

Biomimesis: la nueva cultura de la sustentabilidad para el desarrollo humano

Hernando Bernal Zamudio

Cátedra Unesco de Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental (UPV-EHU)
Amassunu

La biomimesis es una novedosa forma de hacer conocimiento, ciencia y tecnología, que respeta la socio(bio)diversidad del mundo a partir del uso inteligente de los componentes de la naturaleza, sean estos bióticos y/o abióticos. Dicho conocimiento técnico-científico determina la construcción de manera integral y sistémica de una nueva cultura del desarrollo humano centrado en la sustentabilidad de aquélla para las próximas décadas, por medio del desarrollo e implementación de la tecnociencia sofisticada.

El cambio de paradigma desde la biomimesis consiste en reconocer que la naturaleza tiene estructuras económicas, lo que nos permite explorar dichos principios de la “economía natural” de los ecosistemas para poder imitarlos y acoplarlos de la mejor manera a la economía humana, pero sin deteriorar los recursos naturales. Se debe considerar a la economía humana un subsistema del sistema de la economía de la naturaleza en la biosfera-atmósfera terrestre. Se describen inicialmente en este trabajo el marco teórico sobre la biomimesis y su relación con la economía solar y circular de materiales, para después incurrir en lo relacionado con la biomimesis, y la economía humana del conocimiento. Y, finalmente, detenernos en el desarrollo humano sostenible biomimético. Con el objeto de reforzar lo expuesto desde la perspectiva teórica, se mencionan tres casos: El primero tiene que ver con el mundo del reino fungi, el segundo tiene que ver con el con reino animal (la acuicultura en la Amazonia) y el tercero con la robótica.

La biomimesis promueve una economía solar y circular de materiales

La motivación de procurar el tan anhelado progreso para la humanidad en los tiempos actuales debe ir encaminada y fundamentada sobre los postulados que se proponen desde el paradigma de la biomimesis, el cual se fundamenta en el conocimiento integral de los sistemas ecológicos y biológicos. Los respectivos “siste-

mas biológicos nos han enseñado que las tareas funcionales más complejas se pueden lograr a través de la adaptación y la evolución, y también debemos aprender a adaptarnos y evolucionar a un panorama científico en constante cambio” (Raman & Bashir, 2017, p. 17).

El paradigma biomimético, en su sentido estricto, está relacionado con la emulación y el aprendizaje de la naturaleza, ya que los problemas que padecen los seres humanos, han sido superados integralmente por la naturaleza desde hace milenios. Sin embargo es importante no olvidarnos de la incertidumbre y la contingencia, “porque podemos intentar orientar la evolución de sistemas complejos, pero nunca vamos a tener certeza sobre los resultados” (Riechmann, 2003, p. 31). Pero, aun así, es importante tener como referente y guía a la naturaleza, ya que es una apuesta en positivo y porque muchos de los desafíos en nuestra vida cotidiana tienen que ver con la forma de relacionarnos como especie y con las demás especies que componen la naturaleza (Topaz, 2016, p. 112). En ese sentido, la naturaleza es “la única empresa que nunca ha quebrado en unos 4.000 millones de años” según el biólogo Frederick Vester, lo que nos “proporciona el modelo para una economía sustentable y de alta productividad” (Riechmann, 2003, p. 28).

La naturaleza debe ser vista como una fuente inagotable de inspiración para los seres humanos con el fin de contrarrestar la insostenibilidad que se funda a partir de un modelo antropocéntrico (perspectiva filosófica donde el humano es el centro y la medida de todo), y que se materializa en la construcción de la tecnosfera humana en la denominada era del “Antropoceno”. En este periodo se han generado una serie de sistemas humanos mal adaptados a la biosfera, y que encajan mal en los respectivos ecosistemas naturales. Por lo tanto, “el problema de la estructura exige una reconstrucción de la tecnosfera de acuerdo con los principios de Biomimesis” (Riechmann, 2005, p. 95). Por eso, para los seres humanos la biomimesis es la forma más conveniente e integral de usar y de manejar inteligentemente la naturaleza en la tecnosfera; se puede considerar a la biomimesis como la transferencia de tecnología desde los sistemas naturales hacia los sistemas humanos (Blok & Grememm, 2016). Bajo este enfoque, los principios biológicos y ecológicos se aplican a la resolución de problemas humanos a partir de las respectivas formas, mecanismos, procesos y funciones biológicas para estimular el desarrollo de nuevas creaciones humanas en las diversas disciplinas de conocimiento (Topaz, 2016).

Los postulados centrales que rigen el paradigma de la biomimesis, con el objeto de lograr el cambio radical del sistema productivo afín a la economía humana crematística, son los siguientes: 1) concebir a la naturaleza como su modelo, ello quiere decir que la biomimesis es una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza para imitar o inspirarse en los diseños o procesos biológicos con el fin de resolver problemas humanos; 2) determinar a la naturaleza como medi-

da. Esto plantea que la biomimesis se vale de un estándar ecológico para juzgar la ‘corrección’ de nuestras innovaciones. Después de 3.800 millones de años de evolución, la naturaleza ha descubierto lo que funciona, lo que es apropiado y lo que perdura; 3) la naturaleza se constituye como mentor. Hace referencia a una nueva manera de contemplar y valorar la naturaleza por el potencial enorme de innovación que se puede extraer a partir de los componentes de la naturaleza. En este momento, los seres humanos solo aprovechan el 10% de la tecnología de la naturaleza trasferida a la tecnología humana. La simbiosis plena entre procesos tecnológicos biológicos y la tecnología humana moderna aún es muy limitada. De todas maneras, es importante señalar que se inicia una era basada, no en lo que podemos extraer del mundo natural, sino en lo que éste puede enseñarnos (Benyus, 2012, p. 13); de ahí lo fundamental y significativo de poder conservar los componentes bióticos y abióticos de la naturaleza para que ésta y las futuras generaciones las disfruten y sean su modelo de innovación. Al desaparecer una especie o un recurso natural, desaparece una fuente de inspiración y contemplación para los humanos.

La naturaleza ostenta unas estructuras económicas que existen desde hace 4.000 millones de años y la economía humana debe aprender de ella e imitarla, ya que la base de la economía de la naturaleza se relaciona con los procesos de reciclaje de todos los productos de desecho. Los productos de desecho en la naturaleza son concebidos como nutrientes, al fundamentarse en un “sistema de circuito cerrado de ciclo de materiales movidos por el sol...En semejante “economía” la durabilidad se maximiza y los recursos terrestres en “teoría” pueden durar tanto como el sol siga irradiando la energía para mover los ciclos materiales cerrados” (Daly, 1989, p. 30). Además, al imitar el modelo que ha creado la propia “economía de la naturaleza” y trasladarlo al proceso económico imperante en los sistemas humanos, se está reconociendo a la segunda ley de la termodinámica, relacionada con la ley de la entropía. La ley de la entropía consiste en afirmar que “es la forma más simple por la que se reconoce la existencia de los verdaderos acontecimientos de la Naturaleza” (Georgescu-Roegen, 1996, pp. 198-228).

La biomimesis, asumiendo los principios que rigen la ley de la entropía, logra equiparar a la economía humana con la “economía de la naturaleza”, ya que en la “economía de la naturaleza” prima desde sus orígenes una economía solar y cíclica, regida por la ley del principio de conservación de la materia, la energía y la disipación (el principio de la Ley de la entropía). En tal sentido, todas las actividades económicas humanas en su conjunto sufren procesos de degradación y disipación (De la Raza, 2010, p. 111; Cuervo & Ramos, 2000, p. 80).

Si se reconoce que la naturaleza tiene estructuras “económicas”, es posible hacer una lectura de la forma en su conjunto, esto es, de cómo se trasmite la información en su totalidad, tanto en el uso de los materiales como en la energía

transmitida a nivel de la cadena trófica. Un ejemplo de la trasmisión de la información es el proceso de la fotosíntesis, el de la polinización, el de los ciclos (nutrientes, hídrico, entre otros) y el de la trasmisión de la información vía genética a través del proceso co-evolutivo de las especies; todo ello viene a determinar el intercambio de “bienes” y de servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos de la naturaleza son la base y la garantía sobre la cual prospera la vida, tal como la conocemos a nivel de la biosfera-atmósfera terrestre. El enfoque biomimético supone que debemos organizar nuestras sociedades y nuestras economías partir de los servicios y de los principios funcionales de los ecosistemas (Bermejo, 2014, p. 87, 88; Bermejo, 2011, pp. 110-113; Bermejo, 2001, pp. 150-151).

