

Álvaro Carvajal Villaplana

## Tecnologías para el desarrollo sostenible

---

**Resumen:** *Se intenta determinar cómo los principios y los mecanismos de imitación de la naturaleza, pueden incorporarse a las reglas del juego del desarrollo tecnológico del sistema capitalista. Si el sistema capitalista global se basa en la idea de competencia y si la tecnología es uno de los ejes fundamentales de dicha competencia, tendría que estudiarse de qué manera esa competencia puede dejar de sustentarse en tecnologías destructivas, para hacerlo en tecnologías limpias, sanas o apropiadas. Esto implica promover un cambio cultural en las reglas de las prácticas de la innovación y la tecnológica. Inicialmente, esta incorporación puede hacerse a partir del proceso de diseño tecnológico, las políticas estatales de la innovación tecnológica y los incentivos al sector productivo a escala nacional, en concordancia con aquellos componentes o reglas del juego del sistema capitalista que permitan a un país pequeño como Costa Rica competir en el mercado global.*

**Palabras claves:** *Tecnología. Racionalidad tecnológica. Desarrollo. Diseño. Filosofía de la tecnología.*

**Abstract:** *We try to determine how the principles and mechanisms of the imitation of nature can be incorporated into the rules of technological development within the capitalist system. If the global capitalist system is based on the idea of competition, and if technology is one of the cornerstones of such a system, it seems necessary to investigate how this competition could be used to move from destructive technologies to safe, clean, and appropriate ones. This means promoting a cultural change in the rules of practice and technological*

*innovation. Initially, this change can be made at the level of the design process, the state policies of technological innovation and the incentives to the national productive sector, in line with those components or rules of the game which may allow a small country like Costa Rica to compete in a global market.*

**Keywords:** *Technology. Technological Rationality. Development. Design. Philosophy of Technology.*

### 1. Trayectorias tecnológicas: cambio, racionalidad y evaluación

En la actualidad, muchas tecnologías rompen con el equilibrio y la armonía entre los seres humanos y la biosfera. La mayoría de las trayectorias tecnológicas contribuyen a la destrucción ambiental, la eliminación de la biodiversidad y el recalentamiento de la Tierra. Las tecnologías introducen al ambiente natural elementos que el proceso evolutivo ha descartado; estos materiales y sustancias artificiales no son retornables ni degradables por la naturaleza, por lo que el deterioro ambiental pone en peligro a la biosfera y la vida humana. Ante los riesgos que prefiguran, la cuestión es preguntarse: ¿cómo reestablecer este equilibrio entre la tecnología y la naturaleza?

Un instrumento para abordar esta cuestión es la ecuación elaborada por Paul Ehrlich y Anne Ehrlich (1993, 237 y 241), la cual asevera que el impacto sobre el ambiente (I) sería igual al producto del tamaño de la población (P) por el consumo medio por individuo (C) y por el coste tecnológico (T), entendido como los recursos

utilizados y los residuos originados para producir cada unidad de consumo con una tecnología:  $I = P * C * T$ .

Lo ideal es que  $I$  sea constante, es decir, sostenible para la biosfera; todos los demás factores pueden cambiar o reducirse. El gran desastre ocurre cuando hay un aumento constante de la población y, por consiguiente, un incremento del consumo con tecnologías contaminantes. En las respuestas ofrecidas al dilema, algunos autores se fijan solo en la disminución del consumo en relación con la mengua de la población, afirmándose así que para vivir mejor se requiere consumir mejor, lo cual implica un cambio drástico en el sistema económico. En tal caso, se solicita a los países desarrollados que dejen de ser tan ricos y mantengan un bajo crecimiento poblacional; no obstante, esta no es la mejor solución, ya que los países en desarrollo tienen menor consumo *per cápita*, pero un mayor incremento de la población, por lo que, cuanto mayor población, mayor contaminación (contrástese con van Ypersele, 2007, 17). Sin embargo, ¿cómo lograr el decrecimiento de la población y los plazos que se requieren para ello?

Una respuesta —que no es una salida— es la que propone el grupo ecologista la Tierra Primero, cuando asevera que a la infección del VIH/SIDA se le debería dejar que siga su curso para que nos ayuden a liberarnos del exceso de población (citado por Dobson, 1990, 120); por otro lado, se encuentra la propuesta de Dave Foreman, dirigente de la Tierra Primero, la cual se opone a la inmigración de América Latina a Estados Unidos, a pesar de haberse retractado, de forma posterior, de sus declaraciones.

En contraparte, para Sartori y Mazzoleni (2003), se ha de recurrir a la disminución de la población mundial por medio del control de la natalidad por vía democrática y educativa. Esto no descarta el progreso en las tecnologías apropiadas y el mejoramiento de la calidad del consumo, ya que ambas medidas se complementan.

Una respuesta indica que para lograr la disminución de la población, es indispensable alcanzar el adelanto que poseen los países en desarrollo, ya que las evidencias muestran que en los países desarrollados, los índices de crecimiento de población disminuyen o decrecen por debajo de cero (Lozano, 2013, 63); en este sentido, el desarrollo

se traduce en más educación, lo cual implica un mayor control sobre la sexualidad y la reproducción (véase Nussbaum, 2002).

Otra de estas propuestas es la que se conforma tan solo con el progreso de las tecnologías limpias. La tesis del milagro tecnológico como salvación no funciona, pues si la población crece y el consumo también, de nada importan las tecnologías limpias. A este respecto, Meadows, Donella, Meadows, Dennis; Randers, Jørgen, en *Más allá de los límites del crecimiento* (1991), utilizan un modelo informático en el que, a partir de la introducción de diferentes variables, proyectan escenarios posibles del deterioro ambiental del planeta si no se contemplan los límites al crecimiento económico. En cada escenario posible se incorporan mejoras tecnológicas, sin embargo, a pesar de introducir tecnologías más eficientes y mayor elasticidad económica, el modelo siempre generará escenarios de colapso ambiental (1991, 200).

