

# ¿Qué relación tienen la biología sintética y la biología?

Evelyn Fox Keller

En el presente artículo se examinan las raíces históricas de la biología sintética y se ponen de relieve los diferentes significados e interpretaciones del concepto. La biología sintética, tal como se entiende hoy en día, hace referencia a un abanico especialmente amplio de iniciativas que incorporan un conjunto igualmente amplio de objetivos y que por tanto mantienen relaciones diversas generalmente enmarcadas en la disciplina de la biología. Para contestar a la pregunta de la relación entre la biología sintética y la biología, se presentan algunas de las manifestaciones del conglomerado de la biología sintética como epítome de la tecnociencia y la biología sintética como una biología artificial alternativa en tres ejemplos diferentes: uno actual y dos históricos.

## ¿QUÉ ES LA BIOLOGÍA SINTÉTICA?

La «biología sintética» ha recibido mucha atención en los últimos años, por no hablar de financiación. Pero ¿qué *es* la biología sintética? En pocas palabras: muchas cosas.

Vale la pena examinar el término «sintético» en sí mismo, pues sus múltiples significados nos hablan del terreno de exploración, en particular de las divisiones tradicionales que favorecen el florecimiento de la disciplina, y de las diversas formas en que las actividades enmarcadas en la biología sintética proponen socavar tales divisiones. De modo que empiezo aquí, con los significados de «sintético».

En uno de los sentidos más conocidos del término, por sintético se entiende lo contrario de analítico, pero aun así su significado puede apuntar en varias direcciones. En lógica se refiere a las proposiciones: al igual que Kant utilizó la distinción entre analítico y sintético, analítico se refiere a las proposiciones que

son ciertas en virtud del significado de sus términos y sintético a las proposiciones que no lo son. Ahora bien, ese significado clásico tiene poco que ver con el uso que se da al término hoy en día a la biología sintética.

Normalmente, la distinción entre analítico y sintético tiene carácter metodológico: analítico implica análisis, una separación, y síntesis implica una agrupación. Pero también aquí, en ese uso habitual, la distinción es ambigua, ya que se refiere a dos contextos bastante diferentes: conceptual y físico. Podríamos analizar teóricamente un problema para llegar a sus primeros principios o sus elementos básicos –lo que se denomina en ocasiones el enfoque reduccionista– o podríamos, de nuevo teóricamente, abordar la dificultad de recomponer los elementos, de deducir las consecuencias a partir de los primeros principios o a partir de las interacciones de los elementos básicos que se han identificado. En efecto, una imagen evocada con frecuencia en las primeras celebraciones de la nueva biología de sistemas era la de recomponer a Humpty Dumpty.

Sin embargo, también podríamos considerar la distinción en el ámbito físico, como al desmontar primero una máquina y separar sus componentes (análisis) y después volver a montarla, pieza a pieza (síntesis). El viraje desde reconstrucción conceptual a reconstrucción física marca a la vez el renacimiento de la biología *sintética* y su diferenciación de la biología *de sistemas*. Curiosamente, análisis siempre aparece primero cuando análisis y síntesis se emparejan terminológicamente (y filosóficamente), y a menudo (aunque no siempre) también cuando se emparejan metodológicamente. Primero separamos las cosas y después, o al menos eso se supone normalmente, tratamos de recomponerlas sirviéndonos del conocimiento que nos ha dado el análisis. En términos conceptuales la práctica de análisis y síntesis se denomina por lo general ciencia; pero cuando se lleva a cabo con los componentes físicos concretos y conlleva una reconstrucción literal del sistema en cuestión, normalmente se llama ingeniería. Una pregunta que se plantea con frecuencia es la relación entre la biología de sistemas y la biología sintética, y mi sugerencia es que la respuesta está precisamente aquí: la biología de sistemas nunca ha prometido recomponer a un Humpty Dumpty real (aunque algunos especialistas en la materia se dedican ya plenamente a hacer reconstrucciones virtuales, o *in silico*, de la célula biológica); por el contrario, la reconstrucción real del sistema es precisamente lo que prometen casi todas las diferentes ramas de la biología sintética.

Sin embargo, el término «sintético» ha sufrido una metamorfosis curiosa en esta división de labores entre la biología de sistemas y la biología sintética: en esta última, el significado de «sintético» se ha estrechado hasta llegar al de reconstrucción física, dejando la síntesis conceptual en otro lugar, bien con la biología de sistemas o totalmente fuera del tablero. A primera vista, con ello parece que no se ha hecho más que situar las actividades de la biología sintética de lleno en el ámbito de la ingeniería. Pero de hecho me parece que se está gestando un cambio más radical, puesto que hoy en día, en gran parte de la biología sintética,