La economía humana, que en la actualidad está bajo la lógica del modelo económico capitalista, se basa en un uso ineficiente de la energía solar, el no cierre del ciclo de materiales y una constante dinámica de exclusión social, de tal manera que el flujo total de materiales inducidos por la actividad humana está incidiendo sobre los ciclos de materiales y sobre los flujos geológicos. Muchos materiales usados en las cadenas productivas por los seres humanos están rompiendo el ciclo natural a través de la eutrofización (nitrógeno y fósforo en la agricultura). Otro ejemplo que describe esta situación es lo que sucede con la contaminación por carbono, plomo, asbesto, uranio, entre otros, y la escasez de minerales de tierras raras, en la medida en que supone un impacto causado por los humanos en una escala de tiempo corto. Este fenómeno se ve aún más agravado cuando se utilizan materiales no biodegradables, disipativos, ecotóxicos y, además, sintetizamos compuestos de creciente complejidad, lo cual limita y hace más difícil lo relacionado con el reciclado y la reutilización (Bermejo, 2001, p. 151).

Por medio del enfoque biomimético y el correspondiente desarrollo técnico-científico que lo acompaña y dinamiza, se pretende que se vaya sustituyendo el sistema tecnológico y el sistema de producción que sustenta la producción de bienes y servicios creados por los seres humanos (que es insostenible en términos de uso y manejo, tanto de materiales como de energía), por otro sistema alternativo en simbiosis con la naturaleza. El sistema de producción imperante que va en contra de la biofilia y topofilia, al no ser circular, intensifica el uso de materiales considerados escasos, críticos y peligrosos (Heyd, 2005, p. 179; Bermejo, 2001, p. 151). El cambio tecnológico es imprevisible y puede considerarse que modifica drásticamente nuestras necesidades (Valera & Marcos, 2016, p. 679); pero sin olvidarnos que la innovación puede “allanar el camino a la equidad social, pero para que ello sea posible probablemente se requieran nuevos desarrollos teóricos y marcos conceptuales” (Albornoz, 2013, p. 111).

No obstante, se hacen necesarios nuevos desarrollos teóricos y marcos conceptuales desde una perspectiva autocrítica. Sin “esta autocrítica será inviable un uso sensato de las técnicas y tecnologías, con su enorme potencial para la mejora

de la condición humana, al tiempo que evitamos -si aún fuese posible- la deriva exterminista, nihilista y suicida de la civilización industrial” (Riechmann, 2016, p. 409). En la denominada primera revolución industrial la naturaleza era sometida y explotada, mientras que la considerada segunda revolución industrial biomimética se debe caracterizar por el aprendizaje y la exploración de la naturaleza (Blok & Gremmen, 2016).

La Biomímesis: bases para la economía humana del conocimiento

El desarrollo e implementación de la biomimesis en el mundo no es igual. Los países desarrollados superan de manera importante a los países en vías en desarrollo, y ello se aprecia en el número de profesionales, de patentes registradas, de centros de investigación, de empresas o de grados académicos relacionados con el enfoque biomimético. Este liderazgo obedece a la inversión en ciencia y tecnología, elemento crítico y neurálgico para poder lograr jugar y competir en las denominadas “ligas mayores” que desarrollan la ciencia y tecnología biomimética sofisticada, logrando, con ello, unas economías más complejas. Se considera que una economía es “más compleja si cuenta simultáneamente con una estructura productiva diversificada y con sectores o actividades que existen en pocos países. Esas actividades no están difundidas porque requieren capacidades tecnológicas sofisticadas que están fuera del alcance de muchas economías” (CEPAL, 2016, p. 15).

En la última década, ha existido una evolución positiva en relación con el Producto Interno Bruto (PBI) en América Latina y el Caribe (ALC), y con ello la inversión destinada a la Investigación + Desarrollo (I+D), llegando a tener un crecimiento del 106%. Pero muchos de los problemas económicos existentes en la actualidad en países de América Latina y el Caribe (ALC) “empiezan a reflejarse en la inversión en I+D: 2015 es el año con menor crecimiento de la serie con un 1,3%, apenas por encima del crecimiento del PBI. Por otra parte, es importante no perder de vista que dicha inversión representa tan sólo el 3,5% del total mundial” (RICYT 2017, p. 14); lo cual se puede apreciar en la inversión por bloques geográficos en la figura (1).

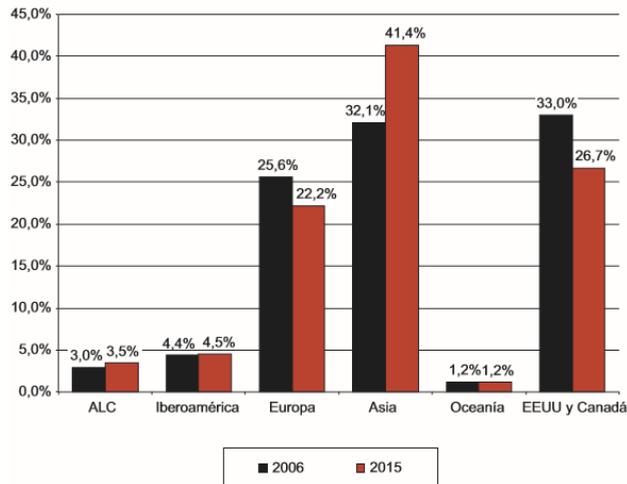


Figura 1. Bloques geográficos y su relación en la distribución de la inversión mundial en Investigación + Desarrollo (I+D), en dólares PPC (Paridad, de Poder de Compra) en el periodo comprendido y analizado entre el 2006 al 2015. Fuente: RICYT 2017, p. 19.

Aun así y a pesar del crecimiento coyuntural en su conjunto en lo relacionado con la Investigación + Desarrollo (I+D), en América Latina y el Caribe (ALC), se mantiene el lastre histórico que tiene que ver con la inversión en ciencia y tecnología. Estos datos, tal y como se pueden apreciar en la figura (2), son significativos, ya que indican la falta de compromiso real por la inversión en ciencia y tecnología en ALC, habida cuenta que no supera el 0,5 % de PIB (incluso en el caso de los PIB más bajos). En dicha figura se puede constatar que los países en la parte inferior izquierda del cuadrante se encuentran fuera de la frontera tecnológica de las denominadas tecnologías sofisticadas (teniendo como excepción a Brasil, que invierte el 1,2 % de PIB).

La baja inversión en ciencia y tecnología repercute en la investigación relacionada con la biomímesis, en el logro de nuevos biomateriales para generar productos que vayan al mercado de consumo de bienes y servicios e ir, con ello, construyendo una economía circular y una sociedad del conocimiento. Los avances más relevantes de la biomímesis se están generando en los países industrializados, y esto se explica por la puesta en marcha de la denominada economía del conocimiento que se sustenta, fundamentalmente, sobre las tecnologías convergentes (NBIC): nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la Información (TI) y ciencia cognitiva.

En los países en vías de desarrollo, el desarrollo de la biomímesis se está generando a partir de un proceso de aproximación incipiente a las NBIC, tanto a nivel urbano como rural. A nivel urbano, se fundamenta desde de la academia y la

industria. Por otra parte, el enfoque biomimético se está poniendo también en marcha a través del intento de copiar los componentes del bosque para la producción de alimentos en el mundo rural tradicional, aspecto éste que ha estado presente, a partir de un modelo cosmovisional animista, en las prácticas ancestrales desde tiempos milenarios (Smith, 2017; Heyd, 2005, p. 180).