En esta misma línea de pensamiento, Dobson (1990/1997) considera que las soluciones puramente tecnológicas no van a enmendar los problemas ambientales, ya que el reciclado o el uso de energías renovables no resolverán los problemas (39), ni tampoco darán como resultado una sociedad sostenible, puesto que esta, de una forma u otra, seguirá creciendo (98). La tecnología lo único que hará es prolongar por un periodo el crecimiento de la población y la industria, pero no pone límites al crecimiento económico (100). Para Dobson, se requiere un cambio de ideas morales o valores humanos; de este modo, sería necesario abogar por cambios más profundos en el pensamiento y la práctica social (101). Dicho autor adhiere a la tesis de la ecología profunda que busca un decrecimiento del sistema económico como un todo (106). El problema con esta propuesta son las consecuencias sociales y económicas que puede traer el decrecimiento, a las economías, en especial, a los países en desarrollo.

Este enfoque es simplista, ya que todo depende del tipo de tecnología del que se hable. No se trata de aceptar incondicionalmente cualquier tipo de tecnología, sino que se podría acceder a lo que Dobson llama el *canon verde oscuro* (1990/1997, 123); es decir, seguir una trayectoria tecnológica que sea limpia y no destructiva con

la naturaleza y, como se analizará, que la imite. Para tal propósito, algunos autores proponen seguir el imperativo: si algo no se puede fabricar, construir o cultivar sin causar daño, entonces, no se debe fabricar, por lo que se ha de abogar por tecnologías sostenibles.

Por otra parte, Dobson sostiene que no existe una forma de sociedad que sea singularmente apropiada o idónea para la sostenibilidad; lo que afirma es que algunas formas sociales y políticas pueden ser más sostenibles que otras. Asimismo, algunas formas institucionales tienen mayor probabilidad de afrontar eficazmente los problemas medioambientales que otras (110), por ejemplo, las democracias son más aptas que las dictaduras.

En general, puede coincidir con Dobson en que la variable tecnológica no es el único factor por considerar para resolver la crisis ambiental que se avecina. Es claro que no es suficiente cambiar la tecnología, sino que también se requieren otras variables, como lo indica la fórmula Ehrlich, y sobre todo porque se requiere de una modificación de la relación mercado-tecnología. A pesar de que no es la única variable, es una variable necesaria, mas no suficiente. De igual manera, tal y como afirman Rifkin (2011) y Mumford (1971/1994), toda revolución económica y social tiene como base las nuevas innovaciones tecnológicas en energía y materiales.

La crítica del deterioro ambiental que produce un determinado desarrollo tecnológico conduce a un tema tangencial, pero igualmente importante: el control de las consecuencias de la tecnología. El enfoque tradicional del progreso tecnológico supone que el avance en la tecnología está en relación esencial con la prosperidad de la humanidad, aunque no necesariamente existe una relación de causalidad necesaria entre ambos. Este argumento va más allá, pues según Basalla, en el enfoque tradicional el desarrollo progresivo de la tecnología presume que dicho avance está bajo absoluto control humano (1988, 254) y en función de las metas humanas. Además, este progreso se expresa en un dominio cada vez mayor de la naturaleza.

Si bien el ser humano ejerce cierto control sobre la tecnología, no necesariamente dicho dominio es absoluto, pues existen efectos, producto de esta tecnología que no son previsibles. Además, cuando un sistema técnico se introduce en

un ambiente determinado, el artefacto interactúa con dicho ambiente, creando una cadena de causalidad que no es proyectable. Esto es particularmente cierto para las tecnologías de la vida. Tampoco existe un dominio completo sobre lo natural, pues la interacción de los sistemas tecnológicos con la naturaleza produce efectos no deseados que no están bajo ningún tipo de supervisión. De lo anterior, es posible destacar que la interacción entre los objetos tecnológicos y el ambiente origina relaciones nuevas y complejas que sobrepasan el control humano (Véase Carvajal, 2007).

En realidad, no existe una sola línea de desarrollo de la tecnología orientada hacia un fin determinado, sino múltiples direcciones de evolución. Si hubiese una única vía de avance de la tecnología, entonces no habría posibilidad de cambio de las tecnologías altamente destructivas de la naturaleza, y no se podrían diseñar tecnologías alternativas y respetuosas del ambiente. En este contexto –y ya que las sociedades no van a dejar de contar con tecnologías– es importante evaluarlas.

En definitiva, valorar si la tecnología progresa o no en el ámbito de lo social y lo ambiental es una labor compleja, ya que intervienen una serie de aspectos, por lo que su determinación depende de un contexto determinado, de unos limitantes espacio-temporales y de la rama o las trayectorias tecnológicas. De la misma forma, dichos sistemas tecnológicos no están desvinculados de los sistemas económicos, políticos y biológicos.

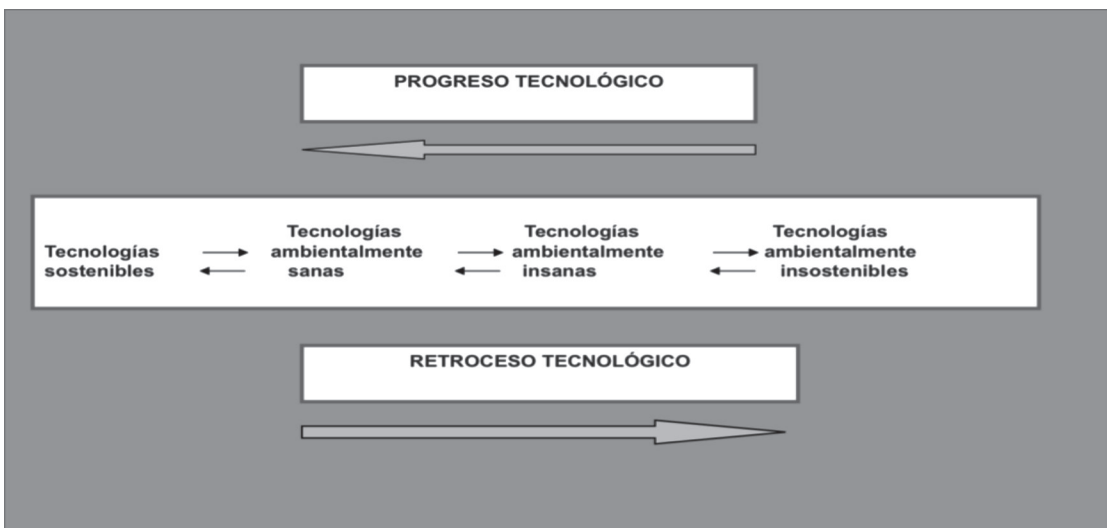
Si bien, en general, el progreso tecnológico contribuye al social –y debería hacerlo a la protección ambiental–, para que dicho aporte sea efectivo tiene que darse en conjunto con una serie de factores económicos, administrativos, políticos y culturales. Este flujo de causalidad positivo tiene que verse como una convergencia de acciones y procesos en un contexto de justicia económica y social. Por tanto, es un asunto que está vinculado a las políticas públicas, sociales y ambientales de los gobiernos. Estos factores son los que se encuentran en relación con la ecuación de Paul y Anne Ehrlich. El enfoque básico de esta fórmula tiende a reforzar la idea de que se debe lograr la convergencia de factores para robustecer la relación entre progreso tecnológico y progreso humano.

