



1. La biología sintética: desafíos éticos, políticos y socioeconómicos

Biología sintética: entre la ingeniería biológica y la bioeconomía

Jordi Maiso

En un comienzo de milenio marcado por perspectivas de estancamiento y pesimismo, la biología sintética emerge como un nuevo campo capaz de concentrar grandes promesas y aun mayores inversiones. El principal objetivo de esta disciplina emergente, situada en la interfaz entre biología e ingeniería, es el diseño y la fabricación de sistemas biológicos “a la carta”. Actualmente, el principal objetivo de investigación en biología sintética es sentar las bases para llevar a cabo una ingeniería robusta capaz de diseñar sistemas vivientes que respondan a propósitos humanos, permitiéndonos obtener prácticamente cualquier cosa a partir de la materia viviente. De este modo, la biología sintética se revelaría una pieza clave para implantar el modelo de bio-economía promulgado por la UE y la OCDE (Comisión Europea, 2010; OCDE, 2009). De ella se esperan toda una nueva gama de aplicaciones y productos industriales, pero también respuestas que ayuden a frenar el cambio climático y contrarrestar la dependencia de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) con tecnologías “verdes”, basadas en el uso industrial de biomasa como materia prima; en definitiva, la biología sintética prometería poder garantizar en un futuro no muy lejano una especie de feliz matrimonio de crecimiento económico y sostenibilidad ambiental.

“*Diseñar y fabricar lo viviente*”: Este es el eslogan con el que se presenta en público la biología sintética, una disciplina en plena expansión que combina conocimientos de la biología y principios de la ingeniería para fabricar en el laboratorio sistemas biológicos que no existen en la naturaleza o para rediseñar y modificar sistemas biológicos ya existentes. De acuerdo con ello, la biología sintética es ante todo una técnica de producción material. A diferencia de la ingeniería genética “tradicional”, su propósito no es tanto recombinar la información genética de organismos existentes, sino diseñar y crear formas de vida parcial o totalmente artificiales.

La asunción de partida es que sería posible diseñar sistemas biológicos complejos del mismo modo en que se diseñan máquinas y artefactos técnicos: todo organismo biológico podría ser entendido como un conjunto de elementos funcionales relacionados entre sí. Se trata de un acercamiento a la biología con unas herramientas y un lenguaje importados de los circuitos electrónicos y la ingeniería mecánica. El ADN sería el *software* que instruye al *hardware* del organismo vivo, a su maquinaria celular, el modo en que crecer, funcionar y desarrollarse y, por tanto, el organismo puede ser “re-programado” para que desempeñe determinadas funciones. Esto permitiría “programar” los organismos, crear formas de vida “cortadas a medida” para que realicen determinadas funciones. De acuerdo con ello, en sentido estricto no puede afirmarse que la biología sintética haga realidad el viejo sueño de “fabricar vida”; pero es cierto que, frente a la ingeniería genética “clásica”, permite una intervención de mayor calado, hasta alterar radicalmente los procesos moleculares y la estructura organizativa de los organismos.

El punto de partida sería el diseño de “circuitos biológicos” basados en el ADN; es decir, pequeñas secuencias de genes que codifican una función precisa y pueden ser implementadas en un organismo para “programarlo” para que lleve a cabo determinadas tareas (p.e. producir una determinada proteína o desactivar una función celular). A partir de la implementación de estos “circuitos biológicos” y de la modificación y el control de los genes reguladores, sería posible transformar el comportamiento y la lógica funcional de los organismos de acuerdo con un diseño. En último término, se trata de imitar el funcionamiento de los artefactos electrónicos hasta dar lugar a sistemas computacionales complejos de carácter biológico, como organismos provistos de un chip que los programa para reaccionar ante determinados escenarios. En definitiva, la biología se fundiría así con la tecnología. Esto permitiría rebasar los límites de las formas de vida existentes en la naturaleza para crear formas de vida “a la carta”. Por eso se ha hablado de la biología sintética como de una “ingeniería genética extrema” (Grupo ETC, 2007)¹.

El ideal de la bioingeniería

El objetivo explícito en la agenda de investigación es que la referencia a la ingeniería deje de ser una mera metáfora (como ocurría aún en la ingeniería genética) y pase a convertirse en un método con el que construir sistemas biológicos complejos de forma intencional.