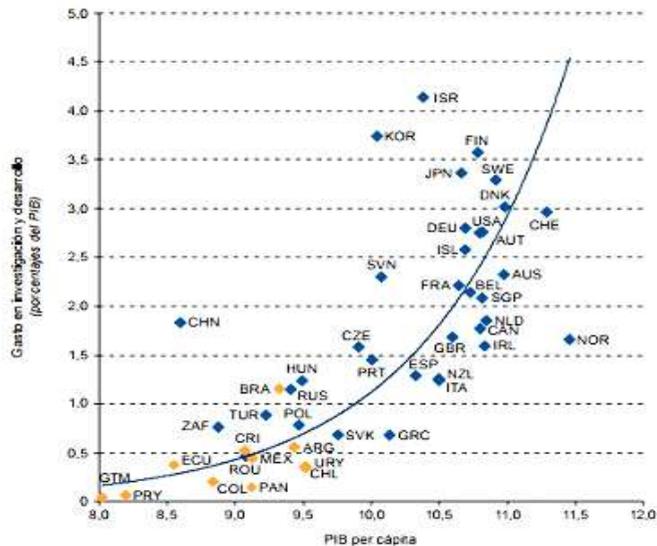


Figura 2. Inversión en investigación y desarrollo según el PIB per cápita promedio de 2009-2013 en países de América Latina y en los países desarrollados. Fuente: CEPAL, 2016, p. 18.

El enfoque biomimético, de acuerdo a lo afirmado, permite generar nuevos ángulos de aproximación técnico-científica que están relacionados con el aprendizaje de la funcionalidad y de la operatividad de las respectivas especies dentro de los ecosistemas naturales. Esta forma de hacer ciencia y tecnología impulsa también nuevos tipos de relaciones sociales y, con ello, una bioeconomía circular de producción para el mercado de bienes y servicios; estos productos, generados desde la inspiración en la economía de la naturaleza, pueden ser incorporados en la denominada tecnosfera de forma sostenible por parte de la economía humana. De ahí, que, al desaparecer algunos componentes de la naturaleza, se pierdan tecnologías naturales, principios activos (físico-químicos y biológicos) o fuentes de inspiración (estéticos). Dicha pérdida degrada y la vida misma, incidiendo negativamente en el desarrollo de nuevos campos científico-técnicos relacionados con las tecnologías convergentes (NBIC). El resultado de ello es que se impide, tanto a las actuales generaciones como a las futuras generaciones, el logro de procesos

innovadores que pudieran traducirse en bioproductos saludables para las personas y para los propios ecosistemas. De esta manera, se pone freno a la generación de bioproductos que sean asimilados y amigables con el medio ambiente una vez utilizados, permitiendo el ciclo de la vida más largo y con “ello” la co-evolución de las especies, dentro de un mercado de bienes y servicios comerciales.

Al amparo del principio biomimético de la interdependencia co-evolutiva de toda interacción vital, palpita una idea de organización compleja que viene a afectar, no solo a los organismos biológicos, sino también a los sistemas sociales modernos, espacios autorreferenciales que se regulan y acoplan estructuralmente mediante la permeabilidad selectiva de los influjos y relaciones con el medio ambiente (Sierra *et al.*, 2014, p. 359; Sierra, 2016, p. 65).

Por eso, el fin primordial de una aproximación biomimética en los procesos de desarrollo humano se fundamenta en la solución de los problemas medio ambientales y de exclusión social generados por el sistema económico hegemónico crematístico. Y la forma de proceder es aprendiendo a usar inteligentemente los procesos de la naturaleza y con la naturaleza, a fin de ir implementando una bioeconomía circular que se traduzca en la construcción de una verdadera sociedad del conocimiento. Ello permitirá poder diversificar la economía humana y volverla más eficiente en términos ambientales, así como rectificar los procesos y factores formadores dinámicos que inducen a la insostenibilidad. Tengamos en cuenta que dichos factores repercuten tanto a nivel local como en lo global, y tienen en jaque a la actual civilización debido a la crisis ambiental que, en el fondo, refleja una crisis del actual modelo de civilizatorio (Naredo, 2006, p. 37), como herencia de un proceso histórico de industrialización que dio inicio en 1870 y llega hasta la actualidad.

En el actual mundo de la ciencia, de la tecnología y de la innovación relacionado con la industria sofisticada y la economía humana del conocimiento, se destacan aquellos sectores industriales relacionados con los biomateriales, las macropartículas y las micropartículas, ya que han tenido el más grande desarrollo en presente, según el *Industrial Biotechnology Journal* 2015. Estos sectores abordan los siguientes campos: bioenergía, biocombustibles, *biorefining*; biomasa/materias primas, ciencias agrícolas; biomateriales: bioplásticos, biofilms; productos químicos y enzimas (a granel, fino, especialidad); procesamiento de alimentos, bebidas y alimentos; cosmecéuticos y cuidado personal; fibras (papel y celulosa, textiles); lubricantes, tensioactivos, detergentes; sector automotriz; biodefensa; biorremediación; bioprospección y biotecnología marina; nanobiotecnología (Montana-Hoyos & Fiorentino, 2016).

Desarrollo humano sostenible biomimético

La noción de Desarrollo Humano (DH) emergió a finales de los años ochenta, introduciendo como eje central la dimensión humana como centro de las preocupaciones de la economía del desarrollo (Griffin, 2001, p. 26). Pero durante el siglo XX se agravaron los problemas medioambientales heredados y generados por los seres humanos desde el periodo de la industrialización. Tal fenómeno ha impactado a nivel de biosfera-atmósfera terrestre, “al alejarse la especie humana del modelo de funcionamiento de la biosfera, cuando empezó a usar masivamente los combustibles fósiles para acelerar las extracciones de la corteza terrestre y extender el transporte horizontal por todo el planeta” (Naredo, 2006, p. 48). Entre los vectores dinámicos de insostenibilidad más destacados, se pueden señalar el del crecimiento demográfico de los seres humanos, la economía humana del libre mercado que adquirió connotaciones globales con sus respectivas externalidades negativas, la intensificación de los conflictos armados regionales y “con ello” las hambrunas, las migraciones y la violación de los derechos humanos (Unceta, 2001, p. 410).

Para superar esas limitaciones, se debe partir y hacer énfasis en la búsqueda de un equilibrio entre los procesos desarrollados por los humanos y los componentes de la naturaleza, con el fin de que no se logre superar la capacidad de carga y se permita la resiliencia de los componentes de la naturaleza. Por eso, a finales del siglo XX se planteó que el nuevo milenio exigía reflexionar acerca de la implementación de un modelo de *Desarrollo Humano Sostenible* (DHS). Es importante indicar que el *Desarrollo Humano Sostenible* (DHS) es un “concepto formulado en términos de capacidades... dicho enfoque permite definir una política del bien común centrada en la persona, con toda su integridad y complejidad” (Valera & Marcos, 2016, p. 671).

Es importante tener en cuenta que esa convergencia conceptual entre desarrollo humano, por un lado, y desarrollo sostenible, por el otro, se expuso en el mes de julio de 1993, durante el discurso del presidente del Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). En dicho foro se planteó la necesidad de una visión del desarrollo nueva e integradora, que consistía en un enfoque centrado en el ser humano. Y el PNUD lo define de la siguiente manera: “El desarrollo humano sostenible es un desarrollo que está a favor de los pobres, a favor de la naturaleza, a favor del empleo y a favor de la mujer. Enfatiza el crecimiento, pero un crecimiento con empleos, un crecimiento con protección del medio ambiente, un crecimiento que potencia a la persona, un crecimiento con equidad” (Moreno, *et al.*, 2015, p. 66)

El Desarrollo Humano Sostenible está relacionado con un modelo de desarrollo económico dirigido a fomentar las capacidades y las oportunidades humanas

desde el ámbito de los valores individuales, pero también desde lo colectivo, a partir de los valores sociales y del respeto por el medio ambiente. El propósito fundamental es que se logre superar las propias limitaciones, lograr mayores niveles de autonomía individual y de libertad por medio de una mayor incentivación del bienestar social: “Es decir, el objetivo del desarrollo no es incrementar el producto sino propiciar que la gente disponga de una gama mayor de opciones, que pueda hacer más cosas, vivir una vida más larga, eludir enfermedades evitables, tener acceso a la reserva mundial de conocimientos, etcétera” (Griffin, 2001, p. 13). Estas premisas fueron expuestas originalmente por Amartya Kumar Sen al hacer énfasis sobre el proceso de *Desarrollo Humano*, el cual debía ser visto como un proceso de ampliación de las “capacidades” y libertades en relación con las personas y no como un aumento de la utilidad que diese lugar a un modelo de bienestar centrado en la satisfacción económica (Daly, 1989, p. 30).