Para lograr tal intención, a la pregunta ¿quién debe sacrificarse?, la respuesta sería todos. Los países desarrollados deberían fomentar el ahorro, la austeridad y las empresas reducir las ganancias. Los países en desarrollo tendrían la responsabilidad de aspirar a un desarrollo moderado para el buen vivir. No obstante, estos últimos países requieren del apoyo y cooperación internacional para lograr dicho desarrollo sin el deterioro del ambiente. Con inmediatez, se requiere invertir en investigación de tecnologías de energía limpias, fomentar la conservación de los *puntos calientes* de la biodiversidad, detener los procesos de deterioro de la capa de ozono y el efecto de invernadero.

Por otra parte, la evaluación de la tecnología incluye tres niveles: (a) el diseño o la estructura interna de la tecnología—es decir, si la proyectividad

de la tecnología asegura que esta no será dañina para el ambiente y si no se orienta a la dominación social—; asimismo, (b) los usos —en donde, si bien la tecnología puede tener un buen diseño, no cabe descartar que los usos de la tecnología podrían ser perjudiciales, por ejemplo, un fármaco que cure ciertas enfermedades podría ser poco accesible a la población que lo necesita, un cuchillo puede servir para cocina o para matar; finalmente, (c) han de considerarse las consecuencias y todos aquellos efectos de la tecnología que no se encuentran bajo un estricto control humano.

Adicionalmente, como parte de esta evaluación, es posible utilizar un modelo muy simple de lo que significa el desarrollo de una trayectoria tecnológica que se considera como progresiva. Este modelo es elaborado por el PNUD:



Teniendo en cuenta este modelo del PNUD, y los niveles de evaluación de la tecnología, este ensayo se centrará en el primer nivel: el diseño. Desde esta perspectiva, se analizan tres actores del proceso: (a) los innovadores(as) y los ingenieros(as) que trabajan en los centros de investigación, las universidades y los departamentos I+D+I de las empresas; (b) las organizaciones empresariales, y (c) el Estado. Sin embargo, por razones de espacio, se profundiza en cuanto al papel de los(as) innovadores(as).

## 2. La naturaleza como modelo del diseño tecnológico

Entre las diferentes trayectorias tecnológicas, según como se entiende este término por el evolucionismo tecnológico (véase Carvajal, 2006), existe un paradigma; es decir, un enfoque y un modelo de solución de problemas a los que da respuesta la tecnología. Este modelo es el denominado *biomimesis*, el cual, en su dimensión

empresarial, se conjuga con el enfoque de la *ecología industrial* y la economía ecológica. Esta perspectiva podría ser una vía que ayudaría a solventar la crisis ambiental. Sin embargo, según lo expresado por Benyus (2012), estas investigaciones llevan cerca de treinta años y, según la autora, faltarían otros treinta años más para obtener resultados comerciales. En este sentido, esta trayectoria parece estar sujeta a los ciclos largos de Kondratiev. Aunque, por su parte, Pauli (2010/2011) reseña la existencia de un movimiento empresarial que se mueve, dentro del sistema capitalista, en esta dirección.

Para Lozano, el cambio económico y tecnológico posee un modelo: se ha de imitar a la naturaleza e integrarnos a ella, transformar nuestros procesos productivos lineales en procesos cíclicos, como bien lo expresan Benyus (2012, 16), Bermejo (2005, 126) y Pauli (2010/2011, 31). También, es un tópico que el cambio tecnológico simplemente no nos llevará a un proceso de transformación, sino que este va acompañado o guiado por un cambio de actitud; los autores citados hablan de que los humanos debemos tener la humildad que permita aprender de la naturaleza. Hay que aceptar las limitaciones y condicionamientos ante los mecanismos que sustentan la vida (Lozano, 2013, 55).

Benyus considera que la tecnología deberá copiar los diseños y procesos a la naturaleza a la hora de resolver los propios problemas, a esto es lo que llama *Biomimesis*; es decir, la emulación consciente del ingenio de la vida o la innovación inspirada en la naturaleza (2012, 16). Se trata de una revolución que se basa no en la extracción, sino en la producción en imitación de la naturaleza. Para ella, en el nuevo mundo “[...] produciríamos como los animales y las plantas, empleando la energía solar y compuestos simples para fabricar fibras biodegradables, materiales cerámicos, plásticos y productos químicos [...]” (17).

Mientras que este modelo pone énfasis en la biología, Pauli enfatiza la física y la química de la naturaleza (2010/2011, 25), perspectiva semejante a la de Bermejo; empero, esta diferencia no es de fondo. Benyus indica que la naturaleza sigue varias estrategias y principios que hay que emular: uso de la luz solar, consumir solo la energía

que se necesita, ajustar la forma a la función, reciclar, premiar la cooperación, contar con la diversidad, demandar tecnología local y, finalmente, frenar los excesos desde dentro y sacar partido de las limitaciones (22). Estos principios son parecidos a los que plantean Pauli y Bermejo.

Tanto Benyus como Bermejo y Pauli, consideran que el proceso de producción actual se basa en calentar, golpear y tratar; por el contrario, la naturaleza sigue una maniobra más acuosa; esto en razón de que, para la naturaleza, la “fábrica” no está fuera de ella, sino que tiene que vivir con ella, por lo que produce materiales en condiciones compatibles con la vida, sin compuestos químicos corrosivos ni presiones elevadas (Bermejo, 125). Como bien afirma Pauli, no se trata de sustituir un componente no tóxico por otro menos tóxico, sino de simular a los ecosistemas. Los tres autores usan modelos semejantes, por ejemplo, la tela de araña o el pegamento que genera el mejillón.