La técnica de síntesis artificial de ADN es cada vez más barata y sencilla, y permite sintetizar genomas de especies que han desaparecido –por ejemplo el virus de la gripe española de 1918/1919, sintetizado en 2005– o introducir un genoma modificado en una célula –como hizo el equipo de Craig Venter en

¹/ El presente trabajo se encuadra en el proyecto de investigación FP 7 “Standardization and orthogonalization of the gene expression flow for the robust engineering of NTN (new-to-nature) biological properties” (St-Flow).

2010—. La convergencia de conocimientos de biología molecular, ingeniería, nanobiotecnología y tecnologías de la información ha convertido el material genético en algo perfectamente accesible, que es posible recombinar y reestructurar de acuerdo con determinados fines; esto pone en manos de los científicos y de las entidades financiadoras “*un gran poder y una gran capacidad de hacer distintos desarrollos*” en materia de biotecnologías (de Lorenzo, 2004, p. 17). El interés en convertir la biología en objeto de ingeniería responde a la exigencia de explotar este poder y maximizar la eficiencia de la intervención técnica sobre el material biológico, ya que se trata de poder obtener “*todo lo que queremos fabricar a partir del mundo vivo*” (Endy, 2012, p. 254). Aplicando los principios ingenieriles de estandarización, desacoplamiento y distinción de diferentes niveles de abstracción para poder operar con la complejidad de los sistemas biológicos (Endy, 2005), la ingeniería biológica aspira a crear “*máquinas vivientes*” con un comportamiento susceptible de ser programado y pronosticado de antemano. En definitiva, se trata de que los organismos diseñados funcionen con una fiabilidad propia de los artefactos mecánicos. Con este propósito, los dos grandes objetivos de la bio-ingeniería son la estandarización y la ortogonalización.

- La estandarización permitiría racionalizar los procesos de producción. En ingeniería el ejemplo clásico es el diseño de la rosca estándar Sellers, que permitió unificar la producción de tornillos y tuercas en la segunda mitad del siglo XIX, lo que permitiría un verdadero vuelco en la producción industrial. En biología sintética, la modalidad más conocida es la estandarización de partes biológicas o *biobricks*, entendidas como “*módulos de construcción*” para el ensamblaje de secuencias de ADN. Se trata de partes intercambiables, que codifican determinadas funciones genéticas bien caracterizadas, y pueden irse ensamblando hasta dar lugar a secuencias más complejas, como en un Lego biológico. La estandarización permitiría crear “*cajas de herramientas*” en las que los diferentes componentes puedan ser reutilizados, recombinados o intercambiados, facilitando así el paso a la producción industrial.
- Ortogonalización: permite que las diferentes funciones implementadas en un organismo no interfieran entre sí ni afecten al resto de funciones celulares. Esto permitiría prever interacciones, reacciones y evoluciones no deseadas. Sin embargo, entre los biólogos existe diversidad de pareceres sobre si este principio, tomado de la ingeniería, puede aplicarse a material viviente, sujeto a evolución, interacciones imprevisibles y posibles mutaciones.

Entre los principales intereses de este modelo de “ingeniería dura” aplicado a organismos vivos, que funcionarían como puros artefactos, destaca la tentativa

de convertirlos en “fábricas vivas”. Del mismo modo que la levadura produce etanol a partir del azúcar de caña o cerveza a partir de trigo, la ingeniería de sistemas biológicos aspiraría a “programar” microorganismos para que, a partir de la descomposición de biomasa, produzcan sustancias que no producirían de forma natural (nuevos tipos de fuel, materiales o medicamentos). Por ejemplo, se espera que microbios o microalgas sintéticas logren descomponer celulosa y convertir los carbohidratos en combustibles de hidrocarburos más ricos en energía que el etanol, o levadura modificada capaz de fermentar los azúcares del maíz para producir propanediol, con el que se pueden construir fibras sintéticas como la sorona, que podrían reemplazar el nylon. De esta manera, el objetivo de esta bioingeniería es sentar las bases para la implementación de un modelo de bioeconomía del que se espera un nuevo potencial de expansión económica. El paso del laboratorio a la aplicación es cada vez más rápido, y de hecho importantes corporaciones energéticas, químicas, farmacéuticas y de producción de alimentos están ya invirtiendo en investigación^{2/}. El impacto que supondría el efectivo establecimiento de este modelo de bioingeniería es tal que las grandes entidades financiadoras asumen el riesgo de un posible fracaso de la investigación.