La implementación del *Desarrollo Humano Sostenible* (DHS) a partir del enfoque biomimético ofrece una perspectiva nueva e integradora entre lo social, lo económico, lo político, lo cultural, en la que el factor medioambiental y la inclusión social son centrales. La biomimesis está relacionada con la forma de aprender a usar inteligentemente los componentes, sean éstos bióticos o abióticos. Con ello, se trata de revertir los procesos y factores formadores dinámicos de insostenibilidad que repercuten tanto a nivel local como global y que se manifiestan en una sociedad de la incertidumbre, tal y como lo indica el filósofo alemán Ulrich Beck en su obra *La sociedad del riesgo*. Estos procesos de insostenibilidad se caracterizan por su amplio espectro de repercusiones de carácter inconmensurable y que son el fruto del proceso histórico de industrialización y de acumulación del capital.

Este periodo histórico se ha caracterizado por la modernización de los modos de producción precapitalistas con las miras puestas en un crecimiento ilimitado de la economía humana capitalista. Esta tendencia ha supuesto un incremento de la explotación crematística de los recursos naturales y la reducción de los mismos al mero valor monetario: “La idea de que tanto la tierra como el trabajo eran sustituible por el capital permitió cerrar el razonamiento económico en el universo del valor hacia la abstracción del mundo físico, al considerar al capital como el factor limitativo último para la producción de la riqueza, expresable en términos monetario” (Naredo, 2006, pp. 8, 70). Desde este mismo momento en que se rompe el cordón umbilical original que unía al sistema económico con el mundo de lo físico, se inicia un proceso “por el que se empezará a deshacer el ovillo de la antigua visión del mundo, del comercio, de los precios, de la moneda y a surgir las preocupaciones y análisis de la llamada ciencia económica” (Naredo, 2015, p. 71), en tanto que termina generándose la “desconexión, la incompreensión y el conflicto observado entre la economía convencional y las disciplinas que componen la moderna “economía de la naturaleza”” (Naredo, 2006, p. 3).

Al estimularse el crecimiento económico ilimitado en un mundo finito “se desplazó así la reflexión económica desde la adquisición y el reparto de la riqueza hacia la producción y el reparto de la riqueza a la producción de la misma, que -al suponer que era beneficiosa para todo el mundo- permitió soslayar los conflictos sociales o ambientales inherentes al proceso económico y desterrar de este campo las preocupaciones morales, a la que antes se encontraban estrechamente vinculadas las reflexiones de este ámbito” (Naredo, 2006, p. 4). Desde ese momento, la economía de la adquisición y producción de riqueza ha generado un impacto directo sobre la economía de la naturaleza.

Al incurrir la economía humana en el uso intensivo e ineficiente, tanto de materiales (algunos escasos y no renovables), como de energía no renovable (hidrocarburos y la nuclear fundamentalmente), se creó un mundo insostenible que se ha visto todavía más agravado con el fenómeno del crecimiento demográfico y de la exclusión social a causa de la concentración de la riqueza. Por lo tanto, es necesario un nuevo modelo de desarrollo que dé las debidas y razonables respuestas a problemas tan complejos como la crisis ambiental, el rápido consumo de los recursos a escala planetaria (renovables y no renovables), la superación de la brecha entre naciones consideradas ricas y pobres, para evitar el colapso del ecosistema global (Schafer, 2010).

Durante el siglo XX, además de los problemas ambientales, se han producido problemas sociales con el retroceso evidente de los derechos laborales, sociales y económicos adquiridos históricamente, así como el desconocimiento de la carta de los derechos humanos. Esta vulneración se ha trasladado también a la normatividad medioambiental y del mercado laboral, lo que ha conllevado precariedad laboral, usurpación de recursos naturales comunales o públicos y migraciones incontrolables. Estas dinámicas redundan, a su vez, en un consecuente deterioro del medio ambiente y en la especulación de las materias primas en los mercados financieros, no sólo en las economías desarrolladas, sino también en las nuevas economías emergentes.

Con los graves problemas económicos, sociales y medioambientales imperantes en la actualidad en el mundo, el Desarrollo Humano debe ser biomimético, ya que nuestro confort y supervivencia como especie *Homo sapiens sapiens* depende de la salud integral de los servicios de los ecosistemas; si los ecosistemas están enfermos, tarde o temprano los humanos también nos enfermaremos y, con ello, la economía humana y, desde luego, la economía de la naturaleza. Por lo tanto, concebir un *Desarrollo Humano Sostenible Biomimético* para las próximas décadas debe ser visto como un multiplicador de capacidades y de oportunidades para las personas a nivel local, teniendo en cuenta, además, que las externalidades positivas derivadas de la implementación de la biomimesis benefician a la humanidad en general e impactan a nivel de la biosfera atmósfera terrestre de forma integral (y,

por ello, de forma sistémica, en los respectivos ciclos de la vida, tal y como los conocemos en la actualidad).

Esta explotación desahogada de bienes naturales ha conllevado a un consumo ilógico, al impulsar una demanda suntuosa e inequitativa intra e intergeneracional, y genera antagonismos entre los mismos humanos en relación con el consumo de energía y materiales. En definitiva, el *Desarrollo Humano Sostenible* (DHS) desde los postulados que pretende del paradigma de la Biomimesis, constituye la “punta de lanza de un proyecto que se fundamente en la certidumbre elemental de que tanto el espacio social como el natural constituyen, a fin de cuentas, sistemas sinérgicos y cooperativos” (Sierra, *et al.* 2014, p. 359; Sierra, 2016, p. 65).

Tres experiencias biomiméticas que generan economía circular

Se describen tres ejemplos prácticos en el mundo (uno en Europa, otro en Sudamérica y uno en Oceanía) sobre cómo se está desarrollando la biomimesis desde el ámbito académico y en lo empresarial.

Biomimesis y bioeconomía a partir del reino fungi

La empresa se llama *Hifas da Terra*, localizada en la provincia de Pontevedra, Galicia (España) y trabaja de forma directa con la filosofía de la biomimesis. En concreto, tratan de aplicar en sus trabajos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, el uso inteligente e innovador de algunos componentes de la naturaleza y en este caso específico el reino fungi. Esta forma de proceder contribuye a construir de forma dinámica la denominada sociedad del conocimiento.

Las especies que son investigadas tienen su potencialidad en la producción de alimentos ecológicos, a partir de las explotaciones relacionadas con la agricultura ecológica, y también con la industria ecológica de la rama de la cosmética, de la farmacología y de la nutrición humana. En estas actividades económicas prima un uso y manejo racional de algunas especies vegetales forestales, tanto nativas como introducidas, y del reino fungi; algunas especies de hongos son endémicas y otras introducidas. En lo que tiene que ver con las explotaciones forestales endémicas, su fin es aumentar la producción y la productividad, y en las masas forestales introducidas buscan producir medicamentos para mitigar y superar las dolencias causadas por algunas enfermedades. Las dos actividades simultáneamente permiten conservar y reintroducir algunas especies vegetales consideradas como amenazadas debido a su sobre-extracción antrópica, al cambio en el uso de los suelos con sus respectivas coberturas vegetales locales y al impacto del cambio climático.

Desde sus inicios hasta la actualidad, la empresa *Hifas da Terra* viene desarrollando un proceso de innovación de nuevos productos ecológicos, fundamentados en los principios activos que ofrece el reino de los hongos. La estrategia implementada se fundamenta en un conjunto de acciones de carácter integral y sistémico que cubre desde la educación, la capacitación, el desarrollo científico, el mercadeo, y la cooperación internacional técnico-científica puntera entre los países de la Unión Europea y los EEUU; los campos de actuación técnico-científica de esta empresa están relacionadas con la biotecnología, la biofarmacología, la biorremediación, y la biomedicina, áreas de conocimiento que permiten generar nuevos productos amigables con el medio ambiente y procesos de inclusión social en un entorno rural como el de Galicia. La empresa se caracteriza por tener un recurso humano altamente cualificado muy joven, y cuenta con el apoyo de profesionales versados con una amplia experiencia investigativa que contribuyen a generar nuevas capacidades y oportunidades de desarrollo humano sostenible a nivel local, regional y mundial.

