contexto, la disciplina de biomimesis¹ surge como una respuesta y un nuevo paradigma de diseño, y puede ser una herramienta poderosa para el diseño de la sostenibilidad y, además, para el “diseño resiliente”. La biomimesis inspira a los diseñadores a aprender de la naturaleza en lugar de usarla como recurso material. Los sistemas naturales conforman un espacio de experimentación para una asombrosa cantidad de formas de vida en perfecto equilibrio con las fuerzas naturales, que viven en una red de mutualismo y sinergia, en una especie de circuito cíclico perpetuo. Podemos aprender de la naturaleza no solo cómo diseñar mejores materiales y artefactos, sino también cómo diseñar mejores sistemas y procesos que favorezcan la creación de mejores patrones de comportamiento. Este artículo explora, desde un punto de vista epistemológico y bajo el modelo de paradigma, la disciplina emergente de la biomimesis, como un paso evolutivo y revolucionario para el diseño, así como un camino necesario hacia un futuro sostenible. De esta forma, se presentan los puntos principales que hacen de la biomimesis un conjunto sustancial de ideas que pueden conducir a la innovación de productos y materiales y a un cambio de paradigma en el diseño, y, asimismo, se exploran diferentes perspectivas con el objeto de proporcionar marcos teóricos a la disciplina. Finalmente, este documento discute la perspectiva de la biomimesis para construir futuros sostenibles, vinculándola con el concepto de “diseño resiliente”.

Contexto

El diseño, entendido como un amplio conjunto de disciplinas, ha evolucionado

desde la industrialización, y recientemente se ha demostrado que la industrialización ha sido perjudicial para la sociedad, así como destructiva para nuestros recursos naturales y para nuestro medio ambiente (Montana-Hoyos, 2010). La crisis humana actual -ambiental, social y económica- es claramente una consecuencia de la “dinámica de una crisis ecológica” (Bateson, 1972). Esta situación, por tanto, exige respuestas que favorezcan la innovación y el cambio radical. Es imperativo que los diseñadores aprendan de las lecciones que ofrece la naturaleza para cambiar el curso de las prácticas actuales (Fiorentino, 2012) y esto lleva a una siguiente fase en la propia evolución del diseño. Animales, plantas, y todas las formas de vida que conocemos en el planeta han hecho todo lo que los humanos quieren hacer, sin consumir combustibles fósiles, contaminar el medioambiente o comprometer su futuro (Benyus, 1997). Desde la perspectiva de un diseñador, la pregunta que se plantea aquí es qué mejores modelos podrían desarrollarse. La biomimesis parte de esta perspectiva y ofrece un camino hacia el diseño para lograr la sostenibilidad y la resiliencia. Éste es un desafío paradigmático para el conocimiento asociado al diseño y una oportunidad epistemológica para la biomimesis como una disciplina emergente. En este contexto, surge una pregunta inicial: ¿De qué manera la biomimesis, como nuevo paradigma de conocimiento, puede contribuir a construir resiliencia y sostenibilidad a través del diseño? Este documento se centra en esta pregunta fundamental.

La evidencia de más de dos décadas nos indica que la biomimesis ofrece principios fundacionales útiles para los diseñadores (Baumeister, 2013). De hecho, encontrar nuevas formas de abordar el diseño sostenible -a través de los principios de la biomimesis- supone una contribución significativa a la teoría y la práctica del diseño y abre, asimismo, nuevas perspectivas dentro de sus disciplinas. No menos importante es entender también que, a través de la biomimesis, los campos relacionados con el diseño se vuelven verdaderamente interdisciplinarios, integrando no solo a profesionales de diferentes campos propiamente del diseño, sino también de la ciencia -biólogos, físicos, botánicos, entomólogos, ecólogos, etc.- y de las ciencias sociales -ecología humana, antropología, sociología, etc-. Si la sostenibilidad ha influido en el diseño, hasta el punto de ser considerada el desencadenante de un cambio de paradigma, entonces la biomimesis tiene, sin duda, un papel que desempeñar en esta visión.

Con base en la evidencia disponible, creemos que la biomimesis es un paso evolutivo en el campo del diseño; sin embargo, dicha evidencia no proviene de la epistemología del diseño tradicional, sino de un cambio de mentalidad promovido por los pioneros del diseño de inspiración biológica y por las nuevas generaciones de diseñadores que adoptan la biomimesis. Este documento explora la perspectiva biomimética y presenta los puntos principales que hacen de la biomimesis un conjunto sustancial de ideas que pueden estimular la innovación de productos

y materiales. Además de explorar y definir los conceptos, el documento también discute la perspectiva de esta disciplina emergente, entendida como un cambio de paradigma en el diseño, ya que puede constituir la base para un diseño resiliente.

Biomimesis: una aproximación contemporánea al diseño bioinspirado

El concepto de diseño bio-inspirado (o diseño inspirado en la naturaleza) ha existido desde la antigüedad. Podemos remontarnos incluso a los primeros intentos de Leonardo Da Vinci en el siglo XV por diseñar artefactos que imitaban funciones animales como, por ejemplo, la máquina voladora (imitando pájaros e insectos). En ese sentido, han sido diversos los movimientos en el ámbito de las artes, la arquitectura y el diseño que han manifestado profundas influencias e inspiración desde la naturaleza. Algunos de estos movimientos importantes fueron el *Modernismo* (1880-1910), el *Aerodinamismo*, el *Estilismo* y el *Diseño Orgánico* de mediados del siglo XX, hasta llegar a los *Blobjects* de la actualidad. La arquitectura también está llena de ejemplos de inspiración en la naturaleza, pertenecientes a una amplia gama de propuestas que van desde trabajos escultóricos modernistas y biomórficos de finales de 1800 hasta la *Arquitectura orgánica* en la década de 1930 y la *Arquitectura metabólica* en la década de 1960, por nombrar solo algunos de ellos (Montana-Hoyos, 2010). En el campo del diseño, Buckminster Fuller introdujo en la década de 1950 el concepto de sinérgica² y el diseño de las cúpulas geodésicas³ inspiradas en las funciones, la geometría y los patrones naturales (Edmondson, 2007); y Victor Papanek, en la década de 1970, estudió las relaciones naturales entre formas y funciones en su destacada obra *Diseño para el mundo real* (Papanek, 1971). En los campos del diseño asociados a la ingeniería y a la tecnología, diversos enfoques de inspiración biológica han contribuido a generar algunos de los inventos más importantes en los últimos siglos en la historia de la humanidad. No hay que olvidar que los campos de investigación como la biomecánica, la bioingeniería, la biónica, la robótica y la biomimética tuvieron su origen a mediados del siglo XX y hoy en día son campos ampliamente explorados.

