MONOGRÁFICO
MÈTODE SCIENCE STUDIES JOURNAL (2019). Universitat de València.
DOI: 10.7203/metode.10.13229
Artículo recibido: 30/10/2018, aceptado: 12/11/2018.

VIDA FABRICADA

RETOS CIENTÍFICOS Y SOCIALES DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA

MANUEL PORCAR Y JULI PERETÓ

Desde que la biología se secularizó e inició el escrutinio molecular de la vida, la posibilidad de la síntesis artificial de células vivientes en un laboratorio fue palpable. La biología sintética contemporánea aspira a diseñar y fabricar nuevas formas de vida con la intención de obtener beneficios sociales y económicos, a pesar de que no se tiene que descartar que también obtendremos, por la vía sintética, recompensas científicas en términos de una mayor comprensión de la complejidad biológica a las cuales no podríamos acceder por la vía analítica. Está claro, por tanto, que *biología sintética* es un término que despierta expectativas, pero no es menos cierto que también provoca inquietud. En este artículo partimos de una crítica de la identificación de las células con las máquinas para discutir el alcance de los esfuerzos para estandarizar la biología sintética y exponemos también algunas implicaciones sociales derivadas de los intentos de fabricar la vida.

Palabras clave: biotecnología, metáfora, vida artificial, vida sintética, comunicación científica.

METÁFORA E IDENTIFICACIÓN

Hace más de un siglo, Stéphane Leduc acuñó el término *biología sintética* (Leduc, 1912). Siguiendo la corriente materialista –o mejor dicho, antivitalista– de la biología de aquel tiempo, Leduc buscaba reproducir en el laboratorio las formas y dinámicas propias de los seres vivientes empleando ingredientes químicos. Leduc aplicaba una lógica materialista extrema: «¿En qué es menos admisible tratar de fabricar una célula que una molécula?» (Leduc, 1912). Aunque la comunidad académica rechazó y ridiculizó sus experimentos, el impacto de sus jardines químicos en el imaginario colectivo, a través de la prensa y de la literatura, fue muy remarcable. Así, no nos extraña que Thomas Mann hiciera aparecer en *Doctor Faustus* la sorprendente y enigmática creación de vida artificial como uno de los divertimentos preferidos del padre del compositor Adrian Leverkühn.

Otros científicos, en varios contextos culturales, también perseguían obsesivamente la síntesis de vida, como fue el caso de Alfonso L. Herrera en México o John B. Burke en Inglaterra (Peretó, 2016). Todos ellos compartían la convicción de la ausencia de una frontera infranqueable entre la materia inerte y la vida y el anhelo de demostrar que las causas naturales eran suficientes para explicar el fenómeno biológico. Quizás la defensa de esta postura desde un posicionamiento intelectual y científico más sólido la hizo Jacques Loeb, el descubridor de la partenogénesis artificial. La demostración que un óvulo no fecundado podía iniciar el desarrollo cambiando solo las condiciones químicas del medio fue una observación que rompió muchos esquemas científicos y culturales. Por un lado se abría la posibilidad de investigar la vida con un enfoque propio de la ingeniería, a través de la manipulación controlada de los fenómenos: para Loeb, control equivalía a comprensión. Por otro, iniciar el desarrollo animal con factores no biológicos (y, más todavía, no masculinos) retaba el pensamiento canónico vitalista, por eso Loeb era considerado por sus críticos coetáneos (sobre todo por los autores católicos) el más peligroso de los materialistas (Keller, 2002; Peretó y Català, 2012).

> «LOS ORGANISMOS NO SON MÁQUINAS DISEÑADAS POR AGENTES EXTERNOS CON UN PROPÓSITO, SINO EL RESULTADO DE UN PROCESO EVOLUTIVO SIN INTENCIÓN»

A finales del siglo XIX el debate científico ya no era si sería posible la síntesis de vida en el laboratorio sino

Internet Archive

Wikimedia

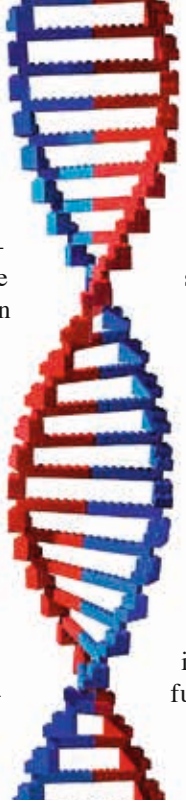
Hace más de un siglo, Stéphane Leduc (derecha) acuñó el término *biología sintética*. Leduc buscaba reproducir en el laboratorio las formas y dinámicas propias de los seres vivos utilizando ingredientes químicos. Aunque sus experimentos no encontraron apoyo en la academia, el impacto de sus jardines químicos en el imaginario colectivo, a través de la prensa y de la literatura, fue muy remarcable. En la imagen superior, una de sus «producciones osmóticas» que ilustraban la obra *The mechanism of life*, publicada en inglés en 1912.