El proceso de formación que implementa los profesionales de *Hifas da Terra* es dirigido a diferentes demandantes, utilizando las tecnologías de información y la comunicación, cursos *online* y presenciales. Lo que se pretende es que se apliquen buenas prácticas productivas y, con ello, mejorar el medio ambiente, los ingresos y la calidad de vida de las personas que se dedican tanto profesionalmente como laboralmente a las explotaciones de hongos y de especies forestales, tal y como se puede apreciar en las fotos (1a y 1b). Su plataforma de profesionales lidera nuevas líneas de investigación en áreas clave como la oncología, la silvicultura y/o forestería, agroforestería, restauración de suelos contaminados y nutrición humana, a partir de redes de investigación en la que participan universidades del estado español (Universidad de Vigo y Santiago, El Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña -INIBIC- y Universidad de Universidad de Murcia), de los Estados Unidos de Norte América (Universidad Estatal de Colorado y el Putnam Hospital Center), Bélgica (Katholieke Universiteit Leuven), Rumania (Lucian Blaga University of Sibiu), Italia (Universidad de Salerno), Grecia (Universidad Politécnica Nacional de Atenas, Centre for Research and Technology Hella, Hellenic Institute of Transport -CERTH/HIT-); al mismo tiempo, interacciona también con entes públicos y de la empresa privada españolas.

La empresa *Hifas da Terra* nació en el año de 1999 con el fin de producir setas ecológicas y con ello impulsar un consumo responsable de productos ecológicos. Este proyecto, que se inició como una empresa familiar de producción de setas ecológicas y de los respectivos componentes de producción (kits de producción), se ha venido especializando con el paso del tiempo en el “cultivo ecológico de diferentes variedades de setas, buscando y seleccionando las mejores cepas para, en su nuevo laboratorio, poder cultivar las mejores setas de diferentes puntos del

planeta en un microclima único: el de las Rías Baixas de Galicia” (HDT, 2017).



1a



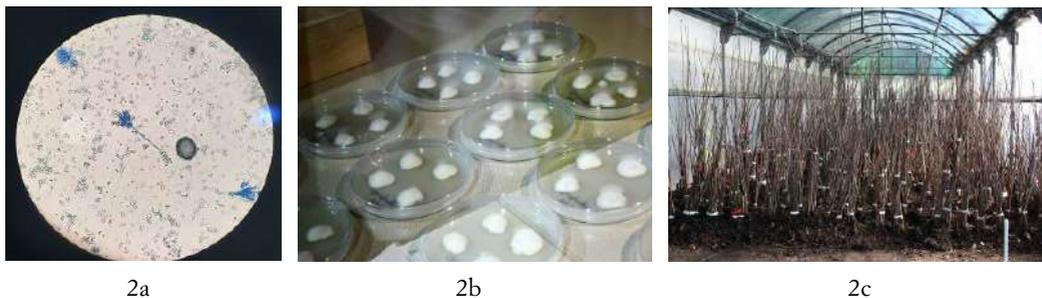
1b

Fotos 1a & 1b. Colecta de material para el laboratorio y comercialización de setas ecológicas.

Dentro de sus logros, se puede resaltar que ha impulsado y realizado una selección de híbridos entre dos especies vegetales, que se caracterizan por su alto valor económico, social y ecológico, como son el castaño gallego (*Castanea sativa*) y el castaño japonés (*Castanea crenata*), con el fin de obtener una colección de clones que deben ser resistentes a la enfermedad del hongo llamada “la tinta del castaño” (*Phytophthora cinnamoni*). Lo que se pretendió con esta práctica es desarrollar óptimamente la fisiología de los híbridos para que la salud de dichos árboles se traduzca en una gran producción de madera y frutos de castaña de alta calidad (la famosa castaña confitada o marrón glacé); de otra parte, se consigue un valor agregado muy potente, asociado a la producción de oxígeno y al secuestro de carbono atmosférico (HDT, 2017).

La superficie que comprende la empresa *Hifas da Terra* es de 120.000 m², donde se tiene la infraestructura y la logística necesaria para producir y transformar las setas, así como para obtener mejor materia prima. Además, en dicho espacio se cultivan especies maderables, frutícolas y se hace el proceso de micorrizado con el fin de obtener árboles superiores vigorosos y resistentes a las enfermedades y plagas, lo que repercute de forma favorable en un mayor crecimiento vegetativo y, por ende, en una mayor producción con calidad. Se puede afirmar que *Hifas da Terra*, en el momento presente, tiene el mayor vivero de Europa de planta micorrizada, como se puede apreciar en las fotos (2a, 2b y 2c). Es de destacar que, bajo castaños que tienen una edad superior a los cuarenta años, se vienen cultivando las especies de hongos como el Reishi (*Ganoderma lucidum*), Shiitake (*Lentinula*

edodes) y Maitake (*Grifola frondosa*) (HDT, 2017).



Fotos 2a, 2b, 2c. Cultivo en laboratorio de hongos y material vegetal inoculado

Líneas de investigación finalizadas

La empresa *Hifas da Terra* tiene un departamento de investigación cuyo propósito es conocer las aplicaciones de los hongos en dos ámbitos principales: 1) La mejora de la salud de las personas; 2) La rehabilitación medioambiental. En esas líneas de actuación, la empresa lidera y además participa de forma proactiva en proyectos colaborativos con socios tecnológicos de carácter internacional, entre los que se encuentran universidades de todo el mundo (HDT, 2017). Los proyectos de investigación y desarrollo ya concluidos son los siguientes: *Micotécnoles* (2013-2015); *Cosmentinnova* (2013-2016); Dermocosmética (2102- 2014); *Superfood* en capsulas (2012-2014); Caracterización ecológica de la especie *Trompeta Negra* (2008-2011); Lucha biológica contra la especie biológica de género *Acacia* (2010- 2013); Lucha biológica contra la especie *Reynoutria japonica* (2009- 2011); Línea médico-farmacéutica con hongos (2008-2010); Cultivo de setas saprofitas en restos forestales (2006-2008); Producción de castaños híbridos micorrizados e injertados (2004-2006); Proyecto para la micorrización con *Boletus edulis* (2002-2004).

Los proyectos que en la actualidad la empresa *Hifas da Terra* están implementando son los siguientes: 1). *Micotécnoles II* (2016-2018); 2). *Dismetásin* (2015-2017).

Es de destacar el proyecto *FungiTechOnco* (2015-2017). Este proyecto es uno de los más emblemáticos. Su objetivo fundamental está relacionado con la selección, caracterización de cepas de hongos medicinales autóctonas, y lograr su óptimo cultivo utilizando biorreactores de gran capacidad para la producción eficiente de micelio y metabolitos. Existen ciertas especies de hongos medicinales que presentan actividad antitumoral o inmunoestimuladora con un gran potencial de aplicación en la prevención y tratamiento del cáncer; se puede apreciar en las

fotos (3a y 3b) la forma de extracción de los principios activos y la presentación comercial en capsulas. Finalmente, se realizaron estudios científicos en células cancerígenas que demuestren la actividad beneficiosa de los productos resultantes de dicho cultivo.



3a



3b

Fotos 3a & 3b. Desarrollo de productos nutraceuticos, a partir de especies de hongos medicinales, que presentan actividad antitumoral o inmunestimuladora, relacionadas con prevención y tratamiento del cáncer.

El proyecto, que se inició en el año 2015 y terminó el año 2017, estaba orientado a la prevención y tratamiento tanto del cáncer gástrico, colorrectal y otros tipos de cáncer. El objetivo consistía en lograr nuevas terapias y tratamientos con una mejor eficacia, especialmente en la fase invasiva de la enfermedad, para mejorar la calidad de vida del paciente y aumentar sus posibilidades de supervivencia.

Este es un proyecto pionero a nivel europeo. Proyecto de I+D que se centra en el desarrollo de determinados productos nutraceuticos basados en hongos por su actividad anticancerígena en casos de cáncer gástrico y colorrectal. Este tipo de productos ganan repercusión a nivel internacional, especialmente en países como Japón y particularmente en el mercado europeo, donde *Hifas da Terra* ocupa un lugar muy relevante.