Además de las anteriores características, la naturaleza elabora sus materiales en una complejidad multinivel; es decir, en una “estructura jerárquica ordenada” que va desde el nivel atómico hasta el macroscópico; aquí, la precisión está incorporada y de ella se derivan la fuerza y la flexibilidad (Benyus, 2012, 131). En este respecto, Benyus afirma que existen muchos productos que en el sistema actual durarán más que nosotros mismos y que, siguiendo este modelo de imitación, podríamos producir materia prima que permanezca solo el tiempo que la necesitamos y que luego sea capaz de incorporarse al sistema de reciclaje (162). Así, para Pauli, el problema no son los residuos, sino que estos son malgastados (2010/2011, 31). Este sería el reto de la innovación tecnológica.

Por otra parte, para Bermejo, los sistemas naturales son sistemas autoorganizados, lo que significa que estos no están totalmente determinados, sino que se producen adaptándose a su medio. En esta línea de pensamiento, los sistemas son complejos adaptativos y su principal característica es su estabilidad; es decir, la capacidad para mantener sus funciones frente a los impactos exteriores (2005, 43-44). De tal manera, la sostenibilidad es la capacidad adaptativa, heterogénea, no lineal, jerarquizada y de flujos (43). Para él,



La vida en el planeta se preserva y desarrolla debido a que los ecosistemas realizan tres funciones fundamentales: cierre de los flujos de los materiales; actuación sobre el medio abiótico o inerte para mantener su propiedad físico-químicas dentro de un intervalo adecuado para la preservación de la vida; y utilización de la energía solar para poder realizar las dos funciones anteriores (45).

Desde esta perspectiva, la economía humana es tan solo un subsistema del sistema de la economía general de los materiales y energía, en donde dicha materia y la energía se convierten en el componente abiótico de la ecología (Bermejo, 2005, 43) o del sistema ecológico de la biosfera (Carpintero, 2009, 15), lo que da pie a la economía ecológica. Como la producción natural está regida por el principio de jerarquía, a partir de ese principio se tiene que el subsistema económico no puede transgredir las normas del sistema más general, por lo que el modelo económico solo será sostenible cuando reproduzca la naturaleza, lo cual implica convertir los comportamientos naturales en guías de nuestra economía. Desde su perspectiva, la naturaleza recicla los materiales y mantiene el equilibrio físico-químico del medio abiótico, utilizando, para ello, la energía solar (Bermejo, 18). Igualmente, los autores citados defienden la idea de la *ecología industrial* como una manera de aplicar esa imitación de la naturaleza a la producción humana; estos aportan ejemplos de formas de cooperación entre empresas en las que se comparten energía y materiales.

Esta manera de percibir el cambio tecnológico y el sistema productivo es compartida por posiciones más radicales antisistema. Por ejemplo, Jorge Riechmann, desde una perspectiva marxista, sostiene que lo que se encuentra en crisis es la forma de producir, consumir y vivir que el capitalismo industrialista ha configurado durante varios siglos (2012, 11), ya que esta civilización es expansiva y no tiene sentido del límite. Incluso, el autor considera una ingenuidad idealista –o autoengaño o cinismo– afirmar que se pueden redefinir los objetivos de las empresas capitalistas, para que, en vez del beneficio privado, se orienten al bien común (65).

El enfoque de la biomimesis comparte la idea de que la economía es un subsistema de un sistema mayor y finito: la biosfera, y por tanto, el crecimiento permanente es un imposible (Riechmann, 2012, 75); así, ningún interés económico puede estar por encima de la reverencia por la vida. También comparte el pensamiento de que se deben construir, de forma generalizada, ecosistemas industriales de acuerdo con criterios biomiméticos, así como buscar la selección de tecnologías, someténdolas a evaluación previa de impacto ambiental (y social), lo cual exigiría un tipo de intervención deliberada y racional en la organización de la producción (143). Pero, al igual que algunas tesis marxistas, el sistema de innovación en manos del sistema capitalista promueve los beneficios y tiende a crear problemas ecológicos (143), mientras que en un sistema socialista estaría en beneficio del bien común y del ambiente, tesis que, hasta el momento, no ha sido demostrada. Por tanto, la tecnología sería neutral, y es el uso lo que la convertiría en buena o mala.

No obstante, a pesar de la perspectiva antisistema, para Riechmann la economía seguirá siendo de mercado, pero controlada tanto por la política como por el consumidor (Riechmann, 2012, 22). En una economía de pequeñas entidades y dimensiones no habría publicidad. Lo anterior contrasta con la tesis de Rifkin, la cual defiende el supuesto de un capitalismo distributivo o de Yamus (2008), quien defiende un capitalismo social. Fuera de la disputa de si el cambio tecnológico y del sistema capitalista puede hacerse desde dentro o contra el sistema, lo cierto es que las vías para producir cualquier cambio, ya sea fragmentado u holista, tiene que ver con el diseño tecnológico.

### 3. El diseño como medio para el desarrollo sostenible

Un primer nivel en el cual puede influirse para transformar el sistema económico se encuentra en el ámbito del diseño. Este último consiste en una operación conceptual por medio de la cual se hace realidad –inicialmente– el objeto tecnológico en la mente del ingeniero(a), antes de su producción física (Broncano, 2010, 118).

Las formas de representación del diseño pueden ser variadas, por ejemplo: palabras, imágenes, dibujos, símbolos, entre otros. Todas tienen en común que el diseño es una compleja operación cuya peculiaridad es la existencia intencional (Carvajal, 2003 108), el cual ha sido producido bajo el control de un sujeto, de manera estricta.

El ser humano tiene una capacidad para el diseño, la representación de los cursos de acción, y la deliberación asociada a esa representación de cursos más deseables; esto es, para conseguir la ejecución eficiente del plan prefigurado. Dichas características, según Broncano, hacen que el diseño sea normativo, en donde la mencionada normatividad nace de las propias condiciones del diseño.