el vínculo mismo entre analítico y sintético se relaja y, si bien ese vínculo *sigue* todavía estando presente, dista mucho de estar claro que analítico venga en primer lugar, ni terminológica ni metodológicamente. En cambio, existe al menos el indicio de una inversión, a lo que Paul Foreman (2007) se refiere como la nueva primacía de la tecnología sobre la ciencia. O quizá no sea simplemente una inversión, sino una sustitución, lo que implica que la síntesis real *es* ciencia. Lo que tiene un interés particular en muchos de esos debates es la afirmación repetida de que hacer es saber, que la construcción de una máquina no tiene solo una utilidad práctica obvia, sino que el proceso es también, por sí mismo, el camino real que lleva a un conocimiento de la máquina. Hacer es saber y saber es hacer. Como dicen Anthony Forster y George Church: «Mientras no podamos construir una forma de vida *in vitro* a partir de macromoléculas definidas cuyo funcionamiento se conoce y de pequeñas moléculas que actúan como sustrato, ¿cómo podemos decir que entendemos el secreto de la vida?» (2007:5).

Podría decirse que el conocimiento como capacidad de hacer es el primer credo de la biología sintética. Un credo directamente relacionado con el anterior es la negación tácita, por lo menos, de toda distinción significativa entre ciencia e ingeniería. En ese sentido podría decirse, en efecto, que la biología sintética es el rostro visible de lo que en los estudios sobre la ciencia llamamos tecnociencia. A continuación profundizaré en la cuestión. Pero primero tengo que señalar que el término «sintético» tiene también otro significado que es totalmente crucial en este asunto, pero que gira alrededor de un eje bastante diferente. En este caso, lo contrario de sintético no es analítico sino real, auténtico, natural, mientras que la referencia de sintético es algo irreal, fingido, artificial, falso. Como el título de un artículo de la revista *New Scientist* nos da a entender, las actividades que se están realizando actualmente en nombre de la biología sintética pueden llevar a un «segundo Génesis» que nos dé la vida, pero no vida tal como la conocemos. Vida sintética. Del mismo modo, el campo al que se hace referencia no es la biología, sino la biología sintética.

## ¿TECNOCIENCIA O BIOLOGÍA ARTIFICIAL?

Esos dos significados de biología sintética –primero como epítome de la tecnociencia y segundo como una biología artificial alternativa– dominan la mayoría de las diferentes actividades, por no decir todas, que se realizan actualmente en ese ámbito, y están profundamente interrelacionadas. Trataré de presentar algunas de las manifestaciones de ese conglomerado en tres ejemplos muy diferentes de biología sintética, uno actual y dos históricos. Pero primero quiero empezar con un breve aparte: unas observaciones a modo de digresión sobre el significado y las connotaciones del término «tecnociencia». El término, que el filósofo belga Gilbert Hottois acuñó inicialmente a finales de los años 70, cobró posteriormente popularidad en el ámbito de los estudios sobre la ciencia con Bruno Latour,

Donna Haraway y muchos otros. Pasó a utilizarse para subrayar el carácter ilusorio de la división tradicional entre representar e intervenir, mirar y tocar, ciencia pura y aplicada, y para eliminar dicha división. Fue una intervención evidentemente polémica, destinada a demoler el mito de la ciencia pura y recomendar que a partir de ese momento no habláramos de ciencia e ingeniería (o ciencia y tecnología), sino solo del mundo real de la tecnociencia.<sup>1</sup>

Yo misma participé en esa desmitificación, sosteniendo que no era posible representar sin intervenir, ni mirar sin tocar y que, además, la evocación de la división era en sí misma una forma de intervenir, si no en el mundo físico, ciertamente en el mundo social. Mi ejemplo favorito de la complicada labor cultural y política que esa división llevaba a cabo era la clásica imagen de Albert Einstein, el símbolo de la ciencia pura, yuxtapuesta a su creación,  $E=mc^2$ , un icono también clásico, pero no precisamente de ciencia pura.

Es más, mi argumento era que la dicotomía de la relación entre ciencia pura y aplicada era una pieza fundamental de la política de financiación de la ciencia básica durante el período de la posguerra: era necesario financiar la ciencia básica (o pura) por las aplicaciones que nos facilitaría, en concreto por la potencia militar que sustentaría. Pero para mí este argumento no era fácil. Pertenezco a una generación que nació y creció con el sueño de una ciencia pura. En efecto, me llevó a la física la fantasía de crear un mundo a partir del pensamiento puro, la creencia de que el mundo físico era, al menos, comprensible, si se ponía el empeño en ello. Me sentí profundamente identificada con Rosalind Franklin cuando en el documental *The race for the double helix* se la citaba diciendo: «Solo quiero mirar, no quiero tocar». Por lo tanto para mí reconocer que ese sueño era una quimera fue desgarrador.