Otro proyecto importante está relacionado con la innovación agrícola para optimizar la productividad de plantaciones ecológicas a través de la micorrización con *Boletus edulis* (2016-2017). El objetivo de este proyecto es el de poner a disposición de los agricultores de castaño de material vegetal micorrizado, teniendo en cuenta la edad del castaño y las respectivas tecnologías utilizadas desde el periodo de la siembra hasta el respectivo mantenimiento de las explotaciones agroforestales de castaña. Una vez cumplida esta fase, se procede a hacer el respectivo proceso de seguimiento que permita obtener la mayor información en campo acerca de la optimización en la productividad de *Boletus edulis* con el fin de obtener un producto de alta calidad añadido; en las fotos (4a y 4b), se puede observar el área de invernadero de las especies nativas y exóticas.



4a



4b

Fotos 4a y 4b. Propagación y micorrización de material vegetal nativas y exóticas (roble y pino).

La empresa *Hifas da Terra* participa en un proyecto europeo de innovación agrícola sobre el diseño de nuevas plantaciones de castaños ecológicas que, mediante técnicas sostenibles, podrían revalorizarse con la producción de setas de alto valor gastronómico, además de lograr frutos de castañas y miel de abejas de altísima calidad. Los logros de la micorrización y la polinización permiten lograr cosechas de una mayor calidad y homogeneidad, lo que hace que la castañicultura sea una actividad sostenible, moderna y rentable en Europa.

El grupo de trabajo, dirigido por la empresa *Auriensis Selectum* y completado por *Hifas da Terra*, CTC (Centro Tecnolóxico da Carne) y Enxeñería e Xestión Agrorural Azul e Verde trabaja en la optimización de la producción en plantaciones de castaños a través de un estudio que incorpora la micorrización dirigida para la obtención de setas con alto valor gastronómico, como es el *Boletus edulis*, y de esta manera se cumple con el objetivo de ampliar la gama de productos elaborados a partir de la castaña. Este proyecto se implementa por el apoyo de varias instituciones, entre ellas la Xunta de Galicia y del FEADER (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural) mediante el programa de ayudas para la creación de Grupos Operativos de la AEI (Asociación Europea para la Innovación) en materia de productividad y sostenibilidad agrícola. Otras instituciones que participan en el proyecto son: *Auriensis Selectum*, Centro Tecnolóxico da Carne (CTC) y Enxeñería e Xestión Agrorural Azul e Verde, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Hoy en día cabe considerar a *Hifas da Terra* como una empresa líder en su campo de estudio y desarrollo tecnológico sobre los hongos que viene desarrollando un modelo de bioeconomía o economía circular pionera en Europa. Por eso, durante su corto periodo de vida en el campo de la ecoinnovación, la sosteni-

bilidad y la ecología, ha sido reconocida con varios premios.

La biomimesis y bioeconomía a partir de la acuicultura amazónica

En un momento de mi vida profesional formulamos con una organización no Gubernamental llamada *Centro de Estudios Rurales y de Agricultura Internacional* (CERAI) una propuesta de desarrollo fundamentada en el Pirarucu (*Arapaima gigas*). Esta propuesta, que se socializó en la *Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo* (AECID), finalmente no se pudo implementar. Sin embargo, fue una inmensa alegría para mi ver, después de varios años de haber formulado el proyecto de Pirarucú, cómo una especie identificada en peligro de extinción por el CITES se lograba comercializar. Este hecho corroboraba mi convicción de que esta especie podría ser una vector dinamizador del desarrollo humano sostenible en la Amazonia (como se puede apreciar en las fotos -5a y 5b- los juveniles de Pirarucú -*Arapaima gigas*- en los estanques de la finca de *Acuica*). Los expertos colombianos, las instituciones de fomento del sector agropecuario, bien sea por desconocimiento o por salir del paso, no han mostrado interés en una especie íctica que tiene un gran potencial por su carne, su cuero, por el ecoturismo y los procesos de bioinspiración que se pueden lograr con ella. El trabajo con el *Arapaima* en la Amazonia de Brasil, Bolivia y Perú, es muy significativo tanto en lo que tiene que ver con su biología, ecología, como con la reproducción en cautividad y nuevos biomateriales (las publicaciones científicas así lo corroboran). Ejemplo de ello es la investigación, con su respectiva publicación, de la *Empresa Brasileira de Pesquisas/Investigaciones Agropecuaria* (EMBRAPA) denominada “*Alevinagem, recria e engorde do pirarucu*” (Ferreira, 2017).



5a



5b

Fotos 5a & 5b. Juveniles de Pirarucú (*Arapaima gigas*) en los estanques de la finca de ACUICA (www.acuica.org)

La acuicultura que desarrolla la *Asociación de Acuicultores del Caquetá* (ACUI-

CA), se enmarca en los postulados que rigen la biomimesis, al usar de una manera inteligente los componentes de la naturaleza para mejorar los ingresos, diversificar la economía local y regional, teniendo en cuenta que la región del piedemonte andino-amazónico ha sido castigada por la economía ilegal de los psicotrópicos. Siendo así, los peces amazónicos constituyen un gran recurso, con un potencial ilimitado, en la generación de nuevos productos por medio de procesos innovadores relacionados con las características físicas de las especies amazónicas. Dentro de la misión de ACUICA se tiene contemplado el “desarrollar el sector acuícola del departamento del Caquetá y otras regiones del país mediante el apoyo directo a la producción, investigación, transferencia tecnológica y comercialización de bienes y servicios asociados a la acuicultura sostenible con especies nativas, lo que se traduce beneficio socioeconómico y ambiental para los asociados y sus familias” (ACUICA, 2017). En la actualidad, ACUICA cuenta con 119 personas, de las cuales 14 son socios jurídicos que actúan en nombre de los comités municipales de los piscicultores, quienes a su vez representan a una población de 243 afiliados, para un total de 362 personas asociadas.

La forma en que ACUICA está desarrollando ciencia y tecnología resulta muy prometedora para la región amazónica, en tanto que está desarrollando la declaración de Desarrollo Sostenible denominada: “*Transformando Nuestro Mundo: Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*” y, con ello, implementando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); dicha asociación, al llevar a cabo una economía circular, aborda muchos de los 17 objetivos de desarrollo sostenible en relación con sus afiliados como son los de reducir la pobreza, el hambre y garantizar la seguridad alimentaria, la educación, la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer, el agua y el saneamiento, el crecimiento económico, la producción y el consumo sostenible, los bosques, evitar la desertificación y preservar la diversidad biológica, la justicia y la paz, la producción y el consumo responsable. El modelo de ciencia y transferencia de tecnología en la Amazonia desarrollado por ACUICA constituye uno de los grandes retos del siglo XXI para la humanidad, y más aún si es desde la biomimesis. De ahí la importancia para la Amazonia del desarrollo de las denominadas tecnologías convergentes, ya que pueden desembocar en una sociedad amazónica del conocimiento. El valor de los recursos ícticos existentes en la Amazonia permite generar, diversificar e implementar una bioeconomía circular; en las fotos que se muestran a continuación (6a y 6b) se puede apreciar el alevinaje de la especie Araguana (*Anopinella araguana*), considerado como una fase inicial para poder ir construyendo una bioeconomía amazónica (centrada en la producción de peces ornamentales y en el engorde en piscifactorías). La biomimesis es una garantía para la conservación de estas especies, y más aún cuando se basa en una forma de hacer ciencia, tecnología con los propios componentes de la naturaleza (en este caso, con los componentes de los

recursos hidrobiológicos amazónicos) que se convierten en recursos estratégicos por la oferta de proteína animal (para las especies ícticas) y otros recursos que están en proceso de estudio en relación con nuevos biomateriales.

Es importante que la ciencia y la tecnología que se realiza en el Amazonas respondan a las necesidades de los diferentes actores sociales que la intervienen y, además, que sean incluyentes socialmente. La forma en que lo está haciendo la asociación de productores ACUICA va en la línea de implementación de la biomimesis desde los componentes significativos a nivel ecosistémico, como son los peces, y del manejo de la calidad del agua, tanto en instalaciones como a nivel de la microcuenca hidrográfica: “principal materia prima sin la cual la acuicultura no podría desarrollarse. La lluvia, nuestros ríos y quebradas son como lo definimos en ACUICA los diamantes líquidos que le dan un inmenso valor a nuestra tierra caqueteña. Productores, valoremos el recurso hídrico, no lo desperdiciemos ni contaminemos; conservemos las cabeceras del bosque y hagamos reconversión con piscicultura” (ACUICA, 2017).