cuándo se podría lograr este hito extraordinario. A veces parecía muy próximo, como indican las opiniones contundentes de los Leduc, Herrera y Burke. Pero todos ellos partían de unas premisas sobre la composición química de la vida muy alejadas de la realidad. El estado coloidal, con una composición nada concreta, era considerado el genuino de la materia celular. A medida que la bioquímica empezó a tomar forma como disciplina diferenciada de la química orgánica y la fisiología, a principios del siglo XX, se vislumbraba una complejidad molecular de la vida que dificultaba, a los ojos de los científicos, su síntesis en el laboratorio. Loeb, que con sus trabajos pioneros sobre la química de proteínas encarna la transición de «la edad oscura de la biocoloidología» al abecé de la biología molecular, seguirá remarcando que el objetivo final de la biología es la fabricación de vida. Aun así, este objetivo programático tan ambicioso lo reservará a las generaciones futuras de científicos más jóvenes y osados (Loeb, 1906) y, a la vez, criticará con severidad aquellos intentos coetáneos, naífs y prematuros, de fabricar células en el laboratorio.

La convicción de Loeb de que algún día se podría conseguir la síntesis artificial de vida partía de la certeza de que las células son, literalmente, máquinas químicas: «Los organismos vivientes son máquinas químicas, […] nadie puede negar que un día estas podrán ser construidas artificialmente» (Loeb, 1904). Es, por lo tanto, este maquinismo explícito lo que da pie a una biología sintética que razona en términos de ingeniería, de diseño y fabricación, de predicción y control del sistema. Tenemos así un ejemplo muy temprano de una ideología maquinista en biología que proyecta el sueño cartesiano a escala celular y molecular. Dotando la analogía de literalidad, la máquina ya no es una simple metáfora sino un marco intelectual que impulsa la investigación. Pero, ¿hasta qué punto es realista esta identificación de los seres vivientes con las máquinas?

LAS CÉLULAS NO SON MÁQUINAS

Una de las asunciones más arraigadas y explícitas de la biología sintética contemporánea con perfil de ingeniería es la consideración de que los organismos vivientes son, literalmente, máquinas. En la bibliografía existen innumerables ejemplos de la equivalencia entre organismos y máquinas (o computadores) (Nicholson, 2014; Porcar y Peretó, 2016). Los artefactos están constituidos por componentes estandarizados, intercambiables y de comportamiento predecible, y son diseñados, fabricados y reparados por agentes externos a ellos. La biología sintética considera que las células son sistemas constituidos por piezas con unas relaciones lógicas entre ellas como las que mantienen las partes diseñadas por ingenieros industriales o electrónicos. Este uso y abuso de las metáforas es impulsado por un maquinismo extremo que ha sido criticado desde varias perspectivas (De Lorenzo, 2011; Nicholson, 2014; Porcar y Peretó, 2016). Mirándolo bien, sin embargo, y en el contexto de una biología sintética que aspira a construir una biología más cuantitativa, el maquinismo



US National Library of Medicine

contemporáneo expresa más un deseo o un objetivo a largo plazo que una descripción realista de cómo son y funcionan las células. Lo que también es cierto es que la biología sintética ha revitalizado debates olvidados o, cuando menos, marginales en la biología contemporánea, como ha sido la discusión de qué es la vida.