En último término, el objetivo sería sustituir los procesos industriales basados sobre todo en la química por una nueva industria basada en la biología, y por tanto más “amigable con el medio ambiente”. De este modo, la bioingeniería anuncia toda una nueva generación de biocarburantes, energías limpias, alimentos, materiales, productos de química industrial, agentes descontaminantes y medios para la prevención y el diagnóstico de enfermedades de los que algunos se prometen una solución tecnocientífica a las catástrofes pseudonaturales que se ciernen sobre la sociedad global en forma de hambre, enfermedades, destrucción del entorno y cambio climático. Pero lo que las entidades financiadoras públicas y privadas esperan de esta bioingeniería tiene más que ver con sus “*interesantes posibilidades económicas*”, que “*son el aumento de la productividad, la obtención de nuevos productos, la aceleración de los tiempos de desarrollo de éstos mediante la estandarización de módulos biológicos y el establecimiento de nuevos conceptos de producción*” (DFG et. al., 2009, p. 9).

Sin embargo, pese al optimismo de muchos de los actores involucrados, la biología sintética comporta también grandes incertidumbres y posibles riesgos. Aún no se conocen las posibles consecuencias a medio y largo plazo de rediseñar la estructura genética de muchos organismos, ni tampoco de sus interacciones en la biosfera o de un posible mal uso de los mismos, y sin embargo la investigación se desarrolla muy rápido y el paso a la comercialización

^{2/} Shell, Exxon, BP, Total o Petrobras, BASF, Dow o Cargill invierten en Amyris, Synthetic Genomics, DuPont, Iogen, Metabolix y otras compañías (The International Civil Society Working Group in Synthetic Biology, 2011, p. 13 s.).

“La retórica que está aquí en juego no es la del científico ‘clásico’, sino un cruce hábilmente dosificado entre mago y experto, hechicero y tecnócrata. Pero cada vez más a menudo el discurso de los ‘expertos’ se asimila al del marketing”

es casi inmediato. Parece que *antes* de que nos comprometamos globalmente con este modelo de ingeniería biológica habría que exponerla al debate público para sopesar sus costes sociales y económicos, sus posibles daños ambientales, sus riesgos para la justicia global y su impacto sobre la población planetaria, estableciendo prioridades para evaluarla: el debate sobre su implementación no puede quedar reducido a los llamados “círculos de expertos” y “gestores del riesgo”. En este sentido, el auge de las comisiones de ética en la investigación tecnocientífica responde a un déficit de legitimación del modelo de innovación tecnológico vigente, pero reducen la discusión a una cuestión de “gobernanza”, a la zaga de un

desarrollo tecnológico que no puede cuestionar realmente. Sin embargo, lo que está aquí en juego es mucho más que un balance de beneficios y riesgos: se trata de la transformación del modelo social de relación con la naturaleza y con lo viviente a partir de una determinada visión de la vida, de la sociedad y de la tecnociencia vinculada a criterios de productividad.

La biología sintética como “actitud ante lo viviente”

Sin duda, la biología sintética plantea dilemas importantes: algunos continúan los problemas planteados por las biotecnologías precedentes (la ingeniería genética, las técnicas de clonación, la reprogramación celular o las nanotecnologías), mientras que otros son más específicos, y tienen que ver sobre todo con el diseño y la construcción de sistemas biológicos de carácter intencional. Lo que nos sitúa en un escenario cualitativamente distinto es por tanto el ideal de una biología objeto de diseño e ingeniería, que no puede concebirse al margen del marco socioeconómico en el que se desarrolla la investigación. De acuerdo con ello, la cuestión fundamental no es cómo mantener bajo control los posibles riesgos de la biología sintética, sino de dónde viene la necesidad de esa vida a la carta, ya que eso es lo que marca la agenda de investigación.