6a



6b

Fotos 6a y 6b. Alevines de Araguana (*Anopinella araguana*), bien para acuarios en forma de peces ornamentales o como pie de cría para explotaciones comerciales ícticas en la Amazonia.

Esta forma de pensar y de actuar en relación con el uso inteligente de los componentes de la naturaleza y, en este caso, con el manejo del recurso íctico y del agua, permite generar desarrollo humano sostenible (DHS) a nivel local, causando un impacto directo a nivel regional, pero también a nivel nacional e internacional. Este impacto es debido, en parte, al proceso de transferencia de tecnología desarrollada por ciertas instituciones académicas y por la propia asociación hacia sus socios y otras instancias institucionales regionales amazónicas con ocasión de su participación en seminarios, ferias, foros de productores rurales y en congresos a nivel internacional.

La respectiva investigación y la transferencia de tecnología que viene desarrollando ACUICA, posibilita conocer las dinámicas de reproducción, producción y de desarrollo de algunas especies ícticas amazónicas en ambientes construidos

artificialmente, dando lugar a una biomimesis específica fundamentada en la acuicultura amazónica. Este modelo de cuidado en cautividad de las especies ícticas amazónicas hace que las especies que sufren gran presión por su extractivismo extremo se críen en ambientes controlados, ya que se copia o imita la dinámica de los ecosistemas naturales. De igual manera, estos entornos de cría constituyen el mejor escenario para la investigación en temas de dinámicas poblacionales, nutrición, patología, biología y ecología, aspectos que, en condiciones naturales, es muy difícil implementar debido a los pocos recursos públicos y privados destinados a ello.

Es significativo resaltar, finalmente, el importante número de especies con que se está trabajando y el amplio espectro de la funcionalidad ecosistémica amazónica de cada especie íctica utilizada. Las especies manejadas son las siguientes: Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*), Cachama Negra (*Colossoma macropomum*), Bocachico (*Prochilodus magdalenae* - *Prochilodus nigricans*), Yamú (*Brycon siebenthalae*), Sábalo Amazónico (*Brycon hilarii*), Bagre (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Arawana Plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*), Arawana Azul (*Osteoglossum ferreirae*), Gancho rojo (*Myleus rubipinnis*), Raya común (*Potamotrygon hystrix*), Raya motoro (*Potamotrygon motoro*), Cucha Royal (*Panaque nigrolineatus*), Escalar altum (*Pterophyllum altum*), Cardenal (*Paracheirodon axelrodi*), Cájaro (*Phractocephalus hemioliopus*), Disco (*Symphysodon discus*), Oscar (*Astranotus ocellatus*), Pirarucú (*Arapaima gigas*); todas estas especies presentan un gran potencial para diversificar la economía extractivista hacia una bioeconomía circular.

Biomimesis y bioeconomía a partir de la robótica blanda

De entre las tecnologías convergentes cabe destacar la robótica y, con ella, la ciencia cognitiva, ya que está desplegando su potencialidad de crecimiento acelerado en el campo de la denominada inteligencia artificial. Con todo, en los últimos años ha aparecido una nueva línea de investigación emergente relacionada con la biomimesis, la denominada robótica blanda, que es complementaria a la robótica dura o robótica convencional. Cuando se hace referencia a la robótica blanda, se hace alusión a la fabricación de unos robots totalmente suaves y autónomos contruidos a través de una electrónica suave de baja densidad.

Estas características relacionadas con una electrónica suave de baja densidad permiten generar unos robots enteramente suaves con un comportamiento similar a la de algunos animales, ya que se fundamenta en un sistema nervioso artificial integrado, lo que abre perspectivas y aplicaciones totalmente novedosas: “La ausencia de electrónica rígida convencional y el uso exclusivo de materiales poliméricos proporcionará un gran paso hacia robots reales parecidos a los animales, interfaces de máquinas humanas compatibles y una nueva clase de control interno

distribuido de neuronas para sistemas robóticos” (Henke, *et al.*, 2017). La base o principio que explica la funcionalidad de este estilo de robótica consiste en el desarrollo de un interruptor elastómero dieléctrico (DES), también denominado músculo artificial, que está compuesto por un electrodo flexible que presenta una conductividad dependiente de la deformación. Estos músculos artificiales están conformados por materiales de polímero blando y carbono (ABI, 2017).

Los elastómeros dieléctricos se componen de un aislante eléctrico con un relieve o espacio entre los dos electrodos conductores de electricidad. Los materiales con los que está realizado el aislador son fundamentalmente de caucho de silicona, mientras que los respectivos electrodos están compuestos de grasa de carbono. Cuando se aplica una corriente a través de los electrodos, esta carga se acumula en cada uno de los electrodos, dejando cargas positivas en uno y cargas negativas en el otro. Estas cargas tanto positivas como negativas son las que permiten el fenómeno de atracción, ya que se contrae y reduce el espacio y, con ello, se “aplasta la membrana aislante” (debido a que la membrana es incompresible y hace que se expanda en la zona (ABI, 2017)).

El movimiento de los músculos artificiales es generado por la tensión oscilante, y esto sucede a causa de un movimiento rítmico en los actuadores que genera una fuerza de arrastre y propulsión hacia adelante. El movimiento producido por la robótica blanda sin electrónica consiste en recibir una carga de corriente continua de las pistas de cobre a través de contactos en la base de los pies. El DES controla la carga de los actuadores de elastómeros dieléctricos blandos, de modo que los interruptores acoplados y los músculos artificiales deben conformar una serie de redes de actuadores inteligentes. Se puede, por tanto, utilizar este mecanismo para lograr impulsar rítmicamente a los prototipos de robots biomiméticos (ABI, 2017).

La robótica blanda se basa en observar el movimiento de algunos organismos vivos, ya que los fenómenos naturales tienen ciertos comportamientos y propiedades que posibilitan la existencia en armonía con el ambiente circundante. Es por ello que la construcción de robots centrándose en el movimiento de las larvas de gusanos, por ejemplo, está considerado como una nueva fase del desarrollo en la robótica. Para cumplir con este reto, el laboratorio de robots biomiméticos desarrolló el interruptor elastómero dieléctrico (DES), también denominado “músculo artificial”, que se ha convertido en la base para el robot bio-inspirado (ABI, 2017).

La utilidad de esta nueva robótica blanda parte del desarrollo de nuevas tecnologías para su uso en las industrias de la salud, especialmente en la aplicación de prótesis y dispositivos de asistencia de fuerza. Debido a la naturaleza viscoelástica de los músculos artificiales, éstos pueden actuar como sistemas de suspensión, eliminando la necesidad de suspensión externa. Como son suaves pueden también ser utilizados en los seres humanos sin temor a lesiones: “los músculos son inte-

ligentes y sensibles en sí mismos. Esto significa que el músculo puede detectar su propia extensión, eliminando la necesidad de sensores externos y reduciendo aún más el costo y la complejidad de los sistemas. Al igual que los músculos humanos, nuestros músculos artificiales pueden sentir donde están con los ojos cerrados” (ABI, 2017).

Los elastómeros dieléctricos se denominan músculos artificiales porque tienen ciertas características generales que no pueden ser reproducidas por otros actuadores lineales. Son rápidos, fuertes, pueden alcanzar extensiones grandes, de manera silenciosa, y son muy ligeros (de hecho, a pesar de su ligereza, son 40 veces más potentes en fuerza que el músculo humano). Actualmente, el *Grupo de Biomiméticos* se centra en el control fino de los músculos artificiales para generar energía. Los miembros del grupo también están investigando la interfase de la máquina humana, de tal modo que las señales nerviosas de un ser humano se puedan interpretar y aplicarse para el desarrollo de dispositivos artificiales y prótesis musculares.