Sin embargo, no fue hasta 1997, fecha en que la escritora científica Janine Benyus publicó su libro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, cuando el concepto de biomimesis se consolidó, dando inicio al “movimiento biomimético”. Al mismo tiempo, el biólogo Steven Vogel desempeñó un papel fundamental en la definición del concepto de biomecánica a través de su libro *Cat's paws and Catapults* (1998). Casi dos décadas después, cabe afirmar que el movimiento biomimético está creciendo exponencialmente⁴ y comienza a diferenciarse de la biomecánica y otros enfoques “bio”. Si bien los límites de los diversos enfoques de inspiración biológica aún no están claros, ya que muchas de estas disciplinas se

superponen, creemos que una de las principales diferencias entre la biomimesis y otros enfoques de diseño inspirado en la naturaleza es su interés en la sostenibilidad y en la conservación del medio ambiente. La biomimesis no solo trata de emular la forma o función de la naturaleza (como la biomecánica o algunos campos de la robótica, por ejemplo), sino que imita el comportamiento, los procesos y los sistemas naturales, adoptando una perspectiva centrada en la búsqueda de soluciones que impulsen y respeten la vida.

La biomimesis (de *bios*, que significa vida y *mimesis*, que significa imitar) constituye una disciplina emergente que estudia el “genio de la naturaleza” e imita conscientemente los principios vitales de adaptación y supervivencia, emulando también formas, procesos y ecosistemas (Benyus, 1997). La biomimesis se nutre, no solo de las formas, funciones o estructuras de la naturaleza, sino también de un sentido sistémico más profundo. Benyus prescribe la biomimesis como un instrumento sostenible para el diseño al sugerir que “la vida nos enseña una lección clara: después de 3.800 millones de años de ‘investigación y desarrollo,’ los fracasos se han convertido en fósiles, y lo que nos rodea es el secreto de la supervivencia” (Benyus, 1997). Los organismos vivos han evolucionado como un conjunto de estrategias que consiguen mantener los sistemas naturales a lo largo del tiempo, y hay muchas lecciones que aprender de ellos. La biomimesis considera el entramado y las complejas sinergias que encontramos en todos los niveles de la biología -entre los genes y las células, las proteínas y los polímeros, los organismos y las especies- como un espacio de experimentación resultante del proceso de la evolución. Estos sistemas han sido moldeados por la selección natural de las especies durante miles de millones de años dentro de una red colaborativa densamente entrelazada, a partir del “mutualismo”, que llamamos vida (Woolley-Barker, 2013). Los organismos y los entornos integran y optimizan estrategias con el objeto de crear condiciones propicias para la vida. El *Antropoceno* (exacerbado por la revolución industrial y el consumismo del siglo XX) ha demostrado ser perjudicial, no solo para la supervivencia humana, sino también para muchas especies y para el medio ambiente (Crutzen, 2006).

El término *Antropoceno* se refiere a la edad geológica actual, considerada como el período durante el cual la actividad humana ha llegado a ser la influencia dominante sobre el clima y el medio ambiente. Debido a que las actividades humanas también se han convertido en fuerzas geológicas significativas, por ejemplo a través de cambios en el uso de la tierra, la deforestación y la quema de combustibles fósiles, se considera justificado asignar el término “antropoceno” a la época geológica actual. Cabe señalar que esta época puede haber comenzado hace unos dos siglos, coincidiendo con el diseño de la máquina de vapor de James Watt en 1784 (Crutzen, 2006) o aun anteriormente con el inicio de la agricultura. Desde algún punto, los seres humanos se han constituido en la especie dominante que ha

generado condiciones contrarias al desarrollo de la vida como sistema planetario. Si, como principio fundamental, la vida crea condiciones propicias para la vida, surge otra pregunta fundamental para los diseñadores: ¿Cómo puede el diseño crear las condiciones propicias para la vida? ¿Puede la biomimesis ser el eslabón perdido que redireccione el diseño para crear condiciones para todos los sistemas de vida? En este tema la contribución de la biomimesis puede ser esencial, en la medida en que su incidencia como un nuevo paradigma en el campo del conocimiento permite desempeñar un papel en la innovación del diseño que cree las condiciones para contribuir positivamente al sostenimiento de los ecosistemas del planeta.

Es importante diferenciar la biomimesis o bioinspiración con respecto a la bio-utilización o tecnologías bio-asistidas. Por ejemplo, usar bacterias para limpiar el agua, alimentos genéticamente modificados o cualquier forma de domesticación de formas de vida son todas formas de bio-utilización. A diferencia de la bio-utilización, la biomimesis estudia y analiza los fundamentos de la naturaleza para inspirar ideas de diseño: no se trata solo de usarla o replicarla, sino de aprender de ella. La biomimesis contempla la naturaleza como un modelo, como una medida y como un mentor. La naturaleza como modelo, porque imita las piezas maestras de la naturaleza -la fotosíntesis, el auto-ensamblaje, la selección natural, los ecosistemas auto-sostenibles, los sistemas sensoriales y neurálgicos, materiales como la piel y el caparazón, etc.- para ser aplicadas en el diseño y en aquellos procesos que den solución a problemas humanos (Benyus, 1997, p. 13). La naturaleza como medida, porque utiliza un estándar ecológico para juzgar la calidad de nuestras innovaciones basado en lo que funciona, lo que es apropiado y lo que perdura (Benyus, 1997, p. 13). La naturaleza como mentor, en la medida en que propone una nueva forma de ver y valorar los sistemas naturales; introduce una era basada, no en lo que podemos extraer del mundo natural, sino en lo que podemos aprender de él (Benyus, 1997, p. 13). Los biomiméticos, -es decir, los especialistas en biomimética-, creen que la naturaleza es el atlas del que el diseño y los diseñadores pueden aprender. La vida -plantas, animales y microbios- ha estado perfeccionando de modo paciente su producto durante 3.800 millones de años desde la primera bacteria. En ese momento,

(...) la vida ha aprendido a volar, circunnavegar el globo, vivir en las profundidades del océano y en lo alto de los picos más altos, fabricar materiales milagrosos, iluminar la noche, aprovechar la energía del sol y construir un cerebro auto-reflexivo (Benyus, 1997, p. 16).

Una oportunidad epistemológica para un cambio de mentalidad emergente

Para contextualizar la biomimesis desde una perspectiva epistemológica, las preguntas básicas como “¿qué podemos saber de la biomimesis?” y “¿cómo podemos conocerla?” son pasos cruciales para comprender el pasado, presente y posible futuro de esta disciplina emergente relacionada con el diseño. Esto también implica analizar el contexto en el que surge la biomimesis como una respuesta a los paradigmas generales y dominantes.