La biología sintética puede ser considerada la última etapa en el proceso de “*naturalización*” de la vida (Morange 2012, p. 22). El propósito de la biología de superar las viejas hipótesis del vitalismo y eliminar todo resto de misticismo de nuestra comprensión de la vida, mostrando que todo se juega en una serie de procesos a nivel molecular, complejos pero inteligibles, no es nuevo. Pero solo ahora se pretende llegar hasta las últimas consecuencias prácticas de este “desencantamiento” de la biología. Si sabemos cómo funciona algo, podemos intervenir sobre ello y modificarlo de acuerdo con determinados objetivos. En este sentido, la “*visión molecular de la vida*” ha revelado “*que no hay nada*

místico o incomprensible acerca de la biología: todo parece ser, en principio, inteligible, y por tanto parece estar abierto a la intervención calculada al servicio de nuestros deseos” (Rose, 2007, p. 4). Esto amplía enormemente el margen de intervención posible, pero también significa que lo viviente es interpretado desde un determinado paradigma de comprensión: el del ingeniero, que se relaciona con lo viviente siguiendo el modelo de los artefactos técnicos y las máquinas complejas.

Por ello la visión molecular de la vida a la base de la biología sintética no es solo una práctica científica, sino un modelo de *episteme* que está transformando el modo de pensar, percibir y plantear los problemas. Para el ideal de la bioingeniería, la materia viviente no sería sino un ensamblaje de piezas re-combinable y reprogramable a voluntad. De ahí que hable de sus productos como “máquinas vivientes” o “máquinas basadas en ingeniería genética”. En el discurso de la biología sintética se desdibujan los confines que distinguían los organismos vivos de los autómatas y las máquinas, se diluyen las fronteras entre lo vivo y los artefactos de fabricación humana, lo natural y lo artificial, lo evolucionado y lo diseñado. Pero si no hubiera diferencia alguna entre la materia animada y la inerte, la biología misma perdería su razón de ser. Y de hecho el propósito de intervenir en la estructura de los organismos vivos, aspirando a controlarlos, dirigirlos y rediseñarlos de acuerdo con determinadas intenciones, supone “*un enfrentamiento con la vida*”, puesto que su comprensión de lo viviente como materia programable y reprogramable entra en tensión con la capacidad de autoproducirse, autorepararse y de evolucionar que distingue a los seres vivos (Ruiz-Mirazo *et al.*, 2012, p. 31 s.).

Por otra parte está la cuestión del reduccionismo. El objetivo real no es tanto crear “vida sintética”, sino más bien “programar” y “reprogramar” la maquinaria celular a través del genoma para que desempeñe determinadas funciones: lo que se modifica y produce sintéticamente no es la célula ni el organismo, sino el genoma. De este modo, la asunción metodológica de la “programación” de la materia viviente mediante el “software” (ADN) diseñado por el ingeniero comprende la célula como una especie de “autómata molecular”. La tentativa de implementar funciones programadas genéticamente parece reproducir así antiguos modelos mecanicistas. Sin embargo, no está tan claro que sea posible reducir la complejidad biológica de los sistemas vivos hasta reducirlos a un comportamiento perfectamente predecible. Esto parecería entrar en colisión con avances recientes en biología evolutiva del desarrollo o en epigenética. Sin duda, el genoma ofrece informaciones necesarias para comprender los procesos moleculares, pero no determina en exclusiva la estructura de las membranas celulares y otros elementos ni es el único portador de información que pueda ser heredada. Por ello se ha señalado que el ideal bioingenieril se apoya en un determinismo genético sumamente problemático (Schummer, 2011).

Finalmente, la pretensión de manufacturar organismos “a la carta”, supone un salto cualitativo en la apropiación de lo viviente con criterios instrumentales. En definitiva, lo que está aquí en juego no es tanto una *hybris* de científicos “jugando a ser Dios” como un modo de relación con la materia viviente que se apoya en un entramado de intereses socioeconómicos que determinan los planteamientos de la investigación:

Para responder a objetivos sociales o humanos, las máquinas moleculares, que se abastecen de biomasa, deben ser abstraídas de su entorno natural y ser consideradas únicamente como dispositivos funcionales susceptibles de realizar una serie de operaciones. Una vez que han sido arrancados a su medio (...) pasan a ser una fuerza productiva entre otras. Su funcionamiento debe responder al modelo de la fabricación industrial: producción homogénea, estandarizada, si es posible automatizada... lo que justifica el re-engineering de las máquinas (Bensaude-Vincent *et al.*, 2011, p. 114).

Lo viviente deja de ser un sujeto inexpugnable y pasa a estar gobernado en su propia constitución material, en sus entrañas, desde una determinada visión social. Esto nos exige pasar a cuestionar la forma de organizar aquí el metabolismo entre naturaleza y sociedad.