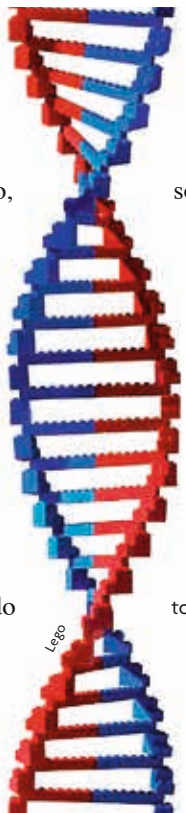
Así, máquinas y células tienen en común que son, vistas desde la termodinámica, sistemas abiertos al flujo de materia y energía, pero hasta aquí llega la identificación. Las causas eficientes –por emplear el concepto aristotélico usado por el biólogo teórico Robert Rosen– son internas en los seres vivientes y externas en las máquinas. Los organismos no son máquinas diseñadas por agentes externos con un propósito sino el resultado de un proceso evolutivo sin intención en que la capacidad de persistir y reproducirse en un determinado ambiente es el principal motor. Esta es una diferencia ontológica fundamental entre organismos y máquinas: el despliegue histórico no teleológico –sin propósito– de la complejidad y la diversidad biológica. Aun así, la apariencia de propósito e intención en los seres vivientes es evidente –lo que Jacques Monod llamó *teleonomía* para evitar la identificación con la teleología.

En una reflexión reciente, el microbiólogo Víctor de Lorenzo, siguiendo los pasos de Monod, ha propuesto el término *tecnonomía* (en contraposición a *tecnología*) para señalar la apariencia de diseño en la vida y poder referirse a la lógica de las relaciones entre los componentes de los sistemas vivientes sin la necesidad de adoptar una posición metafísica fuerte que signifique que existe un diseño –tecnológico, de ingeniería– real (De Lorenzo, 2018). Es decir, De Lorenzo reivindica un retorno a la utilidad de las metáforas y analogías sin entrar en callejones sin salida faltos de realismo. Una cosa es que las células no sean el resultado del trabajo de un ingeniero diseñador y otra que no pueda llegar a ser de utilidad analizar los organismos vivientes «como si» lo hubiesen sido. Habrá que evaluar el valor epistemológico de esta aproximación al fenómeno biológico cuando tengamos resultados tangibles de una biología sintética realmente basada en los principios de la ingeniería. En definitiva, cuando comprobemos si es posible hacer diseños nuevos sobre lo carente de designio y no diseñado.

A pesar de aceptar, pues, este carácter teleonómico y tecnonómico de la vida, todavía podemos identificar ciertos escollos que la biología sintética a modo de ingeniería tendría que afrontar (Porcar y Peretó, 2016). Así, mientras que los sistemas diseñados por ingenieros recurren a la redundancia para lograr niveles aceptables de robustez, la vida se fundamenta en la degeneración –en el sentido de sinonimia funcional– y el carácter plurifuncional de sus componentes. Por ejemplo, las proteínas, dada su naturaleza inherentemente flexible, pueden tener múltiples funciones que se superponen a las otras proteínas y que generan redes de relaciones robustas. A menudo las funciones principales, adaptativas, de los componentes celulares coexisten con funciones colaterales, menores, no adaptativas o neutrales –conocidas como funciones promiscuas–. En el contexto celular, estas son una fuente notable de innovación evolutiva (Tawfik, 2010), pero, como veremos a continuación, pueden representar un inconveniente para la implantación de una biología sintética basada en la identificación y reemplazo de módulos estándares e independientes.

«UNA DE LAS CONTROVERSIAS MÁS REMARCABLES RELACIONADA CON LA VIDA SINTÉTICA HACE REFERENCIA A LA DISCUSIÓN SOBRE SI SERÁ POSIBLE ESTANDARIZAR LOS SERES VIVOS»

POR QUÉ ESTANDARIZAR LA VIDA (SI ES QUE ES POSIBLE)



Lego

Una de las controversias más remarcables relacionada con la vida sintética hace referencia a la discusión sobre si será posible –y en qué medida– estandarizar los seres vivos. Como acabamos de exponer, los seres vivos, a pesar de estar sometidos a las leyes de la física, no son exactamen-

Una definición informal propone que un estándar es una pieza, como un tornillo o una broca, con unas características que la hacen universal y predecible en cuanto a su uso y funciones. Muchas máquinas diferentes se pueden construir con un número relativamente pequeño de piezas estándar: los juegos de ensamblaje, como Meccano o Lego, son un buen ejemplo de sistema estándar. La idea de la estandarización en biología sintética se basa precisamente en la combinatoria de piezas (de ADN) bien caracterizadas. No obstante, hoy por hoy, la predictibilidad de las interacciones biológicas está lejos de ser total y eso, a su vez, hace difícil predecir con exactitud el comportamiento de un organismo sintético.