Ergon Guba (1990) en *The Paradigm Dialog* define paradigma como “un conjunto de creencias básicas que guían las acciones”. Benyus propone a través de la biomimesis no solo un conjunto de creencias básicas -por ejemplo, en el genio de la naturaleza, en la selección natural y en el poder evolutivo de la vida- sino también un nuevo enfoque para entender nuestra existencia biológica y remodelar nuestro papel como especie y como una parte armónica de nuestros ecosistemas. El cambio de enfoque propuesto a través de la biomimesis está impulsando una transformación en la mentalidad y, por lo tanto, un cambio de paradigma de diseño. Tal y como se presentó al comienzo de este artículo, el periodo previo de industrialización, a partir del cual ha evolucionado el campo del diseño, ha llevado a la actual crisis mundial: provocando cambio climático, desigualdad, inseguridad energética, alimentaria y de acceso a agua potable, entre otros problemas globales. El diseño ha sido un instrumento de progreso y un medio para la concreción de los modelos actuales de desarrollo, basados básicamente en el crecimiento económico. Todos los sistemas, artefactos, productos, edificios, ciudades, todo el mundo material y artificial que nos rodea ha sido diseñado intencionalmente por el hombre. No obstante, los recursos naturales se están agotando. Aquí hay que entender que los materiales creados, los procesos de fabricación para crear materiales y la energía demandada por esos procesos son consecuencia de este mundo diseñado por el hombre. Esta realidad hace que los diseñadores sean altamente responsables del estado actual de las cosas y, por otro lado, actores influyentes para generar una etapa de cambio. Por lo tanto, el mundo post-industrial, el mundo post-carbono del siglo XXI exige respuestas evolutivas en el campo del diseño que promuevan la innovación y el cambio radical. Este es el contexto en el que, casi al borde del abismo se sitúa la biomimesis. Sólo hay dos opciones: *cambios producidos por el diseño o cambios producidos por los desastres*.

Ver la vida como un todo -para observar lo que toda la vida tiene en común- requiere un cambio en la forma en que normalmente miramos las cosas. Debemos mirar más allá del insecto, del árbol o de la flor, y buscar una perspectiva más panorámica. Necesitamos pensar tanto en el proceso como en la estructura. Desde este punto de vista ampliado, podemos ver la vida en términos de patrones y reglas. Al usar estas reglas, la vida construye, organiza, recicla y se recrea a sí misma. (Hoagland & Dodson, 1995).

Tal y como se describió anteriormente, es posible ver en la vida y en la naturaleza ciertos patrones que indican el modo en que ésta funciona. Dichos patrones se repiten a diferentes escalas, desde organismos microscópicos y sus partes hasta grandes ecosistemas. Recurriendo a la naturaleza como inspiración, y desde un punto de vista sistémico, cabe dibujar analogías para nuestros diseños fundamentados en estos patrones (Montana-Hoyos, 2010). Hemos compilado los 16 patrones propuestos por Hoagland & Dodson (1995), en combinación con los 9 principios propuestos por Benyus (1997), para proporcionar una lista completa de algunas de las características de la vida y de la naturaleza que pueden imitarse para el diseño de ambientes artificiales. En tal sentido y tras descartar algunas ideas repetidas, hemos identificado 22 patrones o principios:

1. La vida se construye progresivamente de abajo hacia arriba (de simplicidad a complejidad)
2. La vida se ensambla en cadenas
3. La vida necesita un interior y un exterior
4. La vida usa algunos temas para generar muchas variaciones
5. La vida se organiza con información
6. La vida alienta la diversidad al reorganizar la información
7. La vida se nutre de errores
8. La vida ocurre en el agua
9. La vida funciona con azúcar
10. La vida funciona en ciclos
11. La vida recicla todo lo que usa
12. La vida se mantiene por rotación de “stocks”
13. La vida tiende a optimizar en lugar de maximizar
14. La vida es oportunista
15. La vida compite dentro de un marco cooperativo y mutualista
16. La vida está interconectada y es interdependiente (Hoagland & Dodson, 1995)
17. La naturaleza prolifera con la luz del sol
18. La naturaleza usa solo la energía que necesita
19. La naturaleza ajusta la forma a la función.
20. La naturaleza demanda conocimiento local
21. La naturaleza frena los excesos desde adentro
22. La naturaleza aprovecha el poder de los límites (Benyus, 1997)

Para validar la biomimesis como una disciplina relevante y como un elemento importante para reconocer un cambio de paradigma en el diseño, es necesario estudiar su epistemología, es decir, comprender las circunstancias que conducen a los principios resumidos por Benyus y sus recientes predecesores, así como a

su fuente de racionalidad y empirismo. La generación de pensadores -escritores, eruditos, científicos y filósofos- que preceden a Benyus en la comprensión de cómo funciona la naturaleza y cómo se puede aplicar al ingenio humano, se puede encontrar hasta en la interpretación aristotélica del universo y las fuerzas naturales. En palabras de Aristóteles: “*la naturaleza no hace nada inútilmente*”, afirmación que se alinea con muchos de los principios considerados por la biomimesis y mencionados anteriormente. Sin embargo, es preciso remitirse a la generación de ambientalistas y ecologistas que surgió en el siglo XX para identificar las fuentes que inspiraron a Benyus en la creación de un punto de vista epistemológico para la biomimesis, entre ellos Rachel Carson y su libro destacado *Silent Spring* (1962); Amory Lovins del Rocky Mountain Institute; el Biólogo E. O. Wilson, autor de *Biophilia: The human bond with other species* (1984); Hazel Henderson, y sus trabajos fundamentales *Redefining Wealth and Progress: New Ways to Measure Economic, Social, and Environmental Change* (1990), *Paradigms in Progress* (1991) y *Beyond Globalization* (1999); y Paul Hawken, autor de *The Ecology of Commerce* (1993), en cuyas páginas se acuñó el término “economía restaurativa”, en clara referencia a la resiliencia de la naturaleza aplicada a la economía humana. Todos estos influyentes pensadores se mencionan en el libro *Biomimicry*, y todos ellos comparten las bases de una visión común que define el paradigma de la sostenibilidad reconocido en nuestros días por los diseñadores e investigadores del diseño. La biomimesis ha sido entendida y evaluada predominantemente sólo desde un enfoque objetivo, como parte de la cosmovisión que fundamentalmente deriva del positivismo-modernismo (Guba, Nielsen, 1990). Este es un enfoque utilitario ya conocido en las ciencias, en la ingeniería y en la tecnología. Desde otros ángulos menos convencionales y quizás más subjetivos, la biomimesis, la biomimética y el espectro general del diseño bioinspirado pueden revelar ámbitos novedosos para la discusión especulativa. Por ejemplo, desde la perspectiva de la ecología humana, la biomimesis puede relacionarse con la Teoría de “*Affordances*” (Gibson, 1977), que es particularmente atractiva para la idea del diseño bioinspirado. El término “*affordance*” no tiene hasta el momento una traducción definida al castellano, aunque se han propuesto algunos, como “disponibilidades” o “facilitaciones”. Por esto, seguiremos usando el término inglés aquí. La *Teoría de Affordances* de Gibson reflexiona sobre cómo la calidad de los objetos y entornos permite a los humanos realizar acciones determinadas a partir de la relación entre el entorno natural y el humano (Gibson, 1977). Las “*affordances*” se utilizan ampliamente en la actualidad en el diseño de productos e interfaces, y se definen como “propiedades en las que las características físicas de un objeto o entorno influyen en su función” (Lidwell *et al.*, 2003). Es interesante observar que Gibson formuló su teoría de las “*affordances*” mientras estudiaba la naturaleza y las especies vivientes. Este enfoque ecológico abre la oportunidad de aplicar la teoría al diseño de inspiración

biológica. Con base en estas nuevas perspectivas, las preguntas epistemológicas básicas de lo que podemos saber de la biomimesis y cómo podemos conocerla se pueden abordar desde un punto de vista objetivo y subjetivo.