Sin embargo, hoy en día no utilizamos el término «tecnociencia» en el sentido de intervención política/intelectual, o como una declaración de desilusión, sino simplemente como la caracterización de cómo son las cosas. Es más, la naturalidad, la facilidad, con la que hablamos actualmente de la tecnociencia no es simplemente un testimonio de la agudeza de los estudiosos sobre la ciencia, sino más bien de los cambios reales acaecidos en las tres últimas décadas en la forma de llevar a cabo las actividades científicas y técnicas en nuestras instituciones académicas. Por muy adecuado que fuera el término para describir dichas actividades en el pasado, no cabe duda de que tecnociencia ha pasado a ser una palabra que describe cada vez mejor el estado actual de las cosas. Nuestras instituciones se reorganizan en nuevas configuraciones, las fronteras tradicionales de las disciplinas se difuminan, y la división clásica entre ciencia y tecnología es cada vez menos significativa para las nuevas generaciones de científicos en activo.

Recuerdo como un ejemplo revelador el debate sobre el acceso de Frances Arnold a la División de Química e Ingeniería Química en Cal Tech hace unos años. Arnold es conocida por su innovador trabajo en evolución dirigida, que ella misma describe del siguiente modo:

Estamos utilizando métodos de evolución en el laboratorio para generar enzimas y organismos nuevos que puedan utilizarse para aplicaciones en medicina y en las energías alternativas. Construimos familias sintéticas completas de enzimas con objeto de estudiar las relaciones entre estructura y función sin las limitaciones de la selección natural.

La disputa sobre su contratación giraba en torno a la pregunta de si esto era o no ciencia, una pregunta planteada por (al menos algunos de) los miembros más antiguos del comité. Los miembros más jóvenes, que según parece se impusieron, no veían razón para formular la pregunta. En los años que han pasado desde entonces, el grueso de la comunidad científica también parece haber rechazado la pregunta. Hoy en día, Arnold es miembro de la Academia Nacional de Ciencias y en 2007 recibió el premio a la «Excelencia en Ciencia», concedido por la Federación de Sociedades Americanas de Biología Experimental (FASEB). En otras palabras, lo que para mí fue un crudo despertar, hoy en día parece ser para muchos una observación banal.

Ahora bien, puede que el péndulo haya ido demasiado lejos. Aunque quizá no se pueda mirar sin tocar –o incluso podría decirse que no es posible– no se deduce que mirar y tocar sean lo mismo. Tal vez no sea posible establecer una distinción clara entre ciencia e ingeniería –ciertamente es imposible separar acción y conocimiento– pero sugiero que la disolución radical de todas esas distinciones borra mucho más que las fronteras de las disciplinas. Borra las distinciones entre una serie de objetivos conceptuales que tal vez no encajen en las fronteras antiguas, pero quizá lo hagan de otros modos que sea necesario establecer. Puede que en ningún otro aspecto aflore mi inquietud con más claridad que al pensar en la nueva interdisciplina de la biología sintética: como ya he apuntado, un conjunto de actividades que pueden ilustrar *par excellence* hasta qué punto las antiguas divisiones entre ciencia y tecnología se han evaporado. Probablemente sea justo decir que no hay ninguna disciplina unitaria, pero la expresión «biología sintética», tal como se usa hoy en día, hace referencia a un conjunto especialmente amplio de iniciativas que incorporan un conjunto igualmente amplio de objetivos y que por tanto mantienen relaciones diversas con actividades generalmente enmarcadas en la disciplina de la biología. Propongo que, para contestar la pregunta de la relación entre la biología sintética y la biología, sería útil tratar de separar los diversos objetivos.

## LA BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO INGENIERÍA BIOLÓGICA

Mi primer ejemplo es la rama de la biología sintética que ha llegado a acaparar la atención de los medios de comunicación, y que es la más cercana en espíritu a lo que solíamos llamar ingeniería. No deja de ser una ironía que haya sido Richard Feynman quien, sin proponérselo, haya creado el lema de esa rama de la nueva interdisciplina: «Lo que no puedo crear, no lo entiendo».

Esa frase quedó escrita en la pizarra de Feynman cuando murió y se cita en un buen número de artículos sobre biología sintética. De hecho, en muchos de esos artículos aparece como un destacado epigrama, un lema que reclaman prácticamente todos los científicos. Obsérvese que es muy similar a la cita de Forster y Church, pero es la versión de Feynman la que se evoca, no la de Forster y Church, y la razón es sin duda el peso adicional que otorga a la afirmación el prestigio de un físico teórico que ha recibido el premio Nobel. No acabo de entender lo que quería decir Feynman con esa observación, pero debe decirse que no deja de ser irónico que la biología sintética la haya hecho suya. Para varias generaciones de estudiantes de física, Feynman también fue, junto con Einstein, el científico puro por antonomasia, el investigador que trata de entender el mundo no por construcción sino por deducción, razonando siempre a partir de principios fundamentales. En efecto, fue la visión de Feynman del poder del pensamiento científico –así como el «placer de descubrir cosas»– lo que más directamente inspiró mi propia fantasía de lo que significaba ser físico teórico.