M. Porcar y J. Peretó

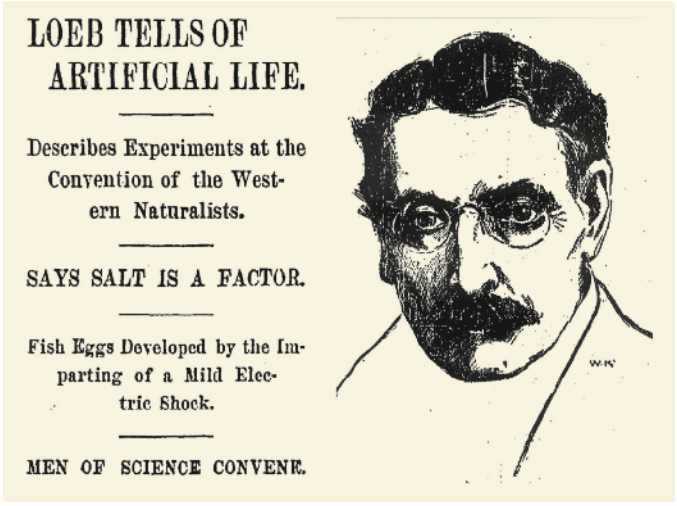
En biología pueden considerarse diversos niveles a los cuales podemos aplicar criterios de estandarización. Comenzando por el extremo inferior del esquema, tenemos los procesos de estandarización de los sistemas moleculares y celulares con la posibilidad de utilizar piezas y módulos de propiedades específicas, que puedan combinarse e integrarse en diferentes circuitos genéticos y bioquímicos. En el otro extremo, las prácticas, protocolos y procedimientos utilizados por laboratorios y equipos humanos diferentes, en una diversidad de entornos sociales y contextos culturales, también pueden ser objeto de estandarización. Un beneficio evidente de este proceso sería la mejora en la reproducibilidad de los experimentos.

te biomáquinas. Sin embargo, esto contrasta con el hecho de que la biología sintética, por definición, busca la mecanización de los seres vivos, modificarlos según los criterios de la ingeniería, para diseñar dispositivos productores, por ejemplo, de alimentos, medicamentos o biocombustibles.

El éxito de la ingeniería industrial está ligado al establecimiento de la estandarización. Los coches, los móviles o las lavadoras no serían posibles –y menos al coste actual– sin componentes estándares. Pero, ¿qué es un estándar? Una definición informal propone que un estándar es una pieza, como por ejemplo un tornillo o un condensador, con unas características que la hacen universal (podemos comprar el mismo tornillo o condensador en todo el mundo) y predecible (un tornillo de 3 mm de diámetro encaja en un taco de plástico de cualquier marca de 3 mm de diámetro interno). También se puede afirmar que muchas máquinas diferentes se pueden construir con un número relativamente pequeño de piezas. Los juegos de ensamblaje, como por ejemplo Meccano o Lego, son un buen ejemplo de sistema estándar. De hecho, con solo unos pocos tipos de piezas y un mínimo de habilidad se puede construir una réplica formal –en el sentido de que es la forma lo que se reproduce– de casi cualquier objeto.

El éxito de la estandarización en la ingeniería justifica la búsqueda de estándares en el ámbito de una biología inspirada en los principios del diseño. Si consideramos el concepto de *biomáquinas*, aunque sea como metáfora, se hace evidente el interés de la búsqueda y ensamblaje de piezas estándares biológicas como base para la biología sintética. La idea es apasionante y surge de la analogía entre la construcción de una máquina y el diseño de un ser total o parcialmente sintético. Está claro que las piezas para construir, por ejemplo, una bacteria degradante de petróleo son de una naturaleza muy diferente a la de los componentes mecánicos o electrónicos; no serán tornillos o chips, sino trozos de ADN, genes, codificadores de proteínas dotadas de funciones estructurales, catalíticas o reguladoras. Aun así, se tiene que destacar que es esperable –o cuando menos, deseable– que estos productos funcionales (es decir, las proteínas) sigan una lógica relacional en su interacción e integración funcional con el resto de componentes del sistema. Si la predictibilidad de las interacciones biológicas complejas fuera total, se podrían diseñar, por ejemplo, metabolismos a la carta. La situación actual, sin embargo, no es todavía esta, a pesar de los esfuerzos de integración de cantidades masivas de datos derivados de las tecnologías «ómicas» y

US National Library of Medicine



LOEB TELLS OF ARTIFICIAL LIFE.

Describes Experiments at the Convention of the Western Naturalists.

SAYS SALT IS A FACTOR.

Fish Eggs Developed by the Imparting of a Mild Electric Shock.