La biomimesis dentro de los nuevos paradigmas del conocimiento: construir futuros resilientes y sostenibles mediante el diseño

Según Thomas Kuhn (1962), un cambio de paradigma es una transformación en las suposiciones básicas dentro de la teoría dominante, predominantemente gobernada por la ciencia. El enfoque de Kuhn sugiere que hay ciertas condiciones que deben cumplirse para reconocer cuándo se completa un cambio de paradigma. Dichas condiciones se relacionan con una estructura constituida por “las tres fases de un cambio de paradigma: una fase de pre-paradigma, una fase de ‘normalidad científica’ y una fase revolucionaria” (Kuhn, 1962). Kuhn, al proponer esta estructura, establece cierta afinidad con una idea cíclica. La ciencia eventualmente puede pasar por estos ciclos repetidamente, aunque Kuhn advierte que es bueno para la ciencia que tales cambios no ocurran a menudo o fácilmente (Kuhn, 1962).

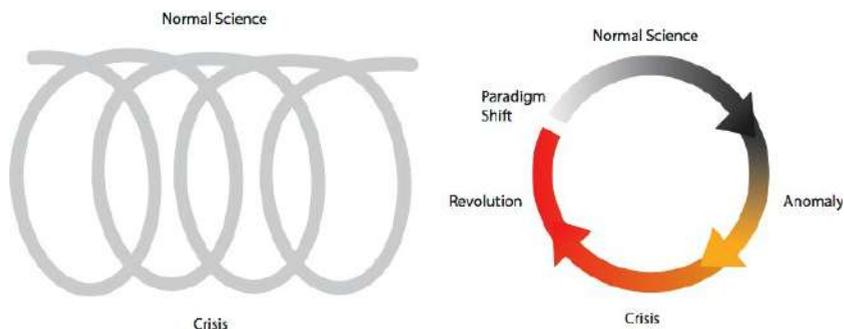


Figura 1. Este diagrama muestra la estructura cíclica de un proceso de cambio de paradigma propuesto por Kuhn. Fuente: Fiorentino, C. (2013)

Al tratar de situar la sustentabilidad en un sentido más amplio bajo esta estructura cíclica -o, en particular, el diseño sostenible y la propia biomimesis como paradigmas de resolución de problemas- resulta necesario comenzar a identificar el contexto desde el que surge la biomimesis durante la fase revolucionaria, en lugar de la fase correspondiente al paradigma dominante, ya que la biomimesis puede ser entendida como un paso revolucionario en la historia del diseño. Según Kuhn, la ciencia revolucionaria implica un cambio en las suposiciones básicas dentro de la teoría dominante o de la normalidad científica (Kuhn, 1962). Entendiendo la ciencia en términos kuhnianos como el conjunto de sistemas actuales que han

llevado a un mundo insostenible, la sostenibilidad se ajustaría, entonces, a la idea de Kuhn de una fase revolucionaria. La biomimesis supone una respuesta para la sostenibilidad que se localiza entre la revolución y el pre-paradigma. Las primeras etapas de la conciencia ecológica y los diseños contemporáneos bioinspirados, iniciados por intelectuales y diseñadores pioneros -como Leopold, Carson, Lovins, Papanek, Wilson, etc.- fueron respuestas ante la emergente crisis planetaria, respuestas a las anomalías existentes en el paradigma dominante, es decir, en la cosmovisión positivista modernista heredada de la revolución industrial y acelerada por el sistema derivado de la posguerra mundial. Estas anomalías muestran valores y comportamientos contradictorios. Por primera vez en la historia del planeta, una especie amenaza a todos los ecosistemas que hacen posible su supervivencia y la de otras especies. En nombre del progreso positivista-modernista, la humanidad se dirige a la autodestrucción, devastando, a su vez, el medio ambiente del que depende. Así, el cambio de paradigma se manifiesta desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, según el líder aborigen (Iriquoise) Oren Lyons “nos enfrentamos a un período de iluminación”⁵ en el que, como especie, nos hemos dado cuenta de que el cambio drástico es la nueva normalidad y que tenemos que actuar de acuerdo a nuestra naturaleza.

Como se ha dicho desde diferentes puntos de vista, nos enfrentamos a un “punto crítico” o un “punto de inflexión” en la evolución humana desde hace más de tres décadas, (Capra, 1982), y tal circunstancia vaticina grandes cambios tras un período de profunda crisis. Existe una suficiente y abrumadora evidencia científica que demuestra que la humanidad ya no puede continuar haciendo las cosas como acostumbraba sin enfrentarse a problemas terminales, sin tener en cuenta el cambio climático y su consiguiente inestabilidad social, política y económica. La pregunta no es *si*, sino *cuándo, cómo y durante cuánto tiempo* ocurrirán estos cambios, y qué debemos hacer para evitar grandes problemas. Todavía estamos entre el paradigma antiguo y el nuevo, con pensadores influyentes que representan al paradigma establecido, por un lado, “debatendo” (a veces negando) el cambio climático con el propósito de preservar las ideas dominantes y, por el otro, intelectuales con posturas que abogan por nuevos paradigmas que respondan a la realidad del cambio climático a través de la mitigación y la adaptación. Aplicando el modelo paradigmático de Kuhn, el cambio climático podría verse como una anomalía que crea tensión entre la normalidad científica (lo aceptado y lo habitual) y las teorías en competencia (representadas por la idea de sostenibilidad), posibilitando que nuevas disciplinas emergentes como la biomimesis desempeñen un papel en una fase pre-paradigmática y pongan las bases para una ciencia normal futura.

Acercarse a la investigación sobre la biomimesis desde un paradigma positivista-modernista supondría un enfoque erróneo y perpetuaría el modelo del pasado

que ha conducido a los problemas a los que nos enfrentamos hoy. Esta es la forma en que la palabra sostenibilidad ha sido engañosa y mal utilizada por el discurso del paradigma dominante para mantener los negocios, el orden actual y el *statu quo*. Esto puede interpretarse como un error epistemológico (Boehnert, 2011). Vale la pena recordar lo que significa la sostenibilidad en este punto. La sostenibilidad es un término controvertido, semántica y etimológicamente, y complejo en todas sus posibles interpretaciones. Es una “palabra reciente” que ha evolucionado rápidamente en su corta vida (Fiorentino, 2012). Sin embargo, la definición más aceptada de sostenibilidad no aborda la sostenibilidad en toda su extensión, sino más bien, se trata de una definición aplicada a otro concepto: el desarrollo. De hecho, la palabra sostenibilidad no estuvo presente en los diccionarios tradicionales hasta hace poco tiempo. La definición más aceptada de sostenibilidad fue introducida en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (la Comisión Bruntland), foro en donde se acuñó el término de desarrollo sostenible. En dicho informe se define la sostenibilidad como la acción de “*satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades*” (Bruntland *et al.*, 1987). Por ejemplo, una industria basada en el uso de combustibles fósiles puede satisfacer nuestras necesidades a corto plazo pero comprometerá las necesidades de generaciones futuras. A pesar de esto, en distintos lugares del mundo escuchamos en las principales noticias y en discursos corporativos y gubernamentales declaraciones interesantes como “desarrollo sostenible de la industria del petróleo” (<http://www.energy.alberta.ca/Initiatives/3214.asp>).