Sin embargo, no es por el poder del pensamiento, ni siquiera el eros del conocimiento, por lo que se le invoca aquí. El contexto principal en el que la frase de Feynman tiende a utilizarse es la visión particular de la biología sintética que más activamente promulgaba Drew Endy, antiguo profesor del MIT y ahora de Stanford; la visión más alejada de los objetivos de la física teórica que pueda imaginarme, y que pueda encarnar el credo de construir en tanto que saber (o saber en tanto que construir) en su forma más radical, es decir, en una forma que prescinde de los aspectos epistemológicos de la afirmación: aquí, saber *es* construir, y nada más. Drew Endy merece que se le reconozcan sus méritos, en particular las campañas de relaciones públicas que han catapultado su visión de la biología sintética hacia una posición tan prominente (o incluso dominante) en los debates actuales sobre el asunto.

Endy tiene formación no de biólogo sino de ingeniero, y no se avergüenza de ello. Hace poco, en una entrevista concedida a la revista digital *Edge*, explicó su visión como un corolario de la pregunta: «¿Cómo puedo hacer que sea fácil aplicar la ingeniería a la biología?» Frustrado porque consideraba que no se había logrado hacer realidad la promesa inicial de la biotecnología, lamentaba el hecho de que: «tras treinta años de biotecnología, a pesar de todos los éxitos y de tanta atención y coba, seguimos siendo incapaces de aplicar la ingeniería al mundo vivo».

Si miramos la sala en la que estamos, todo lo que hay en ella es un artefacto sintético o fabricado, ¿verdad? Esto, la madera misma, los distintos materiales, incluso el aire que respiramos, son el resultado de una combinación para lograr una temperatura y humedad determinadas, para que nos sea más fácil asimilarlo (...). Lo único que no es un producto de la ingeniería son los seres vivos, nosotros mismos. (*Edge*, 2008)

Y se comprometió a reparar ese problema. No quiere hablar del asunto, quiere pasar a la acción. No quiere que sea un proyecto de investigación, sino un proyecto de ingeniería.

La visión de Endy tiene dos partes: su primera idea fue que para que sea fácil aplicar la ingeniería a la biología, tenía que ser posible para todos. Y segundo, que la mejor forma de lograr ese objetivo es tomar inspiración de William Sellers, del Instituto Franklin de Filadelfia quien en 1864 presentó un sistema para fabricar de forma más eficiente tuercas y tornillos basado en la Norma Sellers para el tornillo de rosca (un tornillo normalizado muy fácil de fabricar), lo que revolucionó las fábricas de tornillos estadounidenses, que pasaron a fabricar tornillos y tuercas de conformidad con la Norma Sellers.

La consecuencia para el presente, como observa Endy, es que:

(...) Cuando voy a la ferretería a comprar una tuerca y un tornillo (...) puedo coger esos dos objetos y juntarlos (...). No necesito consultar a ningún catedrático de Harvard. Ni llevar a cabo un experimento controlado para ver si mi primer experimento ha funcionado. Simplemente cojo los dos objetos y los junto. (Edge, 2008)

Endy reconoce que fue Tom Knight del MIT quien le señaló: «estaría bien disponer de piezas biológicas normalizadas que encajaran y se comportaran como se espera que lo hagan cuando las juntamos» (Edge, 2008). Adiós al experimento y a la teoría, abran paso al diseño y la producción normalizados. El resto, como dicen, es historia. Las dos principales contribuciones de Endy son muy conocidas: su papel, primero, en la organización del increíblemente popular concurso internacional iGEM (*international Genetically Engineered Machine*) y, segundo, en la organización de una comunidad dedicada a la producción de módulos normalizados (*biobricks*).

Pero la pregunta sigue en pie: ¿qué relación tienen la versión de Endy de la biología sintética y la biología? Se me ocurren dos conexiones obvias:

- la formación de un elevado número de estudiantes en técnicas para determinados tipos de manipulaciones biológicas, y
- el desarrollo de módulos de nucleótidos que pueden ser útiles en algunos tipos de experimentos biológicos.

Ahora bien, esta es la función que normalmente desempeña el desarrollo tecnológico en cualquier ciencia. Por lo que respecta a la función de la biología sintética para entender la organización de sistemas biológicos tal como los conocemos, según el mismo Endy, es nula. La biología sintética no tiene por objeto entender los organismos en su evolución, sino posiblemente, añade, entender cómo volver a construir esos organismos para servir mejor y de forma más eficiente a nuestros fines como usuarios humanos. Aquí, el objetivo es utilizar el conocimiento de las partes biológicas que arranca de la ciencia biológica tal como la conocemos para poner en marcha una biología alternativa: la biología sintética. Sin embargo, no queda claro de qué manera, de haberla, nuestra experiencia en la biología sintética

contribuye a comprender mejor la biología tradicional. Su objeto es más bien ampliar nuestro universo conocido para incluir entidades vivas que no son producto de la evolución, sino del diseño. En otras palabras, la ingeniería, tal como solíamos entender ese término antes de que se incorporara a la tecnociencia: lo novedoso es su aplicación a organismos completos. Por supuesto, Endy no ha sido el primero en concebir la biología ingenieril ni la ingeniería biológica, pero no creo que yo hubiera podido inventar un ejemplar, ni un defensor, más puro del ideal tecnológico.