MEN OF SCIENCE CONVENE.

Chicago Daily Tribune

Jacques Loeb (izquierda) quizás fue el primer científico visible en términos de impacto mediático de su investigación. Ya a finales del siglo XIX y principios del XX, los medios de la época recurrieron a titulares y artículos sensacionalistas para tratar el descubrimiento por parte de Loeb de la partenogénesis artificial. Arriba, ilustración del *Chicago Daily Tribune* del 28 de diciembre de 1900 dedicada al científico, encabezada por un titular que ya apunta a la creación de «vida artificial».

de los éxitos incipientes en la simulación computacional de las actividades celulares. La modelización matemática global de las interacciones entre biomoléculas y la variabilidad inherente a todo proceso metabólico dificultan, hoy por hoy, la predicción exacta del comportamiento de un organismo sintético.

Sin embargo, las ventajas de estandarizar, en lo posible, lo vivo podrían ser enormes: nos facilitaría el diseño con el reúso de componentes y nos aseguraríamos de que los organismos y circuitos sintéticos funcionan de manera previsible, puesto que habrían sido probados antes miles de veces. Las dificultades para llegar a lograr estos objetivos están estrechamente relacionadas con lo que hemos discutido antes: las células no son máquinas. Su tecnonomía no responde a nuestro deseo de construirlas, repararlas ni siquiera entenderlas (todo eso sí que es aplicable al caso de las máquinas). Además, existe un detalle inherentemente ligado a la vida y a su origen que dibuja una frontera nítida entre la célula y la máquina: el cambio evolutivo. En la industria, lo último que quiere el fabricante de un determinado producto, así como el cliente que lo compra, es que este presente variaciones. Todos queremos un coche que funcione exactamente como el resto de coches del mismo modelo. Difícilmente un cambio único en nuestro vehículo será una mejora. Al contrario, una variación del estándar del modelo equivale con certeza a una avería o una pieza defectuosa. Sin embargo, la vida, y en particular la evolución, juega con la variabilidad, con el cambio constante, las mutaciones y, en último término, la muerte. Ser diferente, cambiar, desviarse del arquetipo, es el motor de la adaptación para los seres vivos. Sin embargo, eso choca con el anhelo de los biólogos sintéticos de diseñar una vida a la carta, dentro de los parámetros de la estandarización.

«LOS BIÓLOGOS SINTÉTICOS ESTÁN DE ACUERDO EN QUE LA ESTANDARIZACIÓN SERÍA ENORMEMENTE BENEFICIOSA, PERO TAMBIÉN DOMINA EL PRESENTIMIENTO DE QUE ESTO SERÁ MUY DIFÍCIL DE LOGRAR»

En resumen, el desarrollo de los estándares en biología es insuficiente; es más, todavía falta la definición de unas piezas biológicas suficientemente caracterizadas y robustas. El carácter estándar de las piezas biológicas se consolidará el día que exista un verdadero reuso de estas piezas en la generación de innovación, un rasgo que caracteriza las tecnologías más

avanzadas, como por ejemplo la ingeniería de *software*, pero que está ausente en las colecciones actuales de piezas biológicas como los componentes Biobricks™ (Valverde, Porcar, Peretó y Solé, 2016). Existen, sin embargo, importantes divergencias dentro de la comunidad científica sobre el alcance de la estandarización de la vida, sobre si esta estandarización será posible solo en condiciones de laboratorio o en un ambiente más variable, o qué rango de aplicación tendrá un determinado estándar, dada la abrumadora diversidad biológica. En el estado actual de las cosas, los biólogos sintéticos están de acuerdo en que la estandarización sería enormemente beneficiosa –cuando menos, consiguiendo una mayor reproductibilidad experimental–, pero también domina el presentimiento de que esto será muy difícil de lograr.

Existe una vertiente sociológica inherente a cualquier proceso de estandarización, superpuesto a otros aspectos sociales –como por ejemplo todo lo referente a la protección de la propiedad intelectual y las patentes (Konig, Dorado-Morales y Porcar, 2015)– y a las dimensiones éticas propias de las tecnologías (para una discusión específica sobre ética y biología sintética, véase Douglas, Powell y Savulescu, 2013). El establecimiento de unos estándares implica una discusión previa y el logro de acuerdos que tengan la máxima aceptación transversal entre personas de culturas y tradiciones diferentes. Así, existe diversidad de pareceres y tensiones, dentro de la propia comunidad de biología sintética, en cuanto a la aceptación estricta de conceptos de la ingeniería (como, por ejemplo, el carácter computable y modular del sistema) en el ámbito de los seres vivientes. La estandarización en biología sintética, por lo tanto, representa también un reto social controvertido con identidad propia.