El juicio que se establece sobre lo mejor deseable o la mejor solución de un problema tecnológico con base en el diseño es un juicio de valor, el que, a su vez, crea responsabilidad sobre el producto que llegará a la existencia por medio del diseño. Al mismo tiempo, convierte al ingeniero en responsable de su entorno, ya que la acción del ingeniero(a), al introducir una variante en su entorno, cambia las trayectorias futuras; es decir, la historia y las condiciones de existencia.

En la tecnología, y por ende el diseño, están presentes tres características: (a) resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad, (b) la novedad y (c) la eficiencia. La idea de problema implica que puede haber diferentes salidas u opciones posibles, alternativas accesibles desde el presente o la situación actual. La idea de probables alternativas indica que la racionalidad tecnológica no es simplemente instrumental, sino que involucra un proceso de deliberación que se plasma en el diseño (Carvajal, 2005). De tal manera que el (la) ingeniero(a) no solo piensa en los medios, sino también en los fines; no es posible lo primero sin que se dé lo segundo.

Si, tal y como se mencionó, el problema lleva a una solución novedosa, esta resulta muy importante en el diseño, ya que las respuestas marcan un cambio en la manera de hacer las cosas, de ahí que en la tecnología no habría un determinismo absoluto que marca una sola dirección o camino por seguir, sino una serie de trayectorias posibles. Así, la solución ante un problema puede marcar un giro en los acontecimientos y

esto es lo que se necesita para los actuales problemas que generan la destrucción y el deterioro ambiental. En el modelo biomimesis, la solución al problema tendrá que recurrir a la racionalidad astuta para llegar a la mejor solución por la vía más rápida. La solución tiene que ser eficiente; es decir, que no cree nuevos problemas, sino que obtenga la mejor salida.

La última característica de la tecnología, la eficacia, no debe ser vista como desde una lógica del mercado. Esta consiste en obtener el mejor resultado para la mayor ganancia. Aquella ha de ser vista como prudencia. Esto puede traducirse en que una solución es eficiente si es adecuada y no genera nuevos problemas. En este caso, tendría que crear trayectorias tecnológicas limpias y respetuosas de la naturaleza; de igual manera, debería estar orientada a crear tecnologías que reproduzcan los ciclos básicos de la naturaleza, en el orden en que se mueve la biosfera.

Vista la eficacia de ese modo, el diseño debe buscar la solución prudente, la cual no consiste únicamente en la responsabilidad del ingeniero(a), sino también de las empresas y los administradores de tales organizaciones y el Estado. Esto por cuanto la solución eficaz y prudente controla al máximo las posibilidades; este control es el que genera la responsabilidad de los agentes que intervienen en el proceso de I+D+I, orientado a obtener nuevos productos y procesos de producción que se introducen como innovaciones en el sistema económico capitalista. Por tanto, no se trata solo de asegurar la riqueza, sino también la supervivencia.

A la responsabilidad puede vérsela desde el punto de vista legal, basada en unas reglas que la persona tiene que realizar, o abstenerse de ejecutar una acción, ya que si se violan las reglas puede sufrir un castigo o pagar compensación. Las obligaciones legales incluyen no causar daño, compensar el detrimento ocasionado y respetar las prácticas ingenieriles aceptadas.

En el ámbito filosófico la responsabilidad incluye el rendir cuentas (como lo indica Jean Ladrière, 1977); es decir, dar explicación o justificación a otras personas por los juicios, intenciones, actos y omisiones cuando sea demandado. Implica una disposición a responder (en el proceso de dar y pedir razones), lo cual significa

aceptar los errores de los juicios incorrectos, la negligencia y el reconocimiento de la competencia.

La ética y la responsabilidad del (la) ingeniero(a) se manifiesta en su preocupación por el diseño; se trata de una actitud de preocupación, interés por prevenir daños y tener una orientación hacia el futuro para evitar problemas y proteger al público y la naturaleza. Así, la función principal de los(as) ingenieros(as) es utilizar sus conocimientos y su formación técnica para crear productos y procesos que tengan valor ambiental y de seguridad. Los (las) ingenieros(as) tienen una función importante ante medio natural; en general, estos(as) pueden diseñar proyectos y procesos que reduzcan o eliminen estas mismas amenazas para la integridad ambiental. En este sentido, muchos códigos éticos de ingenieros plantean que estos deben seguir los principios de desarrollo sustentable.

El ingeniero(a) cuenta con varias herramientas para el propósito enunciado, por ejemplo, el diseño integrado, el cual, desde las primeras etapas, manifiesta explícitamente las especificaciones técnicas y las decisiones económicas, así como las consecuencias sociales y ambientales y los intereses de las 'partes implicadas' relevantes que se tienen en cuenta. En este respecto, es posible hablar de *ecodiseño*.

Según Christopher Ryan, pueden tenerse diseños profundamente "verdes" que comprendan los momentos de fabricación, uso y desuso, y que permitan disfrutar de la vida sin destruirla. También, la seguridad es un ingrediente esperable de cualquier diseño. Sin embargo, el carácter "verde" no puede incorporarse en todos los productos (citado por Benyus, 2012, 345). Los (las) diseñadores(as) y los (las) expertos(as) en mercadeo pueden introducir los productos verdes, son capaces de crear productos respetuosos con el medio ambiente que pongan de moda su adquisición. Pero, además, un diseño exitoso tiene que pasar una prueba más allá del atractivo para el consumidor: debe mejorar las cuentas de la empresa en el mismo proceso de fabricación, para lo cual se requiere del diseño integrado. Este es un objetivo del modelo de biomimesis, puesto que las nuevas tecnologías tienen que ser rentables para su éxito en el mercado.

La tecnología es un conjunto de prácticas o sistemas de acciones y, por esto, funciona en una

red de relaciones, intereses y deseos de las personas y las organizaciones. En este sentido, el reto del diseño y la innovación tecnológica no es crear tecnologías limpias aisladas, sino producir sistemas tecnológicos, en paquetes o en racimos, como ya lo indicó Schumpeter, que marquen las nuevas rutas tecnológicas y que reproduzcan los ciclos cerrados de los materiales y energía. De acuerdo con Bermejo, se trata de sustituir los materiales abióticos por bióticos, la creación de ecosistemas industriales y sistemas de empresas en los que los residuos generados por unas, se conviertan en recursos para el resto (Bermejo, 2012, 21). A esto Bermejo se refiere como Sistema Integrado de Producto, el cual aquí se llama *diseño integrado*. Además de estar vinculada con la red de relaciones externas, la tecnología sigue su propia dirección interna a partir de su propia racionalidad astuta.