## LA BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO CREADORA DE VIDA

Virando hacia una corriente más histórica, podríamos recordar las contribuciones de Jacques Loeb a lo que en su momento se denominó «vida artificial», y el revuelo que causó ese trabajo. Philip Pauly ha descrito a Loeb como: «el mayor defensor público de lo que podría calificarse como el punto de vista técnico en biología» (1987a: 5) del período entre 1890 y 1915. Ahora bien, entre Loeb y Endy se aprecia una diferencia considerable, lo que sugiere que, en sí mismo, el punto de vista técnico aloja múltiples objetivos. Dos destacan en particular: la creación y la eficiencia. Los objetivos de Loeb parecen centrarse más bien en lo primero que en lo segundo; que yo sepa, Loeb no parecía demasiado interesado en la eficiencia, solo en el poder creativo del hombre. Como él mismo dejó escrito: «Ahora me ronda por la cabeza la idea de que el hombre puede hacer de creador, incluso en la naturaleza viva, moldeándola finalmente según su voluntad».

El interés de Loeb no era el origen de la vida, sino la reproducción, y su empeño en lo que él denominaba «crear vida» era modesto visto desde la perspectiva actual. Quizá el hecho de que se centrara en la fecundación, y en la posibilidad de crear vida sin mediación de sexo, junto con las perspectivas que ello sugería de nuevos modos de reproducción, debió de hacer su objeto de estudio especialmente interesante. En cualquier caso, tanto la prensa como el mismo Loeb interpretaron su trabajo como un importante paso hacia una biología técnica. Como escribió E.B. Wilson, el trabajo de Loeb: «abría diversas posibilidades manipulativas: de controlar el sexo y “crear formas orgánicas totalmente nuevas variando ligeramente las condiciones de desarrollo”». Y en las propias palabras de Loeb:

Hemos dado un paso importante para acercarnos a la teoría química de la vida y puede que veamos por delante de nosotros el día en que un científico que experimente con productos químicos en un tubo de ensayo pueda ver cómo se unen y forman una sustancia que estará viva y se moverá y se reproducirá. (Citado en Pauly, 1987b).

En efecto, Loeb dejó un lema parecido al de Feynman cuando escribió: «Debemos conseguir producir artificialmente materia viva, o debemos encontrar las razones por las que es imposible hacerlo».<sup>2</sup>



Ahora bien, por muy comprometido que estuviera Loeb con la visión de una biología técnica, su actividad primera y principal no era la ingeniería, de hecho no tenía formación alguna de ingeniero. Era biólogo y, aunque se entusiasmaba ante la perspectiva de manipular la vida o la reproducción, su objetivo principal era entender ese proceso, en el mismo sentido de entender que utilizan los modernos especialistas en biología molecular. En efecto, puede incluso que Loeb pueda tomarse como ejemplo del biólogo contemporáneo para quien explicar ha pasado a ser prácticamente sinónimo del análisis de lo que el filósofo R. G. Collingwood, siguiendo a Aristóteles, denominó «causa práctica». Como Collingwood escribió: «La “condición” que llamo la causa (...) de un suceso en el que tengo un interés práctico es la condición que puedo producir o impedir a voluntad» (Collingwood, 1940: 302). O como Philip Sharp, del MIT, me dijo una vez, cuando le propuse un seminario sobre los significados de «explicación» en la biología del desarrollo: «¿Cuál es la pregunta? Entenderé el desarrollo biológico cuando pueda reproducirlo en el laboratorio». En la actualidad, como ya he mencionado, la expresión «biología sintética» abarca un territorio muy amplio, pero en mi opinión los objetivos de al menos parte de ese territorio se corresponden bastante estrechamente con los de biólogos como Loeb, o como Sharp.

## LA BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO DISCIPLINA PARA ENTENDER LA VIDA

Mi último ejemplo cuenta una historia diferente. Stéphane Leduc, contemporáneo de Loeb, era un biofísico que trabajó en Nantes en la primera parte del siglo XX y sobre el que escribí en mi libro *Making sense of life* (Fox Keller, 2002). Por lo que he leído de él, a Leduc no le interesaba la eficiencia, ni doblegar la vida a su voluntad. De hecho, parece haber manifestado poco o ningún impulso técnico. Más bien, trataba de entender el origen de la vida de manera gradual por la simulación de construcciones cada vez más «semejantes a la vida» a partir de simples precipitados químicos. Invoqué a Leduc en *Making sense of life* para ilustrar una noción de explicación que parecería totalmente absurda a los lectores contemporáneos. Hoy, sin embargo, quiero volver a él para ilustrar un objetivo epistemológico que podríamos reconocer como teóricamente legítimo, aunque surja muy rara vez en las investigaciones actuales de la ingeniería o la biología.