ALGUNAS IMPLICACIONES SOCIALES DE LA FABRICACIÓN DE VIDA

Además de los aspectos sociales ligados al proceso de estandarización, existen otras aristas que conviene señalar. El sociólogo del MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets, en sus siglas en inglés) Kenneth Oye ha formulado la que es, seguramente, la mejor definición del impacto potencial de la biología sintética en cuanto a su percepción pública. Oye sostiene que el propio término *biología sintética* parece «haber sido calculado con el fin de producir una respuesta negativa». En parte, esto se debe a razones culturales, arraigadas en la percepción negativa de monstruos y seres mitológicos o

Tendencias

El primer ser vivo creado por ordenador

Craig Venter obtiene una bacteria a partir de datos informáticos, un hito hacia la síntesis de vida artificial

vida&artes

Vida de bote

Uno de los 'padres' del genoma crea la primera célula artificial ■ La técnica abre nuevos horizontes a la investigación de fármacos y genera incertidumbres bioéticas

EL MUNDO. VIERNES 21 DE MAYO DE 2010

Las nuevas fronteras de la biología La vida artificial en la literatura y el cine

El juego de ser Dios

Crear vida es una eterna aspiración humana, pero también un tabú ancestral

TRIBUNA

Luis Serrano

Investigador del Centro de Regulació Genòmica

No seamos hipócritas

La revolución de la v

El padre del genoma humano, Craig Venter, logra un genoma fabricado en su laboratorio y demuestr

Ante la puerta de Tanhauser

Es necesario reflexionar sobre la relación entre científicos y comunicadores para evitar que la información llegue a la ciudadanía fuera de contexto, exagerada, o al servicio de intereses particulares de científicos o instituciones. Un caso paradigmático es el del instituto del célebre biotecnólogo Craig Venter: a finales de mayo de 2010, medios de todo el mundo se hacían eco de un artículo publicado por el equipo de Venter según el cual se había creado la primera célula sintética. Si bien *a posteriori* este hito quedó sustancialmente matizado, buena parte de los medios reprodujeron durante los días siguientes la idea de que se había conseguido crear vida de forma artificial. En las imágenes, algunos ejemplos extraídos de diarios españoles donde se habla en términos de creación de vida artificial, vida de bote, o jugar a ser Dios.

literarios diversos, la mayoría de los cuales, por lo que tienen de artificiales, son «malos» y se escapan irremisiblemente al control de sus diseñadores. En este punto se hace inevitable la referencia a la novela de Mary Shelley *Frankenstein o el moderno Prometeo*, en la cual la emulación del titán por parte del científico desencadena toda una serie de desgracias abominables. Pero esto solo justifica –en parte– la percepción negativa que se puede tener *a priori*, a partir de la denominación de esta disciplina. Es cierto, sin embargo, que la biología sintética como tecnología, igual que pasó con los organismos transgénicos, es criticada por grupos ecologistas y por una porción significativa de la población. Para acotar el debate, no obstante, se tiene que persistir en remarcar el hecho evidente de que las tecnologías no son inherentemente malas, a pesar de que su uso siempre comporta la asunción de algún tipo de riesgo. Por lo tanto, podemos salir malparados si se hace un mal uso de estas tecnologías o si se materializan algunos de los riesgos asociados a su implementación.

Los transgénicos funcionan, y los organismos sintéticos empiezan a funcionar, aun con las limitaciones mencionadas. La peligrosidad potencial de un organismo sintético –o transgénico– justifica el conocido principio de precaución. Aun así, por ahora no hay ningún dato contrastado que indique que los organismos sintéticos son más peligrosos que los naturales. Ahora bien, la falta de evidencia sobre la peligrosidad, desde una perspectiva ambiental o de bioseguridad, no excluye la obligación de actuar con cautela, dada la potencia de la tecnología y el hecho indudable de que muchos aspectos de los seres vivos modificados son simplemente difíciles de prever. Además de las cuestiones de seguridad, también existe un vértice socioeconómico (común con el debate existente con otras tecnologías), relativo al efecto en el mercado laboral de la inclusión de una tecnología. Por ejemplo, la fabricación de un microorganismo capaz de sintetizar la vanilina a un precio muy competitivo, ¿cómo afectaría a la economía de las comunidades de Veracruz o de Madagascar que polinizan a mano las flores de la orquídea *Vanilla planifolia*? Para tratar las facetas éticas, ambientales y sociales se hace necesaria la integración de todos los actores en un debate común sin estridencias, basado en datos contrastados, llevado con una transparencia completa y siguiendo las recomendaciones del marco de actuación denominado innovación e investigación responsable (o RRI, del inglés *responsible research and innovation*) (Konig et al., 2015).