En general, el proyecto biomimesis sostiene que la nueva revolución tecnológica tiene que pasar de cambios incrementales a innovaciones radicales; de los permutas en algunas tecnologías a la creación de sistemas tecnológicos, con base en nuevos conocimientos, organizaciones, infraestructuras e instituciones. Según Benyus, sería una tecnología de carácter universal con capacidad de adaptación local, la cual posea plataformas que permitan la utilización de diversas tecnologías; es decir, nuevas formas de estandarización.

En este proceso, algunos sectores tendrán que desaparecer o ser reducidos. Además, aparecerán nuevos sectores e industrias. Esto involucra la pérdida de algunos empleos, pero la generación de otros. El nuevo proceso de inversión en nuevas tecnologías promoverá el desarrollo. Esta perspectiva puede ubicarse en la teoría de los ciclos largos de Kondratiev y el enfoque evolucionista del cambio tecnológico.

Por otra parte, para Bermejo, esto implica pasar de las ciencias y las tecnologías como un sistema disciplinar a uno transdisciplinar, puesto que la sostenibilidad obliga a integrar las ciencias naturales, las técnicas, las sociales y las económicas (127), de manera que los (las) ingenieros(as) y los (las) biólogos(s) deben comenzar a trabajar en conjunto para poder producir las nuevas tecnologías. En Costa Rica, Claudio Gutiérrez establece la misma relación:



“[...] pero si el criterio para definir algo como ingeniería es la presencia del diseño –y no veo que pueda haber otro legítimo– no tenemos más opción que aceptar la fundamental homogeneidad entre ingeniería y biología” (2006, 30).

Otro asunto por considerar es que si bien en la actualidad existe un proceso de innovación de diseño integrado o ecodiseño, no sucede lo mismo con la difusión tecnológica. En relación con lo mencionado, se ha de fomentar la difusión de las nuevas tecnológicas por todo el sistema económico, algo semejante a lo sucedido con la computación. De esta manera, la transformación tecnológica solo puede ser sistemática. Ahora corresponde analizar el siguiente nivel de cambio tecnológico en el que, en teoría evolucionista del cambio tecnológico, es la unidad de selección de las tecnologías.

#### 4. La responsabilidad de las organizaciones y los directivos

La responsabilidad no solo recae en el ingeniero(a), sino también en quienes organizan o dirigen las actividades de las empresas, ya que estos(as) se desempeñan como custodios de dichas organizaciones, preocupados por mantener el bienestar de estas, en donde, en algunas ocasiones, los (las) ingenieros(as) son directivos. En relación con esto, es importante destacar que la dirección empresarial no debe pensar a corto plazo; es decir, con un pensamiento dirigido a la obtención de ganancias inmediatas. Las organizaciones (las empresas) también tienen que justificar su acción. A esta responsabilidad se la ha comenzado a denominar *responsabilidad social corporativa*; aquí, se ha de lograr el éxito comercial en maneras que honren los valores éticos y respeten a las personas, a las comunidades y al entorno natural. Cada vez más se tiene la conciencia colectiva de que los negocios han de manifestar conductas éticas. Hay empresas más conscientes que otras de su responsabilidad social, por eso, existen diferentes grados de tal responsabilidad. El compromiso social no se cumple cuando las empresas solo buscan maximizar las ganancias y mantener su competitividad en el mercado.

En este proceso de adaptación, las empresas tendrán que fomentar sus capacidades para innovar y crear o aprovechar nuevos mercados, teniendo en cuenta las nuevas tendencias. Las empresas forman parte de la redes de relación e interactúan con otros sistemas.

Bermejo habla de la “responsabilidad ampliada del productor”, lo cual está relacionado con la responsabilidad legal de los productores en torno de la sostenibilidad (266), aunado a las responsabilidades tradicionales. Según Spicer y Johson (2004), esta responsabilidad se define como una política que “[...] promueve la mejora ambiental del ciclo de vida completo de los sistemas de productos mediante la extensión de las responsabilidades de los productores a varias partes del ciclo de vida de producto, y especialmente recogida, reciclado y tratamiento final del productos [...]”.

Esta idea de la economía basada en la sostenibilidad conlleva al ahorro, ya que la tecnología intenta seguir la regla de la eficacia, lo cual se traduce en producir menos recursos y generar menos residuos. En el caso de las empresas, el ahorro libera flujos de capital que resultan agregados automáticamente a los beneficios empresariales, y pueden ser invertidos en la expansión del negocio, con la consecuencia de creación de puestos de trabajo, a la vez que se obtiene una imagen más limpia y responsable (Lozano, 2013, 87-88).

Por tanto, según Lozano, no hay incompatibilidad entre los objetivos empresariales y los criterios de sostenibilidad, sino que ambos crean sinergias. Se trataría de una economía ecoindustrial, una economía limpia, en donde el sistema productivo es visto como un ecosistema integrado a la red de ecosistemas naturales del planeta (88). No obstante, esto requiere de dos tipos de presiones: las sociales y las legales.

Bermejo considera que la superación de las barreras para la transformación del sistema económico se debe a una presión sistémica sobre las empresas y, en especial, a las retrasadas para eliminar la inercia organizativa que busca impulsar la innovación empresarial; impulsar a actuar en caso de que los costes de cumplimiento no sean totalmente recuperados o requiera bastante tiempo llevarlos a cabo; informar a las compañías sobre las áreas de ineficiencia y el potencial de cambio tecnológico para eliminarlas; garantizar

que las innovaciones en productos y procesos sean ambientalmente respetuosos y proteger a las empresas innovadoras frente a la competencia de las que tienen menos costes, al menos a corto plazo, por no innovar (Bermejo, 2005, 96). Lo anterior implica eliminar las subvenciones a las empresas contaminantes e impulsar las subvenciones a las empresas innovadoras; una tendencia a eliminar las actividades económicas insostenibles; establecer un sistema fiscal que favorezca la sostenibilidad, por ejemplo, que beneficie una economía solar, un transporte sostenible, tecnologías productivas limpias y modos de consumo sostenibles (104).