Puede que Leduc acuñara el término o no, pero su publicación en 1912 de *La biologie synthétique* se adelantó en casi un siglo a la terminología actual. Los ejemplos recogidos en ese libro (y en sus otras publicaciones) eran bastante sorprendentes y, en la época, llamaron mucho la atención. Por ejemplo, en *The mechanism of life* (1911) propuso una explicación de la división de células artificiales, producida solamente con productos químicos inorgánicos.<sup>3</sup> Él mismo lo explicó así:

Cubrimos una placa de cristal perfectamente horizontal con una solución semisaturada de nitrato potásico que representa el citoplasma de la célula. El núcleo del centro se reproduce con una gota de la misma solución coloreada con un poco de tinta india, cuyas partículas sólidas representarán los gránulos de cromatina del núcleo. Al añadir la tinta india se habrá reducido ligeramente la concentración de la gota central, lo que concuerda con la naturaleza, ya que la presión osmótica del núcleo es algo menor que la del plasma. A continuación ponemos a ambos lados de la gota que representa el núcleo una gota coloreada de una solución más concentrada que la del citoplasma. Las partículas de tinta india de la gota central se reordenan en una cinta larga y coloreada, de aspecto perlado. (1911:93)

Y concluyó: «La similitud de estos fenómenos sucesivos con los de la cariocinesis es muy estrecha. El experimento muestra que la difusión es suficiente para producir cariocinesis orgánica, y que la única fuerza necesaria es la de la presión osmótica» (1911: 94).

Igualmente, utilizando técnicas similares consiguió producir organismos artificiales: «Cuando una sustancia soluble presente en una solución concentrada se sumerge en un líquido con el que forma un precipitado coloidal, su superficie queda recubierta por una fina capa de precipitado que forma gradualmente una membrana osmótica a su alrededor» (1911: 94).<sup>4</sup> El aumento de la presión osmótica da lugar a un «crecimiento osmótico». Leduc describe el efecto del siguiente modo:

La primera célula produce una segunda célula o vesícula y ésta una tercera, y así sucesivamente, de modo que finalmente obtenemos un conjunto de cavidades celulares microscópicas, separadas por muros osmóticos: una estructura totalmente análoga a la que encontramos en un organismo vivo. (1911: 124)

En efecto, utilizando diversas sales metálicas y silicatos alcalinos (por ejemplo, ferrocianuro de cobre, potasa y fosfato de sodio), y ajustando sus proporciones y la fase de «crecimiento» en que se añadían, Leduc produjo numerosos efectos verdaderamente espectaculares: estructuras inorgánicas que exhibían una gran similitud con el crecimiento y las formas de la vida vegetal y marina ordinaria.

Resultó ser posible producir, por «medios adecuados», «órganos terminales que se asemejaban a flores y vainas», «formas coralinas», formas de concha y:

(...) Curiosas formas semejantes a hongos. (...) Con sales de manganeso, el cloruro, citrato o sulfato, se distinguen las fases de la evolución del crecimiento no solo por la diversidad de formas, sino también por las modificaciones de color. (...) Pueden obtenerse crecimientos muy bellos sembrando cloruro cálcico en una solución de carbonato potásico y añadiendo un 2 por ciento de una solución saturada de fosfato potásico tribásico. Con esto se lograrán cápsulas con una especie de cinturones, líneas verticales a intervalos regulares o franjas transversales formadas por puntos salientes como los que se observan en muchos erizos de mar. (1911: 133)

Algunos de los «organismos» osmóticos de Leduc también exhibían una capacidad aparente de «flotar libremente» y reproducirse:

Con frecuencia una sola semilla o cepa dará lugar a toda una serie de crecimientos osmóticos. Primero se produce una vesícula y a continuación aparece una contracción a su alrededor. Esta contracción aumenta hasta que una porción de la vesícula queda separada y flota libremente como una ameba. (1911: 140)

¿Qué fin tenían o tienen estos ejercicios? El objetivo de Leduc era demostrar la continuidad entre la materia viva y la no viva y, en sus propias palabras, hacerlo gradualmente. Obviamente, no se trataba de organismos vivos. Pero sí que cerraban la brecha con los organismos vivos en una dimensión: el aspecto físico. Es decir, Leduc había demostrado que las estructuras que se parecían a las formas de organismos vivos –al menos en el aspecto físico exterior– *podían* surgir espontáneamente, a partir de la materia inanimada, sin la ayuda de una deidad creadora o una fuerza vital. No se trata de algo banal. Si la morfología externa de los organismos vivos se considera una propiedad que no ha podido explicarse a partir de lo que sabemos de los sistemas físico-químicos, entonces aquí tenemos una explicación de cómo *podría haber llegado* a ser. No es una explicación de cómo surgen las formas biológicas, sino una demostración de que dichas formas *pueden* emerger, en principio, sin ayuda de ningún tipo de fuerza vital.

En cierto sentido lo anterior no difiere tanto de la explicación de Turing (1952) de la morfogénesis como difusión-reacción: también él ofreció una demostración de cómo podían darse la diferenciación y la morfogénesis. Una vez más, no de cómo se produce, sino al menos establecer que puede producirse. La única diferencia es que la demostración de Turing era matemática más que experimental.