La necesidad de transparencia en el debate tiene que considerar el papel –o el poder– de los medios de comunicación en la exacerbación o –menos frecuentemente, pero absolutamente necesaria– la moderación de las discusiones relacionadas con la vida sintética. La intervención humana premeditada sobre la vida, con el objetivo de tomar el control del proceso biológico, representa uno de los casos históricos más tempranos de la interacción entre científicos y comunicadores con resultados muy decepcionantes. Loeb quizás fue el primer científico visible en términos del impacto mediático de sus investigaciones, en particular, la partenogénesis artificial (Turney, 1995). El sensacionalismo de los titulares y de los artículos dedicados a las investigaciones de Loeb en el paso del siglo XIX al XX ponía la etiqueta de «síntesis artificial de vida» a lo que Loeb solo consideraba la inducción controlada del desarrollo de un óvulo no fecundado mediante la manipulación química del entorno. Esto obligó al autor a publicar una nota en la revista *Science* desautorizando en bloque todas las informaciones periodísticas sobre su investigación. Así pues, el primer científico moderno de carne y hueso, fuera de las

páginas de la literatura fantástica, vinculado a la creación de vida sufrió una experiencia poco edificante con la transmisión mediática de su trabajo.

Aun así, a lo largo del siglo XX también encontramos casos de coqueteo entre científicos y periodistas cuando la amplificación mediática de la investigación satisface a los primeros o a sus instituciones. Este fue el caso de Wendell M. Stanley y el Instituto Rockfeller de Princeton y la divulgación de sus trabajos sobre la cristalización del virus del mosaico del tabaco (TMV, por sus siglas en inglés) como un «descubrimiento revolucionario» que traspasaba la frontera entre la materia viva y la inerte (Creager, 2002). Y, en épocas más recientes, recordamos la eficacia comunicativa del Instituto J. C. Venter divulgando las investigaciones sobre células mínimas artificiales que ha desencadenado una serie de titulares a escala mundial que presentan a los científicos «jugando a ser Dios» (véase Porcar y Peretó, 2018). En este contexto, hay que reflexionar sobre la relación biunívoca entre científicos y comunicadores: los primeros transmitiendo de forma adecuada su investigación, sin exageraciones ni extrapolaciones injustificables, los segundos evitando el sensacionalismo de la prensa amarilla o el *churnalism*[1] acrítico. ¿Cuál podría ser la fórmula? Se ha propuesto que la cocreación entre biólogos sintéticos (una comunidad que, para empezar y como ya hemos visto, muestra una heterogeneidad sociológica notable con la dicotomía ciencia-ingeniería), los comunicadores y el resto de la sociedad, en un marco general de RRI, pueda servir para definir tanto los objetivos estratégicos de la biología sintética a medio y largo plazo como para marcar los límites de esta tecnología del siglo XXI (Porcar y Peretó, 2018). En este diálogo no estaría de más un consenso sobre el valor y uso de las metáforas y, en especial, una revisión de aquellas que deforman la realidad tecnológica y que pueden prefigurar un rechazo social más cerca del pánico que de una actitud de asunción de riesgos responsable y racional.

«PARA TRATAR LAS FACETAS ÉTICAS, AMBIENTALES Y SOCIALES DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA SE HACE NECESARIA LA INTEGRACIÓN DE TODOS LOS ACTORES EN UN DEBATE COMÚN»

REFERENCIAS

Creager, A. N. H. (2002). *The life of a virus. Tobacco mosaic virus as an experimental model, 1930-1965*. Chicago: The University of Chicago Press.

De Lorenzo, V. (2011). Beware of metaphors: Chasses and orthogonality in synthetic biology. *Bioengineered Bugs*, *2*(1), 3–7. doi: 10.4161/bbug.2.1.13388

De Lorenzo, V. (2018). Evolutionary tinkering vs. rational engineering in the times of synthetic biology. *Life Sciences, Society and Policy*, *14*(1), 18. doi: 10.1186/s40504-018-0086-x

Douglas, T., Powell, R., & Savulescu, J. (2013). Is the creation of artificial life morally significant? *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, *44*, 688–696. doi: 10.1016/j.shpsc.2013.05.016

Keller, E. (2002). *Making sense of life. Explaining biological development with models, metaphors, and machines*. Cambridge: Harvard University Press.