Como las empresas no están aisladas, sino que desde la perspectiva del desarrollo endógeno, estas conforman una red, en este respecto se requiere de políticas empresariales en desarrollo sostenible, ya que la política ambiental no puede ser actividades aisladas, sino integradas las cuales han de buscar el cierre de los flujos de materiales (Bermejo, 2005, 235), mediante la actuación cooperativa de las empresas. En relación con esto, Bermejo desarrolla el concepto de *coefectividad*, el cual se refiere a las relaciones entre las empresas que forman las cadenas de producto (235), mientras que el concepto de *ecosistema industrial* apunta hacia el fortalecimiento de los intercambios de materiales y energía residuales entre las empresas de diversos sectores. Esta actuación podría llevar a la transformación del sistema económico vigente. En el nivel de la empresa, se aplica el concepto *ecoeficiencia*. Estos niveles indican que las compañías aisladas no logran el cambio del sistema, sino que tiene que darse una relación de interacción entre empresas, funcionando en red.

Según Gómez, los administradores de la tecnología y de las empresas deberían utilizar las herramientas de la prospección tecnológica para gestionar y tomar decisiones en la innovación tecnológica (2011, 7). Aunado a esto, se subrayan dos tareas importantes: (a) adquirir, desarrollar y asignar los recursos de las organizaciones y como la tecnología es un recurso de vital importancia, de ser administrada de acuerdo con la estrategia de la organización para que esta sea competitiva; en este sentido, la discusión reside en dichas estrategias de la empresa que deben comprender la

responsabilidad corporativa y, por ende, la sostenibilidad amigable con el ambiente y la naturaleza y, por otro lado, (b) la segunda tarea de las empresas es desarrollar y explotar las capacidades de la organización para la innovación (7); dichas capacidades han de estar relacionadas con el conocimiento e imitación de la naturaleza.

Desde otra perspectiva, Judy Estrin considera que los sistemas de innovación empresariales han de funcionar como un próspero ecosistema de innovación (2010, 36). La innovación para ella debe ser sostenible; los líderes de las empresas deben pensar más allá de los resultados financieros a corto plazo y entender el impacto de la globalización y el ritmo acelerado de los cambios (2). En estos sistemas de innovación, los organismos colaborativos deben incluir científicos, desarrolladores de productos, hombres y mujeres de negocios, proveedores de servicios y clientes, que participen en una o más de las tareas de investigación, desarrollo y aplicación. La innovación debe ser continua y sostenible; es el resultado de interacciones entre estas comunidades en un nivel organizacional, nacional y global (4).

Dicha innovación hace la analogía entre el sistema de ecosistemas de innovación y los sistemas ecológicos biológicos, en donde estos tienen sus propios elementos que mantienen un delicado equilibrio que sostiene la vida. Al igual que en estos sistemas, en los sistemas culturales de innovación, si se rompe el equilibrio se arriesga la posibilidad de ser capaces de crear nuevos descubrimientos, productos e ideas que se requerirán para el éxito. Si adaptamos esta idea al enfoque que aquí se defiende, este ecosistema de innovación ha de estar orientado al desarrollo de tecnologías favorables al ambiente. Esta manera de concebir a estos sistemas estaría reforzando la creación ciclos de retroalimentación positiva para obtener los productos y los procesos innovadores.

## 5. La responsabilidad del Estado

El cambio tecnológico y del sistema económico, según Schmid, viene desde una perspectiva individual, ya que la toma de conciencia de salvar el planeta debe pasar por una transformación de

las personas, puesto que los individuos se percatan a tiempo de los problemas, mientras que las instituciones son más lentas en esa toma de conciencia (2011, 12); así que, de acuerdo con el autor, la transformación tiene que darse desde la autorreflexión y el cambio de la propia vida; se trata de un sentimiento de responsabilidad personal. Si bien es cierto que él no niega el cambio estructural e institucional, ya que desde su perspectiva romántica, el cambio personal puede influir en el institucional. A pesar de que en este artículo ya se ha mencionado cómo varios autores defienden un cambio de actitud, este tiene que permear a las instituciones.

Por otra parte, Benyus defiende que el cambio no puede estar sólo desde la perspectiva institucional, por ejemplo, regirse tan solo por las leyes, ya que las empresas encuentran las maneras para cumplir con el mínimo (Benyus, 300) o no cumplir. Sin embargo, en este respecto, ella también apela a una conciencia ambiental de los clientes o el consumidor como mecanismo de presión sobre las empresas para que asuman el ecodiseño o diseño integrado como una manera de transformar sus productos. Así, de acuerdo con lo expuesto por Benyus, hay tres razones para teñir de verde nuestra actuación: es lo correcto, es lo competitivo y quien no lo haga irá a la cárcel (303). Esto en una toma de conciencia de que no hay lugar adonde escapar de la destrucción. Lo más probable es que tenga que darse una combinación de ambos aspectos: la conciencia individual y la institucional. El Estado, en este sentido, es el responsable de generar esos mecanismos de transformación estructural.

Una manera de producir la transformación es a partir de la evolución de los sistemas nacionales de innovación en sistemas sostenibles y promotores de tecnologías biomímesis. En el libro *La innovación tecnológica como mecanismo de cambio tecnológico y su contribución al desarrollo* (2010), planteé, siguiendo el modelo de *Triángulo de Sábato*, que para la creación de la innovación tecnológica se requiere un sistema nacional de innovación tecnológica que sea sistemático, en donde se integren los diferentes actores e instituciones. El Estado tiene el compromiso de desarrollar este sistema a partir de las políticas científicas y tecnológicas. Este sistema

de innovación, como bien lo explica Estrin, debe funcionar como una emulación de los sistemas naturales de diseño. Según ella,

[...] necesitamos una comunidad de investigación bien financiada y audaz para descubrir nuevos conocimientos e ideas para descubrir nuevos conocimientos e ideas que miren el futuro. Necesitamos una comunidad de desarrollo prolifera que progrese en la producción y entrega de productos y servicios. Y necesitamos una próspera comunidad de aplicación que lleve esos avances a la gente de todo el mundo (41).