Ingeniería biológica e ingeniería social

De acuerdo con lo expuesto, el objetivo de la bioingeniería ya no es tanto la eficiente explotación de los recursos biológicos y naturales, sino su mejoramiento y optimización; la pregunta es: ¿desde qué criterios? Porque la intervención sobre los organismos no es una cuestión puramente técnica, sino que se realiza desde criterios culturales y sociales. Aquí llegamos a la implementación de un modelo de bioeconomía que busca introducir dichos recursos en los regímenes de producción y propiedad de los mercados, optimizándolos para “*extraer el valor latente en los productos y procesos biológicos*” (OCDE, 2006). Por ello el verdadero peligro es que cada vez más esferas de lo viviente pasen a ser planificadas, controladas y organizadas desde criterios de eficiencia y productividad –en este sentido se ha llegado a hablar del diseño de una vida “perfecta” (STOA, 2012). Ante esta tendencia evolutiva de la tecnociencia en las sociedades tardocapitalistas, la asunción de que la materia viviente podría tener un valor intrínseco no reductible a nuestra voluntad aparece como manifestación de un romanticismo trasnochado e insostenible, que no ha logrado seguir el fulgurante avance de lo técnicamente posible.

Además, ante los retos que plantean el cambio climático y una más que probable crisis energética en un futuro cercano, los partidarios de la bioingeniería presentan este desarrollo como una perspectiva casi salvífica, capaz de resolver como por arte de magia los problemas que nos han legado las tecnologías de ayer con las tecnologías de mañana. En el momento en el que la dependencia

de los combustibles fósiles se revela completamente insostenible, esta nueva disciplina lanza la promesa de una solución “tecnocientífica” a problemas sociales; por ello *exigir* que la investigación se financie, se desarrolle y se aplique parece casi un deber cívico. Pero, ¿de verdad podemos creer que las tecnologías verdes nos salvarán de los problemas de la “vieja” sociedad industrial sin plantear ninguna ruptura con su modelo productivo? El planteamiento de crear formas de vida cortadas a medida para responder a los imperativos socioeconómicos, ¿no abre las puertas a una ingeniería social? La tentativa de presentar la biología sintética como respuesta a problemas como el cambio climático, la contaminación y el hambre, ¿no impone un modelo tecnocrático que responde a problemas sociales con respuestas de ciencias naturales? Los avances en la bioingeniería, ¿no implicarán la imposición de un modelo de desarrollo tecnocientífico inexorable y sin alternativas?

Desde luego, ya hay voces que advierten los problemas sociales y económicos que podría implicar este desarrollo: desde la creación de monopolios y la concentración de poder derivado de la aplicación de derechos de propiedad intelectual a los organismos sintéticos –e incluso a determinadas secuencias de ADN– hasta los problemas de justicia global. Si todo lo que hasta ahora podía obtenerse de las plantas podría ser fabricado por microorganismos en el laboratorio, las consecuencias para las economías basadas en la producción agrícola podrían ser devastadoras. Además, como las “fábricas vivas” solo pueden trabajar descomponiendo biomasa (algas, maderas o azúcares), su inserción en la producción industrial podría significar también la expropiación de grandes cantidades de biomasa a los países tropicales y subtropicales, privando a su población de los recursos necesarios para la subsistencia (Grupo ETC, 2011; Thomas, 2011).

En definitiva, las incertidumbres y problemas que emergen con la biología sintética ponen de manifiesto que el crecimiento de lo técnicamente posible exige un nuevo grado de responsabilidad ecológica y social. El ideal *bioingenieril* asume que la naturaleza es algo infinitamente dúctil y maleable, que no ofrece límites para su re-funcionalización: “Desde la perspectiva de la biología sintética, la naturaleza aparece como un espacio en blanco que podemos rellenar con cualquier cosa que deseemos” (Boldt et al., 2008, p. 388). ¿Permiten estos sueños de omnipotencia y crecimiento ilimitado esperar un desarrollo responsable? La situación resulta especialmente inquietante en la medida en que sugiere una transformación de las relaciones entre tecnología, economía y sociedad. Aquí parece perfilarse el paso a un nuevo modelo de ciencia en el que ya no son los métodos científicos los que garantizan la viabilidad de los fines, sino que los fines –en este caso las aplicaciones dictadas por el marco de la bioeconomía– justifican todos los medios. De este modo determinados modelos de desarrollo tecnológico se presentan como inexorables y sin alternativas, y todo lo demás aparece como mero *de gustibus disputandum*.