Konig, H., Dorado-Morales, P., & Porcar, M. (2015). Responsibility and intellectual property in synthetic biology: A proposal for using Responsible Research and Innovation as a basic framework for intellectual property decisions in synthetic biology. *EMBO Reports*, *16*(9), 1055–1059. doi: 10.15252/embr.201541048

Leduc, S. (1912). *La biologie synthétique*. París: A. Poinat.

Loeb, J. (1904). The recent development of biology. *Science*, *20*(519), 777–786. doi: 10.1126/science.20.519.777

Loeb, J. (1906). *The dynamics of living matter*. Nueva York: Columbia University Press.

Nicholson, D. J. (2014). The machine conception of the organism in development and evolution: A critical analysis. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, *48*, 162–174. doi: 10.1016/j.shpsc.2014.08.003

Peretó, J. (2016). Erasing borders: A brief chronicle of early synthetic biology. *Journal of Molecular Evolution*, *83*(5–6), 176–183. doi: 10.1007/s00239-016-9774-4

Peretó, J., & Català, J. (2012). Darwinism and the origin of life. *Evolution: Education and Outreach*, *5*(3), 337–341. doi: 10.1007/s12052-012-0442-x

Porcar, M., & Peretó, J. (2016). Nature versus design: Synthetic biology or how to build a biological non-machine. *Integrative Biology: Quantitative Biosciences from Nano to Macro*, *8*(4), 451–455. doi: 10.1039/c5ib00239g

Porcar, M., & Peretó, J. (2018). Creating life and the media: Translations and echoes. *Life Sciences, Society and Policy*, *14*(1), 19. doi: 10.1186/s40504-018-0087-9

Tawfik, D. S. (2010). Messy biology and the origins of evolutionary innovations. *Nature Chemical Biology*, *6*(10), 692–696. doi: 10.1038/nchembio.441

Turney, J. (1995). Life in the laboratory: Public responses to experimental biology. *Public Understanding of Science*, *4*(2), 153–176. doi: 10.1088/0963-6625/4/2/004

Valverde, S., Porcar, M., Peretó, J., & Solé, R. V. (2016). The software crisis of synthetic biology. *BioRxiv*. doi: 10.1101/041640

El trabajo de los autores está financiado con fondos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades/FEDER (BIO2015-66960-C3-1-R) y del programa H2020 de la Unión Europea (BioRobooST: Fostering Synthetic Biology standardisation through international collaboration, Project ID 210491758).

Manuel Porcar. Investigador de la Universitat de València (España) en el grupo de Biotecnología y Biología Sintética del Instituto de Biología Integrativa de Sistemas I^{2}SysBio (Universitat de València – CSIC) y presidente de Darwin Bioprospecting Excellence SL (Parque Científico de la Universitat de València). Ente los campos que investiga está la bioprospección en ambientes hostiles a la búsqueda de microorganismos de interés industrial, así como varios aspectos del desarrollo de la biología sintética como disciplina emergente. Actualmente es el coordinador del proyecto europeo H2020 BioRobooST que agrupa veintisiete instituciones públicas y privadas de Europa y seis socios de Asia y América con el objetivo de impulsar un proceso internacional de estandarización en biología sintética. ✉ manuel.porcar@uv.es

Juli Peretó. Catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de la Universitat de València (España), codirector del Instituto de Biología Integrativa de Sistemas I^{2}SysBio (Universitat de València–CSIC), miembro numerario del Institut d'Estudis Catalans y socio fundador de Darwin Bioprospecting Excellence, SL (Parque Científico de la Universitat de València). Explica metabolismo a los estudiantes de biotecnología y, como miembro del grupo de Biotecnología y Biología Sintética, sus intereses investigadores incluyen la bioprospección, la modelización metabólica y la historia de las ideas sobre el origen natural y la síntesis artificial de vida. ✉ juli.pereto@uv.es

[1] Neologismo que hace referencia al periodismo basado en notas de prensa de agencias, empresas e instituciones, en el cual los medios se limitan a reproducir la información recibida sin contrastar o acudir a las fuentes.