La investigación sobre la biomimesis como un camino hacia la sostenibilidad debe enmarcarse en el contexto de un cambio de paradigma en el campo del diseño. Siguiendo la línea de razonamiento de Kuhn, el diseño puede jugar un papel importante al provocar un cambio y la sustitución de una fase por otra dentro del conflicto entre paradigmas. Aplicando el modelo de Kuhn, la investigación sobre la biomimesis se sitúa en un contexto específico, entre una fase revolucionaria ya iniciada a mediados del siglo XX (en respuesta al industrialismo) y una fase previa al paradigma, donde el conocimiento está todavía fragmentado pero en proceso de ser unificado.

Para abordar la pregunta inicial sobre cómo la biomimesis, considerada como un nuevo paradigma de conocimiento, contribuye a construir la resiliencia y la sostenibilidad a través del diseño, es necesario averiguar dónde se sitúa exactamente la biomimesis en el proceso y en la etapa de la fase pre-paradigmática. Lo que está claro es que, en una línea de tiempo imaginaria, la biomimesis de hoy todavía está lejos de la fase de normalidad científica. Aun así, la perspectiva a corto plazo nos hace ser optimistas. La sola idea de sustituir la forma lineal de hacer las cosas por una forma cíclica es una gran transformación en el modo en que la

industria moderna fabricará productos y cambiará el rol de los diseñadores a un nivel paradigmático. Este mismo principio es ampliamente explorado por el enfoque denominado “de cuna a cuna”, en inglés “*cradle to cradle*” (*Cradle to Cradle*, McDonough & Braungart, 2002). Michael Pawlyn, un arquitecto que ha aplicado ampliamente la biomimesis, da un ejemplo de la diferencia de perspectivas:

(...) la manera en que tendemos a usar los recursos es extrayéndolos, convirtiéndolos en productos de vida corta y eliminándolos. La naturaleza funciona de manera muy diferente: en un ecosistema, los desechos de un organismo se convierten en nutrientes para otros organismos del ecosistema (Pawlyn, 2010)⁶.

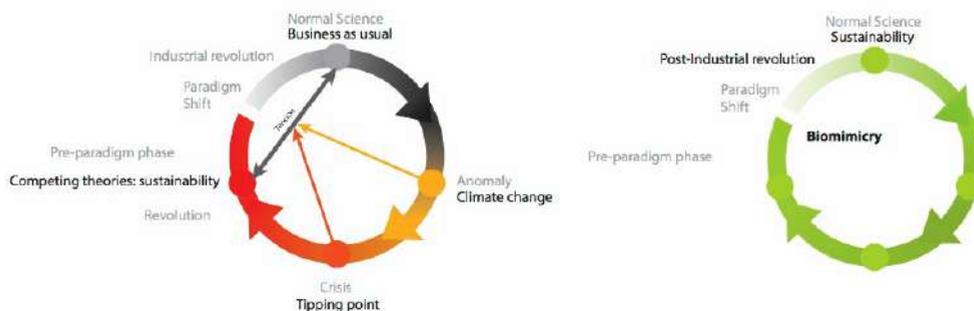


Figura 3. Al aplicar el modelo de paradigma de Kuhn, el cambio climático es visto como una anomalía, y esto genera una tensión entre la ciencia normal (que incide en una lógica convencional de negocios) y las teorías competitivas que surgen como respuesta a la crisis (que promueve la sostenibilidad). Esta situación permite que nuevas disciplinas emergentes como la biomimesis desempeñen un papel en una fase previa al paradigma y establezcan el terreno para un cambio de paradigma y para la ciencia normal futura. Fuente: Fiorentino, C. (2013).

Guba & Nielsen (1990) sugieren que nuestra cosmovisión actual está dominada por tres paradigmas de conocimiento generales: post-positivismo, idealismo crítico y constructivismo⁷. No es una tarea simple ubicar la sostenibilidad o la biomimesis dentro de los límites de estos paradigmas mencionados, ni clasificar la biomimesis o la sostenibilidad bajo ninguna etiqueta disciplinaria (ecologismo, diseño ecológico, etc.). En cambio, la idea de jugar un rol dentro de un “diálogo de paradigmas” de conocimiento abierto que pueda aplicarse pragmáticamente a múltiples disciplinas (Lincoln & Guba, 1996) parece ajustarse mejor a los principios de la sostenibilidad y biomimesis. Este punto de vista puede quizás describirse como parte de una visión posterior al “postmodernismo”, como sugieren algunos autores.

Cabe considerar el surgimiento de la biomimesis como parte de la transición hacia una fase previa al paradigma en la que “*todavía no hay consenso sobre ninguna teoría particular, sin embargo, los métodos de investigación podrían considerarse*

de naturaleza científica” (Kuhn, 1996). Esta fase se caracteriza básicamente por la fragmentación de ideas y enfoques, y por la combinación de teorías incompatibles e incompletas. Una vez más, es difícil determinar cuándo terminará esta fase, si ahora estamos en un período de transición hacia la fase normalidad de la ciencia o qué tan lejos estamos de ella. Las condiciones relativas a una fase de normalidad científica se consolidan cuando los extremos se conectan y las incertidumbres se resuelven dentro del contexto del paradigma dominante. En esta etapa del proceso (el cambio de paradigma), nuestra visión del mundo actual parece estar lejos de alcanzar una “visión del mundo sostenible” y la visión del mundo del diseño en particular parece estar lejos del diseño sostenible, tal y como se plantea en la fase de normalidad científica kuhniana. En este contexto, se comienza a reconocer el valor de la sabiduría de la naturaleza y a desarrollar soluciones inspiradas -nuevos materiales, nuevos artefactos y sistemas- pero aún estamos lejos de aplicar los conceptos universalmente del modo en que lo describe Benyus. Sin embargo, ya se ha dado inicio a un proceso de cambio hacia esta dirección y la aparición y progresiva consolidación de la biomimesis como disciplina es la prueba de ello.

La teoría de la resiliencia aplicada a la biomimesis

Además del marco conceptual dado por la biomimesis, y como respuesta a la crisis impulsada por los seres humanos, el concepto de resiliencia entra en juego y desempeña un papel importante en el contexto de la biomimesis y la sostenibilidad. Desarrollar la capacidad de recuperación es quizás la característica más fascinante que la vida puede enseñarnos, en concordancia con las leyes, estrategias y principios de la naturaleza, tal como se resumió anteriormente. La *Alianza de la Resiliencia* (www.resalliance.org) define la resiliencia “*como la capacidad de un ecosistema para tolerar las perturbaciones sin colapsar y derivar en un estado cualitativamente diferente controlado por un conjunto diferente de procesos*” (Resilience Alliance, 2010). Un ecosistema resiliente puede resistir los impactos y reconstruirse cuando sea necesario.