Tampoco difiere mucho de las tentativas contemporáneas en la química supramolecular de sintetizar estructuras complejas por autoensamblaje. De hecho, sospecho que el interés actual en las posibilidades sintéticas del autoensamblaje de moléculas grandes contribuyó a empujar la iniciativa de un grupo de investigadores de París y Ginebra para reproducir los resultados de Leduc.

En el análisis de la obra de Leduc recogido en mi libro, di a entender con toda claridad que su rama particular de la biología sintética no tiene nada que ver con la biología que se practica hoy en día, pero ya no estoy tan segura de ello. Ciertamente, es difícil imaginar un lugar para esas actividades en los trabajos contemporáneos para entender la morfogénesis, pero hay otros fenómenos biológicos en los que estaría dispuesta a sugerir que trabajos como los de Leduc podrían tener una función legítima, e incluso una función importante, hoy en día. En concreto pienso en los problemas del origen de la vida. Puede que el surgimiento de formas ya no nos deje perplejos, pero otras propiedades, quizá más intrínsecamente biológicas, ciertamente siguen sin tener una explicación plausible. ¿Cómo, por ejemplo, podemos dar cuenta de la evolución espontánea de

la función, el propósito o la agencia? Para cuestiones de esa naturaleza, quiero sugerir que las manipulaciones que vimos en Leduc, y que ahora vemos en la química supramolecular, pueden desempeñar una función teórica: es decir, aquí tenemos un ejemplo de las formas en que las manipulaciones manuales y experimentales pueden agitar, provocar, la imaginación teórica. Ello nos lleva a comprender no cómo evolucionó la vida, sino cómo podría haber evolucionado: una solución en principio, exhibida en el laboratorio o, como es más frecuente hoy en día, en el ordenador, pero de tal naturaleza que podría desempeñar el mismo tipo de función que los modelos matemáticos (en principio) han desempeñado en la historia de la física teórica, es decir, como una guía para el pensamiento. En otras palabras, sugiero una función conceptual servida por determinados tipos de construcción física que está más cerca de la labor teórica tradicional que de los objetivos tradicionales de la ingeniería. Puede que dichas actividades no hayan desempeñado una función demasiado importante en la investigación biológica en el pasado, pero quizá lo hagan en el futuro, especialmente cuando las cuestiones sobre el origen de la vida vuelven a formar parte legítima de la ciencia biológica. O, dicho de otra forma, puede que la rama de la biología sintética de Leduc tenga una relación con lo que llamamos biología de sistemas que se desenvuelve alrededor de un eje diferente del que propuse anteriormente: no tanto conceptual frente a material, o ciencia frente a ingeniería, sino más bien real frente a posible.

## ENTENDER NO, CAMBIAR SÍ

Ahora bien, solo porque yo defienda una función conceptual para dichas iniciativas no significa que no se produzcan también consecuencias prácticas. La labor centrada en la creación de células artificiales y en la dinámica de autoensamblaje puede claramente, y de hecho lo hace, servir otros fines, fines que no tienen nada que ver con entender la vida tal como la conocemos, y que sería difícil, si no imposible, distinguir de objetivos técnicos más tradicionales. Por citar un artículo publicado en *New Scientist* titulado «Second Genesis: Life, but not as we know it»: «Un sistema vivo sintético, fabricado por encargo, podría incluso servir como una línea de montaje adaptable, autosuficiente y automejorable para producir de todo, desde productos farmacéuticos a petroquímicos». O, podríamos añadir, armas biológicas. La carrera ha comenzado y los beneficios son pingües. O quizá debería decir que las carreras han comenzado. Puesto que los objetivos son múltiples. No solo los investigadores del autoensamblaje y las células mínimas tienen la mirada puesta en usos prácticos, sino también los investigadores de los genomas mínimos (como Craig Venter) o la construcción modular (como Drew Endy). Como observa Jay Keasling, los investigadores buscan: «el desarrollo de componentes biológicos bien caracterizados que puedan ensamblarse con faci-

lidad en sistemas y dispositivos funcionales más grandes para conseguir muchos objetivos concretos». <sup>5</sup> Para la creación de vida artificial, David Deamer predice que faltan entre 5 y 10 años. Otras metas, quizá menos ambiciosas, son ya realidad. Puede que el éxito de estas iniciativas no mejore nuestra comprensión de la biología, pero sí que cambia nuestro mundo, y seguirá haciéndolo. Cuando dichos cambios nos ayudan a curar el cáncer (como promete parte del trabajo de Adam Arkin), los aceptamos; cuando aumentan el riesgo de bioterrorismo, los deploramos. Puede que la biología sintética no sea una disciplina unitaria ni un único campo, pero muchas de las iniciativas incluidas en esa expresión plantean cuestiones que deben preocuparnos a todos, seamos biólogos o no.