Conclusión

Es importante aclarar que la bioeconomía, tal como es utilizada desde la biomimesis, difiere radicalmente de la perspectiva de la biología sintética, ya que ésta última, pretende romper con la co-evolución de las especies, o sea, generar nuevas especies que no existen a partir de funciones y procesos nuevos de organismos que no viven en la naturaleza. Se puede decir que, en el fondo, es un rediseño de la vida misma a partir de la voluntad humana. En cambio, la biomimesis permite la co-evolución natural de las especies, de tal forma que los seres humanos somos una especie más en la biosfera.

La biomimesis, como construcción humana, podrá tener sus imperfecciones y sus contradicciones en el desarrollo técnico científico y en lo que tiene que ver con la apropiación de sus resultados, pero por el momento es un instrumento muy potente y significativo para poder implementar un modelo de desarrollo humano sustentable (DHS). Y es que, desde el enfoque biomimético, es posible generar una nueva economía del conocimiento (identificada con la bioeconomía) que sea eficaz en la solución exhaustiva de aquellos problemas medioambientales producidos en la biosfera-atmósfera terrestre desde los inicios de la era de la industrialización (y que llegan hasta nuestra inmediata actualidad). En tal sentido, la biomimesis se ve reforzada cuando admite su coexistencia con otros valores culturales en entornos sociales, económicos, políticos que todavía preservan una cosmovisión de respeto con la naturaleza y que, en suma, se traduce en un estímulo de la libertad individual y colectiva para conservar los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- ARREGI, I. A., RODRÍGUEZ-LOINAZ, G., PALACIOS-AGUNDEZ, I., PEÑA, L., DE MANUEL, B., CASADO-ARZUAGA, I. (2016). Biomimesis y los Servicios de los Ecosistemas. En Sierra, C. H., Bernal, H., & Sierra, S (Eds.). *Biomimesis. Inspiración creativa en la naturaleza y escenarios potenciales de sostenibilidad*. Memorias del Simposio Internacional de Estudios Biomiméticos. Bogotá: UNAD.
- ALBORNOZ, M. (2013). Innovación, equidad y desarrollo latinoamericano. *Isegoría*, (48), 111-126.
- ASOCIACIÓN DE ACUICULTORES DE CAQUETÁ (ACUICA). (2017). *Misión*. Obtenido de <http://acuica.org/index.php/nosotros/mision>.
- AUCKLAND BIOENGINEERING INSTITUTE (ABI). (2017). *Soft electronics for robots*. Auckland: The University of Auckland.
- BENYUS, J. (2012). *Biomimesis. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza*. Barcelona: Tusquets.
- BERMEJO, R. (2001). Desarrollo sostenible y humano. En Ibarra, P. & Unceta, K. (Eds.). *Ensayos sobre el desarrollo humano*. Barcelona: Icaria.
- BERMEJO, R. (2011). *Manual para una economía sostenible: principios y estrategias de economía sostenible*. Madrid: Libros de la Catarata.
- BERMEJO, R. (2014). *Handbook for a Sustainable Economy*. Berlin & Heidelberg: Springer-Verlag.
- BLOK, V., & GREMMEN, B. (2016). Ecological innovation: Biomimicry as a new way of thinking and acting ecologically. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 29(2), 203-217.
- CEPAL. (2016). *Ciencia, tecnología e innovación en la economía digital: la situación de América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas: Santiago de Chile.
- CUERDO MIR, M., GOROSTIZA, I. R., & LUIS, J. (2000). *Economía y naturaleza: una historia de las ideas*. Madrid: Síntesis.
- DALY, H. (1989). *Economía, ecología y ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*. México D. F.: FCE.
- DE LA RAZA, A. G. (2010). La entropía en una economía abierta. En: *Sistemas complejos. Perspectiva de una teoría general*. Anthropos. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- LIMA, A., RODRIGUES, A., MACIEL, P., REZENDE, F., DE FREITAS, L. E. L., TAVARES-DIAS, M., & BEZERRA, T. 2017. *Alevinagem, recria e engorda de pirarucu*. Embrapa Pesca e Aquicultura-Livro técnico (INFOTECA-E).Brasília. Brasil.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1996). *La ley de la Entropía en el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria.
- GRIFFIN, K. (2001). *Desarrollo humano: origen, evolución e impacto. Ensayos sobre el desarrollo humano*. Barcelona: Icaria editorial.
- HEYD, T. (2005). Saber tradicional, ética de la tierra y sustentabilidad. *Isegoría*, (32), 175-184.
- HENKE, E. F. M., SCHLATTER, S., & ANDERSON, I. A. (2017). Soft dielectric elastomer oscillators driving bioinspired robots. *Soft robotics*, 4(4), 353-366.
- HIFAS DA TERRA (HDT). (2017). *Líneas de investigación*. Obtenido de <https://www.hifasda terra.com/investigacion/>.
- ALIER, J. M., & JUSMET, J. R. (2015). *Economía ecológica y política ambiental*. México D. F.: Fondo de Cultura económica.
- MONTANA, C. A., & FIORENTINO, C. (2016). Bio-Utilization, Bio-Inspiration and Bio-Affi-

- liation in Design for Sustainability Biotechnology, Biomimicry and Biophilic Design. *The International Journal of Designed Objects*, 10 (3), 1-18.
- MORENO, A. J., MIGUEL V. E., ANDRÉS, T., VALDEZ, C. J. (2015). *Cambio Climático en una comunidad originaria. Estudio de caso en Cuilapan de Guerrero*. Eumed: Oaxaca.
- NAREDO PÉREZ, J. M. (2006). *Raíces económicas de deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas*. Madrid: Siglo XX Editores.
- NAREDO, J. M. (2015). *La economía en evolución: historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Madrid: Siglo XXI.
- OLALDE, M. O. (2010). *Servicios ambientales de los ecosistemas. Amazonía y agua: desarrollo sostenible en el siglo XXI*. Bilbao: Editorial Unesco Etxea.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). (1994). *Algunas preguntas y respuestas sobre el desarrollo humano sostenible*. PNUD: Washington.
- RAMAN, R., & BASHIR, R. (2017). Biomimicry, biofabrication, and biohybrid systems: The emergence and evolution of biological design. *Advanced healthcare materials*, 6(20).
- RED DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT). (2017). *El estado de la ciencia: Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos / Interamericanos 2017*.
- RIECHMANN, J. (2003). Biomímesis: un concepto clave para pensar la sostenibilidad. *El Ecologista*, 36(28-31).
- RIECHMANN, J. (2005). ¿Cómo cambiar hacia sociedades sostenibles? Reflexiones sobre biomímesis y autolimitación. *Isegoría*, (32), 95-118.
- RIECHMANN, J. (2006). Biomímesis: respuestas a algunas objeciones. *Argumentos de Razón Técnica*, 9, 13-36.
- RIECHMANN, J. (2016). ¿Triunfará el nuevo gnosticismo? Notas sobre biología sintética, nanotecnologías y manipulación genética en el Siglo de la Gran Prueba. *Isegoría*, (55), 409-441.
- SIERRA, C. H. (2016). Biomimesis. El imaginario instrumental de la naturaleza en la techno-ciencia contemporánea. En Sierra, C. H., Bernal, H., & Sierra Hernando, S (Eds.). *Biomimesis. Inspiración creativa en la naturaleza y escenarios potenciales de sostenibilidad*. Memorias del Simposio Internacional de Estudios Biomiméticos. Bogotá: UNAD.
- SIERRA, C. H., BERNAL, H., GAINZA, B. X., PINTO, C. A. (2014). La Biomimesis como eje de la tecnociencia contemporánea: claves desde la perspectiva epistemológica. *Olhallaes Amazoniçôs*, 2 (1), 348-360.
- SCHAFFER, D. P. (2000). A new model of development for the new millennium. *World Futures: Journal of General Evolution*, 55(4), 293-328.
- TOPAZ, M. (2016). Bioinspiration education at zoological institutions: an optimistic approach for innovation leading to biodiversity conservation. *International Zoo Yearbook*, 50(1), 112-124.
- UNCETA, K. (2001). *Perspectivas para el desarrollo humano en la era de la globalización. Ensayos sobre el desarrollo humano*. Barcelona: Icaria.
- VALERA L., & MARCOS, A. (2016). Desarrollo humano sostenible: una visión Aristotélica. *Isegoria*, (51), 671-690.