Los humanos formamos parte del mundo natural. Dependemos de los sistemas ecológicos para nuestra supervivencia pero continuamente impactamos los ecosistemas en los que vivimos a escala local y a escala mundial. La resiliencia es una propiedad de estos sistemas socio-ecológicos vinculados. La resiliencia, aplicada a los ecosistemas o a los sistemas integrados de personas y el medio ambiente natural, posee tres características definitorias:

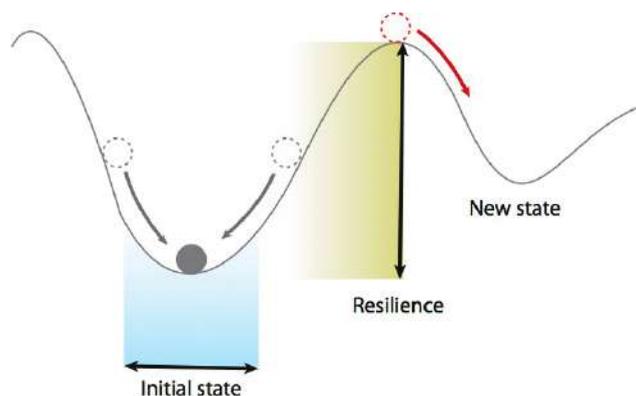


Figura 4. La metáfora de la “bola en una cuenca” explica cómo funcionan los sistemas resilientes. Si se empuja la bola un poco, volverá al fondo del tanque, es decir, a su estado inicial. Si se empuja la pelota con la fuerza suficiente, abandonará la cuenca y finalmente se establecerá en otro lugar, es decir, en un estado adicional. La altura de la cuenca, así, corresponde con la capacidad de resiliencia: cuanto más alta es la cuenca, más fuerte es el empuje que la pelota puede soportar y aun así regresar a su etapa inicial. Fuente: Fiorentino, C. (2013).

- Un sistema es resiliente cuando puede experimentar cierta cantidad de cambios y, a pesar de ello, conservar los mismos controles en cuanto a su función y estructura.
- En cierto grado, un sistema resiliente es capaz de auto-organizarse⁸.
- Un sistema es resiliente cuando posee la capacidad de construir e incrementar la capacidad de aprendizaje y adaptación (www.resalliance.org).

En contraste con la reciente palabra ‘sostenibilidad,’ la palabra resiliencia es antigua, se originó en el siglo XVII y evolucionó a partir del latín *resiliens*, que significa “retroceder”. La resiliencia está estrechamente relacionada con otros dos conceptos clave: flexibilidad y restauración. En la física moderna, la resiliencia está intrínsecamente presente en la segunda ley de la termodinámica, ya que introduce la idea de entropía o transferencia de energía como una condición permanente para el equilibrio negativo y la desintegración. En contraste con la física clásica, las teorías modernas demuestran que los sistemas naturales son *sistemas termodinámicamente abiertos* y exhiben propiedades de auto-organización más allá del equilibrio termodinámico. En términos biológicos, la vida en la Tierra, vista como un sistema completo, es resiliente a la entropía. Esto quiere decir que, si bien las formas de vida se ven afectadas individualmente por el paso del tiempo (desde el nacimiento hasta la muerte), también forman parte de un ciclo que pue-

de desembocar en un equilibrio permanente. La escala de tiempo y la velocidad de los cambios también afectan a la capacidad de un sistema para ser resiliente. Algunos científicos entran en otro tipo de especulaciones, proponiendo que la idea del tiempo en sí es un producto de la entropía. Es decir, el universo se expande y hace que el tiempo exista o se mueva con él. El modo en que las formas y los sistemas vivos se adaptan a esta idea es una manera de ser resilientes ante las fuerzas naturales (Fiorentino, 2012).



Figura 5. “The Fish School Exercise” es una actividad practicada en el curso HECOL 493 *Design for Sustainability* (Universidad de Alberta) que proporciona una demostración práctica de los patrones de autoorganización y de comportamiento (idea recuperada de: <http://www.icosystem.com/labsdemos/the-game>). El ejercicio demuestra que las reglas simples de comportamiento individual pueden conducir a resultados sorprendentemente coherentes a nivel de sistema, mientras que la intuición puede ser un criterio particularmente pobre para predecir el comportamiento de estos sistemas complejos por encima de algunos niveles de complejidad. Con el respaldo de una simulación por computadora, este ejercicio es una herramienta poderosa para entender la dinámica de sistemas complejos y aplicar dicho concepto para desarrollar principios de efectividad y resistencia en los sistemas humanos. Fuente: Fiorentino, C. (2013).

Asociando el concepto de resiliencia con la sostenibilidad, John Lyle escribió el libro *Regenerative design for sustainable development* en 1994, sugiriendo, pero todavía no usando, el término resiliencia. Años más tarde, David Orr en su libro *The Nature of Design* elaboró una inteligente definición cuando describe el diseño ecológico o el ecodiseño, (naciones más cercanas al diseño para la sostenibilidad): “... [el ecodiseño] es un arte por el cual buscamos restaurar y mantener la totalidad de la estructura de la vida cada vez más fragmentada por la especialización, el reduccionismo científico y la división burocrática” (Orr, 2002), en clara referencia al cambio de la cosmovisión positivista-modernista dominante. En esta definición,

Orr (como Lyle) usa los conceptos de restauración y mantenimiento como parte de un proceso integrado de diseño. También se vislumbra un orden cronológico. El diseño, en primer lugar, podría ser capaz de restaurar las cosas, productos, sistemas y comportamientos, para posteriormente mantener un deseado equilibrio. Para diseñar de modo sostenible, primero debemos diseñar para la resiliencia. La resiliencia es, a la vez, un factor condicional y conducente a la sostenibilidad (Fiorentino, 2012).