Pero también aquí los problemas no son nuevos. Como sabemos por experiencia, frecuentemente se plantean inquietudes similares con la llegada de nuevas tecnologías. Sin duda alguna, necesitamos elaborar un «código deontológico y normativo» –como lo describe George Church– para regular las promesas y los peligros a los que nos enfrentamos, un código que satisfaga con eficacia las dificultades particulares de la ingeniería biológica. Es cierto que nuestro poder para cambiar el mundo ha aumentado exponencialmente, pero aun así quizá todavía podamos aprender algo de la historia.

Traducción de Pilar Aguilar

## NOTAS

1. Para un análisis más exhaustivo del concepto de tecnociencia, véase Bernadette Bensaude Vincent, «Technoscience and convergence: A transmutation of values?» (2008).
2. Texto procedente de una conferencia que Loeb dio en Hamburgo en 1911 (posteriormente publicado en *Popular Science Monthly*, y reimpresso en *The mechanistic conception of life* (University of Chicago Press, 1912).
3. La misma explicación, y las mismas ilustraciones, habían aparecido también en su libro de 1910 *Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées*.
4. Como él mismo explica: «Pueden producirse células osmóticas especialmente bellas depositando un fragmento de cloruro de calcio fundido en una solución saturada de carbonato potásico o fosfato potásico tribásico, tras lo cual el cloruro de calcio queda rodeado por una membrana osmótica de carbonato de calcio o fosfato de calcio» (1911: 124).
5. Ponencia de Keasling en la conferencia sobre biología sintética 2.0, celebrada en la Haas Business School de la Universidad de California, Berkeley (vídeo disponible en: [http://webcast.berkeley.edu/event\\_details.php?webcastid¼15766](http://webcast.berkeley.edu/event_details.php?webcastid¼15766)).

## RECONOCIMIENTOS

Una primera versión de este artículo se expuso en la Conferencia sobre Biología Sintética, ENS, París, organizada por Michel Morange, el 16 de abril de 2009.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLLINGWOOD, R. G. (1940): *An essay on metaphysics*, Oxford, Oxford UP.
- EDGE (revista digital) (2008): Engineering biology: A talk with Drew Endy. URL (consultado en julio de 2009): [http://www.edge.org/3rd\\_culture/andy08/andy08\\_index.html](http://www.edge.org/3rd_culture/andy08/andy08_index.html)
- FORMAN, P. (2007): «The primacy of science in modernity, of technology in postmodernity and of ideology in the history of technology», *History and Technology*, 23, 1–152.
- FORSTER, A. C., y CHURCH, G. M. (2007): «Synthetic biology projects in vitro», *Genome Research*, 17, 1 Abril, 1–6.
- FOX KELLER, E. (2002): *Making sense of life: Explaining biological development with models, metaphors and machines*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- LEDUC, S. (1910): *Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées*, París, A. Poinat.
- LEDUC, S. (1911): *The mechanism of life*, traducción al inglés de W. D. Butcher, Nueva York, Rebman Co., y Londres: Heinemann.
- PAULY, P. J. (1987a): *Controlling life: Jacques Loeb and the engineering ideal in biology*, Oxford, Oxford University Press.
- PAULY, P. J. (1987b): The invention of artificial parthenogenesis», En *Controlling life: Jacques Loeb and the engineering ideal in biology*, cap. 5. Disponible en línea, URL (consultado en julio de 2009): <http://8e.devbio.com/article.php?id¼72>
- TURING, A. M. (1952): «The chemical basis of morphogenesis», *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, B237, 37–72.
- VINCENT, B. B. (2008): *Technoscience and convergence: A transmutation of values?*, Ponencia presentada en la Escuela de Verano sobre 'Ethics of Converging Technologies', 21–26 septiembre, Alsfeld, Alemania, URL (consultado en julio de 2009): <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/08/04/PDF/06BBV.pdf>

.....

**EVELYN FOX KELLER** se licenció en la Universidad Brandeis (Física, 1957) y se doctoró en la Universidad de Harvard (Física, 1963). Llegó al MIT procedente de la Universidad de California, Berkeley, donde fue catedrática en los Departamentos de Retórica, Historia y Estudios de la Mujer (1988–1992). Ha recibido numerosos reconocimientos académicos y profesionales, en particular la Cátedra de Investigación Blaise Pascal de la Préfecture de la Région d’Île-de-France para 2005–2007, período que pasó en París, y ha sido elegida miembro de la American Philosophical Society y la American Academy of Arts and Science. La investigación que lleva a cabo se centra en la historia y la filosofía de la biología moderna y en la relación entre las cuestiones de género y la ciencia. Es autora de varios libros, entre los cuales *A feeling for the organism: The life and work of Barbara McClintock* (1983), *Reflections on gender and science* (1985), *The century of the gene* (2000) y *Making sense of life: Explaining biological development with models, metaphors and machines* (2002). Fox Keller fue entrevistada por PASAJES en 2003 (núm. 12). Actualmente forma parte del programa de Ciencia, Tecnología y Sociedad en el MIT.

Artículo publicado en inglés en *BioSocieties* (2009) 4. © London School of Economics and Political Sciences.