Estos sistemas deben reducir la dependencia del petróleo y revertir las tendencias del cambio climático, para descubrir nuevas fuentes sustentables de energía y disminuir nuestro impacto en el ambiente. Este sistema para la producción de tecnologías limpias e imitativas de ciclos naturales, debe ser promovido por los Estados, cuyos entes rectores son los ministerios de ciencia y tecnología, lo cual requiere el financiamiento del Estado y de la empresa privada. La nueva revolución tecnológica ha de ser financiada.

En el proceso de mudanza, Giddens afirma que hay que trabajar con las instituciones con las que se cuenta en este momento y con los procesos democráticos. El avance tecnológico sería esencial para reducir las emisiones. Además, el papel de los mercados es importante para la regulación del cambio climático (2009, 15). Para él, el Estado debe financiar, subvencionar las energías renovables frente a las fósiles (18). Asimismo, está en la obligación de ser garante y actuar como facilitador. Se ha de buscar una convergencia política, de tal manera que la política del cambio climático coincida en sentido positivo con los valores y los objetivos políticos, para que sea innovadora y enérgica (19). También se buscaría una convergencia económica, para que las innovaciones tecnológicas y del cambio climático generen sus ventajas competitivas para quienes las emplean (20). Se ha de desarrollar a los países pobres por razones morales, y esto implica transferencia de tecnología sostenible (20). Se necesita, de igual forma, un liderazgo energético de empresas, ONGs y ciudadanos

para perseguir los objetivos del desarrollo sostenible (23). Mejorar la política industrial para promover tecnologías bajas en carbón.

## Referencias

- Aguilera, Federico. (1998). *Economía y medio ambiente: un estado de la cuestión*. Buenos Aires: Biblioteca Nueva.
- Basalla, George. (1988/1991). *La evolución de la tecnología*. México, D. F.: Crítica.
- Belshaw, Christopher. (2001/2005). *Filosofía de medio ambiente. Razón, naturaleza y preocupaciones humanas*. Madrid: Tecnos.
- Benyus, Janine. (2012). *Biomímesis. Cómo la ciencia innova inspirándose en la naturaleza*. México, D. F.: Tusquets.
- Bermejo, Roberto. (2005). *La gran transición hacia la sostenibilidad. Principios y estrategias de economía sostenible*. Madrid: Catarata.
- Bourg, Dominique. (2002/2005). *¿Cuál es el futuro del desarrollo sostenible?* Madrid: Akal.
- Broncano, Fernando. (2006). *Entre ingenieros y ciudadanos. Filosofía de la técnica para días de democracia*. España: Montesinos.
- Carpintero, Óscar, Álvarez, Santiago. (2009). *Economía ecológica: reflexiones y perspectivas*. Madrid: Circulo de Bellas Artes.
- Carvajal Villaplana, Álvaro. (2007). Progreso tecnológico sí; pero de otra manera. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, XLV, 114, enero-abril de 2007, 9-21.
- . (2006). El enfoque evolucionista del cambio tecnológico. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*. XLIV, 111-112, enero-agosto de 2006, 129-141.
- . (2005). La racionalidad tecnológica: más allá de la razón instrumental. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, XLIII, 108, enero-abril de 2005, 75-88.
- . (2003). La función de la noción de diseño en la tecnología. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, XLI, 103, enero-junio de 2003, 107-115.
- Dobson, Andrew. (1990/1997). *Pensamiento político verde. Una nueva ideología para el siglo XXI*. Barcelona: Paidós.
- . (1999). *Pensamiento verde: una antología*. Madrid: Trotta.
- Estrin, Judy. (2010). *Innovación sostenible. Cómo encender la chispa de la creatividad en una economía global*. México, D. F.: McGraw Hill.
- Giddens, Anthony. (2009/2010). *La política del cambio climático*. Madrid: Alianza.
- Goodland, R., Daly, H., Serafy, S., Droste, B. (1997). *El desarrollo sostenible. Más allá del informe Brundtland*. Madrid: Trotta.
- Gómez Hernández, Denise (Coord.). (2011). *Prospección e innovación tecnológica*. México, D. F.: Siglo XXI, Editores y Universidad Autónoma de Querétaro.
- Guerra, María José. (2001). *Breve Introducción a la ética ecológica*. Madrid: Machado Libros.
- Gutiérrez Carranza, Claudio (2006). *Ensayos sobre un nuevo humanismo, genes y memes en la era planetaria*. San José: Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- Ladrière, Jean. (1977). *El reto de la racionalidad*. Salamanca: Sígueme y UNESCO.
- Lovelock, James. (2006/2007). *La venganza de la Tierra*. Barcelona: Planeta.
- Lozano, Francisco. (2013). *¿Por qué nos extinguiremos? Diez claves para preparar el mundo del futuro*. Barcelona: RBA.
- Madagán, M. J., Ceberio, I., Garangalza, L., Arrizabalaga, G. (2009). *La filosofía de la innovación. El papel de la creatividad en un mundo global*. México, D. F.: Plaza y Valder.
- Manzini, Ezio, Bigues, Jordi. (2000). *Ecología y democracia*. Barcelona: Icaria.
- Mumford, Lewis. (1971/1994). *Técnica y civilización*. Madrid: Alianza.
- Nussbaum, Martha. (2002). *Las mujeres y el desarrollo humano*. Barcelona: Herder.
- O'Riordan, T. (1981). *Environmentalism*. Londres: Rion.
- Pauli, Gunter. (2010/2011). *La economía azul*. Barcelona: Tusquets.
- Riechmann, Jorge. (2012). *El socialismo puede llegar sólo en bicicleta*. Madrid: Catarata.
- Riffkin, Jeremy. (2011). *La tercera revolución industrial*. Barcelona.
- Rivas, David. (2004). *Desarrollo sostenible y estructura económica mundial*. Madrid: CIDEAL.
- Schmid, Wilhelm. (2011). *El arte de vivir ecológico*. Valencia: Pre-Textos.
- Yunus, Muhammad. (2008). *Un mundo sin pobreza*. Barcelona: Paidós.

**Álvaro Carvajal Villaplana** (alvaro.carvajal@ucr.ac.cr). Docente e investigador de las Escuelas de Filosofía y de Estudios Generales de la Universidad de Costa Rica.

Docente e investigador de la Escuela de Ciencias Sociales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Recibido: el miércoles 16 de diciembre de 2015.

Aprobado: el lunes 4 de enero de 2016.