El propio discurso de los científicos es en este sentido revelador. Drew Endy, uno de los máximos promotores de la bioingeniería, llama a “*producir cambios y ver qué pasa*”: “*No hablemos de ello, hagámoslo, y después abordemos las consecuencias de cómo esto va a cambiarnos*” (Endy, 2012, p. 256); por otra parte, cuando el biólogo sintético George Church lanzó en una entrevista al semanario alemán *Der Spiegel* la bravuconada de que la biología sintética nos permitiría volver a traer a la vida a los Neandertales, rehuyó la pregunta de si esto era algo deseable: “*Yo tiendo a decidir qué es deseable en base al consenso social. Mi papel es determinar qué es tecnológicamente factible. Todo lo que puedo hacer es reducir el riesgo y aumentar los beneficios*” (Bethge et al., 2013). La retórica que está aquí en juego no es la del científico “clásico”, sino un cruce hábilmente dosificado entre mago y experto, hechicero y tecnócrata. Pero cada vez más a menudo el discurso de los “expertos” se asimila al del marketing; Philippe Marlière, otro célebre biólogo sintético, declaraba hace unos años al periódico francés *Le Monde*: “*El naturalismo es un grillete que aprisiona la biología. No progresaremos escrutando lo existente molécula por molécula, sino fabricando biodiversidades artificiales y alternativas*” (Nau, 2002). Frente a esta llamada a pulverizar todos los límites que se opongan a la lógica de la productividad –camuflada aquí con términos tan bien elegidos–, cabría decir que un modelo tecnocientífico que aspira a apropiarse de lo viviente e instrumentalizarlo sin restos, fijando sus criterios sobre lo bueno y lo malo en su propia constitución material, constituye un peligro sin precedentes.

¿Es posible un desarrollo tecnocientífico responsable?

Sin hablar de la dinámica específica del capitalismo no podremos comprender de dónde viene la compulsión al incremento de la productividad que ha llevado a asumir como “normales” tantos riesgos, reduciendo enormemente la capacidad para comprender y regular las tecnologías. No es posible discutir sobre los problemas de la biología sintética sin atender a la hoja de ruta de la bioeconomía que aspira a “optimizar” los “*productos y procesos biológicos*” para extraer el “*valor latente*” (OCDE, 2006). Su objetivo es reconfigurar objetos, ciclos, principios químicos, tejidos y patrimonios genéticos de lo viviente y cortarlos a la medida del incremento de la productividad y los criterios de eficiencia de la producción industrial. El problema no es por tanto técnico –como pretenden los gestores de riesgo–, sino que está ligado a un marco interpretativo que marca las pautas del desarrollo tecnocientífico. Porque el modelo de la llamada bioeconomía basada en el conocimiento contiene “*una visión articulada de lo que es y debería ser la buena sociedad, los bienes comunes y las formas más adecuadas de cómo deberíamos relacionarnos unos con otros, con la naturaleza y con la sociedad misma*” (Pavone, 2012, p. 149).

En definitiva, la reflexión sobre la biología sintética no puede limitarse a contraponer los potenciales beneficios y riesgos de la nueva disciplina, sino

que exige tomar en consideración –al menos– para quién serán los beneficios y quién tendrá que cargar con las eventuales consecuencias derivadas de los riesgos. Porque la ingeniería de organismos vivos, su comprensión de lo viviente y su agenda de trabajo son expresión de un determinado modelo de desarrollo científico-industrial ligado guiado por criterios de productividad específicos de un modelo económico, no una tendencia sin alternativas. Innovación y competitividad no deberían ser palabras mágicas que frenan toda reflexión sobre la pertinencia de una novedad; es necesario evaluar estos avances pensando a largo plazo, teniendo en cuenta el impacto de la ingeniería biológica sobre las relaciones que establecemos con lo viviente a nivel económico, de utilidad, simbólico y social.

Jordi Maiso es investigador contratado en el Instituto de Filosofía del CCHS-CSIC. Es miembro de la Sociedad de Estudios de Teoría Crítica y del consejo editor de *Constelaciones. Revista de Teoría Crítica*.