Aunque la idea de resiliencia está implícita en los principios de biomimesis, Benyus no enfatiza el concepto como lo hacen Lyle y Orr, pese a que estos autores no se refieren al concepto como resiliencia. No fue sino hasta hace muy poco que el término resiliencia comenzó a resonar en artículos relacionados con la sostenibilidad y el diseño de inspiración biológica. Unos años después del artículo de Orr, Carl Folke escribió en otro artículo: “*la perspectiva de la resiliencia se usa cada vez más como un enfoque para comprender la dinámica de los sistemas socioecológicos*” (Folke, 2006) y, más recientemente, el libro de Walker & Salt, *Resilience Practice: Building Capacity to Absorb Disturbance and Maintain Function*, acuña la idea del pensamiento de resiliencia de modo afín a la interpretación de Folke (Walker & Salt, 2012). Todavía el vínculo entre el diseño inspirado en la naturaleza, la biomimética y la resiliencia no está explícitamente presente. En 2013, *The Resilient Design Institute* publicó un breve artículo en su sitio web (<http://www.resilientdesign.org>) llamado *Biomimicry and Resilience*, que alude a otro artículo publicado en *The New York Times*: *¿Posibilitará la biomimesis un futuro, post-Sandy?*⁹ En la *Biomimicry First Global Conference* (Universidad de Massachusetts, Boston, junio de 2013), donde Janine Benyus fue la conferencista principal, después de preguntar cómo la biomimética podría ayudar a prevenir las consecuencias de los desastres climáticos, como el aumento del nivel de los océanos y las inundaciones de los frentes costeros de las ciudades, Benyus respondió: “*vayan a la orilla, den un paseo en la playa, todas las respuestas están ahí. Todo lo que puedes ver allí sobrevivió a la erosión y se adaptó a las condiciones cambiantes durante eones*”¹⁰. Este es un ejemplo de cómo el pensamiento biomimético puede ser articulado y aplicado con un enfoque de integración. Los diseñadores no padecen de una falta de información, sino de una falta de integración. La biomimesis ayuda a abordar esta deficiencia, por ejemplo, integrando la perspectiva de la resiliencia y el diseño en aras de desembocar en un pensamiento de la sostenibilidad. El caso de los frentes costeros es un buen ejemplo de esta integración. Mientras que el pensamiento asociado al diseño tradicional propone construir presas y muros de sacos de arena para evitar el agua, el pensamiento biomimético propone “*estrategias que favorezcan la reproducción de vegetación, la reconstrucción de dunas y bancos de ostras que actúan como arrecifes, protegiendo la tierra del impacto del agua*”¹⁰. Los frentes costeros naturales y las playas son resilientes a cambios en las condiciones del clima

y responden a esta situación después de miles de millones de años de adaptación de una manera sostenible. El diseño puede aprender de ejemplos como este y proporcionar soluciones más efectivas a largo plazo en contraste con estrategias de mitigación a corto plazo.

Conclusiones

Las reflexiones presentadas en este documento enfatizan la relevancia de la disciplina emergente de la biomimesis como parte de los nuevos paradigmas del diseño. En este contexto, la biomimesis puede ser una herramienta poderosa para el diseño de la sostenibilidad y, además, para el “diseño en pro de la resiliencia”. La biomimesis inspira a los diseñadores a aprender de la naturaleza y ofrece un modelo basado en el mutualismo, las sinergias y los ciclos observados en los ecosistemas y organismos vivos. La biomimesis, no solo trata de emular la forma o función de la naturaleza (como lo hacen otras disciplinas de diseño inspiradas en lo *biológico*), sino que imita el comportamiento, los procesos y los sistemas, con un fuerte enfoque en soluciones que son conducentes y respetuosas con la vida. Ofrece también un conjunto de herramientas conceptuales para enriquecer el proceso de diseño, así como guías para desarrollar mejores materiales y artefactos, mejorar los sistemas y crear las condiciones que conducen a mejores patrones de comportamiento. Desde un punto de vista epistemológico, la biomimesis parece llenar los vacíos o carencias transicionales entre las fases del paradigma (como se propone en este documento y con base en el modelo paradigmático de Kuhn) y, asimismo, colabora para lograr formas de pensamiento y conocimiento más inclusivas y conciliatorias para las disciplinas del diseño. Cabe entender el surgimiento de la biomimesis como parte de la transición hacia una fase previa al paradigma en la cual “*todavía no hay consenso sobre ninguna teoría en particular*”. Esta fase se caracteriza básicamente por la fragmentación de ideas y enfoques, y la combinación de teorías incompatibles e incompletas. Esto puede abrir nuevos espacios para la discusión y la generación de conocimiento, y un ejemplo de esto puede ser la inclusión de teorías como la relativa a las “*affordances*” tal y como se describe en el texto. La integración de la biomimesis en campos como la ecología humana y el diseño para la sostenibilidad proporciona orientación teórica y metodológica a la disciplina de una manera holística e interdisciplinaria. La sostenibilidad es un término polémico y complejo en todas sus posibles interpretaciones. En contraste, la palabra resiliencia es antigua, estrechamente relacionada con otros dos conceptos clave: flexibilidad y restauración. La idea de la resiliencia se encuentra implícita en los principios de la biomimesis. Como observación final, cabe concluir que la disciplina emergente de la biomimesis puede desempeñar un papel vital en el

cambio de paradigma que favorezca la sostenibilidad y la resiliencia.

Este artículo es una traducción del original en inglés, publicado en el *International Journal of Designed Objects* y presentado en la *Eighth International Conference on Design Principles and Practices*, 18 de enero de 2014, Universidad de British Columbia, Vancouver, Canada.

Fiorentino, C., Montana-Hoyos, C. (2014), The Emerging Discipline of Biomimicry as a Paradigm Shift towards Design for Resilience. *The International Journal of Designed Objects*. Champaign, Illinois, USA: Common Ground Publishing LLC 8 (1) 2-15 ISSN: 2325-1379.

NOTAS

¹ También referida con el anglicismo “biomimicry.”

² La sinérgica es el estudio empírico de los sistemas en transformación, poniendo especial énfasis en el comportamiento imprevisto del sistema como resultado del comportamiento de cualquier componente aislado, incluido el papel de la humanidad como participante y observador. Fuller acuñó este término mucho antes de que el término de sinergia se hiciera popular.

³ Fuller introdujo el domo geodésico en 1949: un caparazón esférico basado en una red de grandes círculos (geodésicos) sobre la superficie de una esfera. Fuller utilizó un enfoque energético-sinérgico para reproducir la geometría observada en la naturaleza (por ejemplo, los ojos de algunos insectos como libélulas o arañas).

⁴ El Biomimicry 3.8 Institute se fundó en 1998 y actualmente se ha convertido en un centro educativo y una red global que se extiende a representaciones regionales independientes en todo el mundo. <http://biomimicry.org/>.

⁵ Cita obtenida de una entrevista a Oren Lyons incluida en el documental *The 11th Hour* (2007).

⁶ Esta cita fue extraída de la charla -TED Talk- de Michael Pawlyn “Utilizando el genio de la naturaleza en la arquitectura” impartida en Londres en el año 2010. En 1999, Pawlyn fue uno de los cinco ganadores de “*A Car-free London*”, un concurso de ideas para presentar soluciones estratégicas ante las futuras necesidades de transporte de la capital y nuevas posibilidades para espacios urbanos. En septiembre de 2003 tomó parte en un curso intensivo de diseño inspirado en la naturaleza en el Schumacher College, dirigido por Amory Lovins y Janine Benyus. Ha disertado ampliamente sobre el tema del diseño sostenible en el Reino Unido y en el extranjero. Los autores se reunieron personalmente con él en la presentación de los discursos de apertura en la Conferencia de Sostenibilidad a través de la *Biomimética 2012*, celebrado en Arabia Saudita.

⁷ En su sentido más amplio, el positivismo supone un rechazo de la metafísica. Se trata de un planteamiento que sostiene que el objetivo del conocimiento es simplemente describir los fenómenos que experimentamos. Desde un punto de vista positivista, el propósito de la ciencia es simplemente ajustarse a lo que podemos observar y medir. El conocimiento de algo más allá de ello, desde un punto de vista positivista, es imposible. El positivismo fue fuertemente aceptado por el industrialismo en el siglo XX. El realismo crítico es una de las formas más comunes de post-positivismo. Un realista crítico cree que hay una realidad independiente de nuestra forma de pensar que la ciencia puede estudiar. Los positivistas también eran realistas. La diferencia es que el realista crítico post-positivista reconoce que toda observación es falible y tiene errores, y que, por tanto, toda teoría es revisable. El realista crítico cuestiona nuestra capacidad de conocer la realidad con certeza.