Bibliografía citada

- Bensaude-Vincent, B. y Benoit-Browaey, D. (2011) *Fabriquer la vie: Ou va la biologie de synthèse?*. París: Seuil.
- Bethge, P. y Grolle, J. “Can Neanderthals be brought back from the dead? Interview with George Church”. *Der Spiegel*, 18/01/2013.
- Boldt, J. y Müller, O. (2008) “Newtons of the leaves of grass”. *Nature biotechnology*, 26, 387-389.
- Comisión Europea (2010) *The Knowledge-based bio-economy (KBBE) in Europe: achievements and Challenges*. Disponible en http://cleverconsult.eu/cleversafe/wp-content/uploads/2010/09/KBBE-report-summary_final.pdf (última consulta: 14/08/2013).
- De Lorenzo, V. (2004) “La biotecnología como estrategia científica y como conjunto de objetivos tecnológicos”. En C. Nombela (coord.) *Retos de la sociedad biotecnológica. Ciencia y ética* (pp. 13-41) Madrid: Fundación FAES.
- Endy, D. (2005) “Foundations for engineering biology”. *Nature*, 438, 449-453.
- Endy, D. (2012) “Diseñar la biología”. En J. Brockman (ed.) *Vida* (pp. 253-273). Barcelona: Crítica.
- Grupo ETC (2007) *Ingeniería genética extrema. Una introducción a la biología sintética*. Disponible en http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/603/03/syn-biospanish_lite.pdf (última consulta: 12/08/2013).
- Grupo ETC (2011) *Los nuevos amos de la biomasa. Biología sintética y el próximo asalto a la biodiversidad*. Disponible en http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/biomasters_ESP_4WEB7jun11_0.pdf (última consulta: 12/08/2013).
- Morange, M. (2012) “¿Una nueva revolución? El lugar de la biología de sistemas y la biología sintética en la historia de la biología”. *Pasajes de pensamiento contemporáneo*, 38, 20-26.
- Nau, J. Y. “Les apprentis sorciers de l’ADN inventent une nouvelle genèse”. *Le Monde*, 2/03/2002.
- OCDE (2006) “Scoping document: The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda”. París: OCDE.
- OCDE (2009) *The Bio-Economy to 2030. Designing a policy agenda*. París: OCDE.

- Pavone, V. (2012) “Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía”. *Revista CTS*, 7, 20, 145-161.
- Rose, N. (2007) *The Politics of Life Itself. Biomedicine, Power and Subjectivity in the Twenty-First Century*. Princeton: Princeton University Press.
- Ruiz-Mirazo, K. y Moreno, A. (2012) “Biología sintética: comprender, utilizar y extender la vida”. *Pasajes de pensamiento contemporáneo*, 38, 28-37.
- Schummer, J. (2011) *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung von Leben im Labor*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- STOA – Science and Technology Options Assessment (2012) *Making perfect life. Bio-engineering (in) the 21st Century. Final Report European Governance Challenges in Bio-engineering*. Disponible en http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/471574/IPOL-JOIN_ET%282012%29471574_EN.pdf (última consulta: 15/08/2013).
- The International Civil Society Working Group in Synthetic Biology (2011) *A Submission to the Convention on Biological Diversity’s SBSTTA on the Potential Impacts of Synthetic Biology on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity*. Disponible en <http://www.cbd.int/doc/emerging-issues/Int-Civil-Soc-WG-Synthetic-Biology-2011-013-en.pdf> (última consulta: 14/08/2013).
- Thomas, J. (2011) “How synthetic biology will bring us cheaper plastics by ruining the poorest nations on Earth”. *Future tense*, 2/02/2011.



2. La biología sintética: desafíos éticos, políticos y socioeconómicos

¿Puede ser la vida objeto de ingeniería?

Laura Nuño de la Rosa

“Una sociedad que permite que la biología se convierta en una disciplina ingenieril, que permite que la ciencia se deslice en el rol de cambiar el mundo vivo sin tratar de comprenderlo, es un peligro para sí misma” (Woese, 2004)

En la última utopía biotecnológica preconizada por la biología sintética, la naturaleza orgánica habrá dejado de ser aquel sujeto inexpugnable que oponía resistencia a las tecnologías que hasta entonces habían tratado de amordazarla y pasará a estar gobernada desde sus propias entrañas, transformando el mundo a nuestro antojo. La nueva bioeconomía se reestructurará en torno a fáabri-