Otra forma de post-positivismo es el constructivismo. Los constructivistas creen que cada uno de nosotros construye nuestra visión del mundo en función de nuestras percepciones sobre él. Como la percepción y la observación son falibles, nuestras construcciones deben ser imperfectas. (<http://www.socialresearchmethods.net>).

⁸El principio de auto-organización fue propuesto por los científicos Maturana y Varela a principios de 1960 bajo la teoría de la *Autopoiesis*. Esta teoría sostiene que los sistemas vivos se auto-organizan con mecanismos que mantienen sus formas particulares a pesar del flujo entrante y saliente de materiales, y a través de comportamientos de auto-regulación. La autopoiesis se vincula con la resiliencia, las leyes de la termodinámica y los principios de la biomimesis.

⁹Sandy fue el huracán mas destructivo y fatal de la temporada de huracanes en Norteamérica en 2012.

¹⁰Estas declaraciones fueron parte de notas personales del primer autor cuando asistía a la conferencia magistral en la *Biomimicry Global Conference* en Boston, y se tomaron durante la ronda de preguntas a Janine Benyus el 22 de junio de 2013. No hay registro de esta conversación y no ha sido publicada hasta la fecha.

BIBLIOGRAFÍA

- BATESON, G. (1972). *Steps to an Ecology of Mind*. New York: Ballantine.
- BAUMEISTER, D. (2013). *Biomimicry Resource Handbook: A seed bank of knowledge and best practices*. Missoula MT, USA: Biomimicry 3.8.
- BENYUS, J. (1997). *Biomimicry: innovation inspired by nature*. New York: Perennial.
- BENYUS, J. (2008). A good place to settle: Biomimicry, biophilia, and the return to nature's inspiration to architecture. In Kellert, S. Heerwagen, J. & Mador, M. (Eds.). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Hoboken, N.J.: Wiley.
- BOEHNERT, J. (2011). *Epistemological Error. A Whole Systems View of Converging Crises*. London: EcoLabs University of Brighton.
- CAPRA, F. (1982). *The Turning Point*. New York: Simon & Schuster.
- CAPRA, F. & Henderson, H. (2009). *Qualitative Growth*. London: The Institute of Chartered Accountants England and Wales.
- CARLSON, R. (1961). *Silent Spring*. New York: Houghton Mifflin.
- CODE, L. (2013). Thinking Ecologically: The Legacy of Rachel Carson. In Kabasenche, W., O'Rourke, M. & Slater, M. *The Environment: Philosophy, Science, and Ethics*. Cambridge (Mass.): MIT press.
- CRUTZEN, P. J. (2006). The Anthropocene. In E. Ehlers, T. Krafft (Eds.). *Earth System Science in the Anthropocene. Emerging Issues and Problems*. Heidelberg: Springer.
- EDMONDSON, A. (2007). *A Fuller Explanation*. Pueblo: EmergentWorld LLC.
- EDWARDS, A. (2005). *The sustainability revolution: Portrait of a paradigm shift*. Gabriola Island: New Society Pub.
- FALCON, A. (2005). *Aristotle and the Science of Nature: Unity without Uniformity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- FIORENTINO, C., MONTANA-HOYOS, C. (2014). The Emerging Discipline of Biomimicry as a Paradigm Shift towards Design for Resilience. *The International Journal of Designed Objects*. Champaign, Illinois, USA: Common Ground Publishing LLC 8 (1) 2-15
- FIORENTINO, C. (2012). Design for Sustainability vs. Design for Resilience: A Time Scale Problem? *The International Journal of Sustainability Education* 8, 30-45.
- FIORENTINO, C. (2012, November). *Applying Biomimicry Concepts in Teaching Design for Sustainability: The most inspiring design solutions are present in nature*. Paper presented at the STB Conference 2012, Saudi Arabia.
- FOLKE, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16, 253-267.
- GIBSON, J. (1977). The Theory of Affordances. In Shaw, R. & Bransford, J. (Eds.) *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- GIBSON, J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- GUBA, E. (1992). The alternative paradigm dialog. In Guba, E. (Ed.). *The paradigm dialog*. Sage: Newbury Park.
- HENDERSON, H. (1999). *Beyond Globalization*. West Hartford: Kumarian Press.
- HOAGLAND, M. & Dodson, B. (1995). *The Way Life Works*. New York: Three Rivers Press.
- KELLERT, S. HEERWAGEN, J. & MADOR, M. (2008). *Biophilic Design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Hoboken, N.J.: Wiley.

- KUHN, T. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- LIDWELL, W., HOLDEN, K., & BUTLER, J. (2003). *Universal principles of design: 125 ways to enhance usability, influence perception, increase appeal, make better design decisions, and teach through design*. Massachusetts: Rockport.
- LINCOLN, Y. & GUBA, E. Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences. In Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- LOVINS, A. (1977). *Soft energy paths: toward a durable peace*. New York: Harper & Row.
- LYLE, J. (1994). *Regenerative design for sustainable development*. New York: John Wiley.
- MCDONOUGH, W. & BRAUNGART, M. (2002). *Cradle to Cradle*. New York: NorthPoint Press.
- MILLETT, S. (2011). *Aristotle's Powers and Responsibility for Nature*. Bern: Peter Lang.
- MONTANA-HOYOS, C. (2010). *Bio-ID4S Biomimicry in Industrial Design for Sustainability*. Germany: VDM Verlag.
- MONTANA-HOYOS, C. (2010). *The Bio-Inspired Design Landscape, Industrial Design*. BioInspired: Center for Biologically Inspired Design-Georgia Tech. 7-3.
- NIELSEN, J. (1990). Introduction. In Nielsen, J. M. (Ed.). *Feminist Research methods: Exemplary readings in the social sciences*. Boulder, CO: Westview Press.
- ORR, D. (2002). *The Nature of Design*. New York: Oxford University Press.
- PAPANEK, V. (1984). *Design for the real world: human ecology and social change*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- VOGEL, S. (1998). *Cats' paws and catapults: Mechanical worlds of nature and people*. New York: WW Norton & Company.
- VOGEL, S. (2003). *Comparative biomechanics: life's physical world*. New Jersey: Princeton University Press.
- WALKER, B. & SALT, D. (2012). *Resilience Practice: building capacity to absorb disturbance and maintain function*. Washington, D.C.: Island Press.
- WILSON, E. (1984). *Biophilia: The human bond with other species*. Cambridge: Harvard University Press.
- WOOLLEY-BARKER, T. (2013). *How Would Nature Create A 'Generous City'?* Obtenido de <http://www.triplepundit.com/2013/07/creating-conditions-conducive-life-first-biomimicry38-global-conference/>.