

Encuentros en la **Biología**

A stylized tree logo with a green trunk and roots extending downwards, and thin, light-colored branches extending upwards and outwards.

MONOGRAFÍA **BIOLOGÍA SINTÉTICA**



Equipo Editorial y Créditos

Co-Editores:

José María Pérez Pomares

jmperezp@uma.es

Biología del desarrollo y cardiovascular

Coordinación general- Editoriales- Entrevistas

Miguel Ángel Medina Torres

medina@uma.es

Biología Molecular y de Sistemas-Biofísica-Bioquímica

Coordinación general- Editoriales- Monitor-Maquetación

Encuentros en la Biología

Revista de divulgación científica

(Indexada en Dialnet)

Edición electrónica:

www.encuentros.uma.es

Correspondencia a:

Miguel Ángel Medina Torres

Departamento de Biología Molecular y Bioquímica

Facultad de Ciencias

Universidad de Málaga

29071 Málaga

medina@uma.es

encuentrosenlabiologia@uma.es

Entidad editora:

Universidad de Málaga

Editado SIN FINANCIACIÓN INSTITUCIONAL

Depósito Legal: MA-1.133/94

ISSN (versión electrónica): 2254-0296

ISSN (versión impresa): 1134-8496

Diseño de la portada de este número monográfico:

Laura López Barreira: laubarreira@gmail.com

Periodicidad:

Encuentros en la Biología publica 4 números

ordinarios (uno por trimestre) y al menos 1

número extraordinario monográfico al año.

El equipo editorial de esta publicación no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores colaboradores.

Comité editorial ejecutivo:

Ana Grande

agrande@uma.es

Genética-Virología, Patogénesis virales

Rincón del doctorando

Antonio Diéguez

dieguez@uma.es

Filosofía de la Ciencia

A Debate-Recensiones

Carmen González

carmen.glez@uma.es

Información y Documentación

Calidad y difusión

Enrique Moreno Ostos

quique@uma.es

Ecología- Limnología

Punto de Encuentro

Enrique Viguera

eviguera@uma.es

Genética- Genómica

Monográficos-Eventos especiales

Héctor Valverde Pareja

hvalverde@uma.es

Biología evolutiva molecular

Coordinación de espacios Web

José Carlos Dávila

davila@uma.es

Biología Celular -Neurobiología

¿Cómo funciona?

José María Blanco Martín

jmblanco@uma.es

Ecología de Sistemas

La imagen comentada

Comité editorial asociado:

Alberto Martínez

almarvi@wanadoo.es

Educación Ambiental, Educación para el

Empleo

Alejandro Pérez García

aperez@uma.es

Microbiología, Interacción planta-patógeno

Alicia Rivera

arivera@uma.es

Neurobiología

Enfermedades neurodegenerativas

Félix López Figueroa

felix_lopez@uma.es

Ecología-Fotobiología, Cambio climático

Francisco Cánovas

canovas@uma.es

Fisiología Molecular Vegetal, Bioquímica y

Biología Molecular

Jesús Olivero

jesusolivero@uma.es

Zoogeografía, Biodiversidad animal

Juan Antonio Pérez Claros

johnny@uma.es

Paleontología

Juan Antonio García Ranea

ranea@uma.es

Bioinformática, Biología de Sistemas

Modelos en biología

Juan Carlos Aledo

caledo@uma.es

Bioquímica-Biología Molecular,

Energética de procesos biológicos

Vida y obra

Juan Carlos Codina

jccodina@uma.es

Microbiología, Educación Secundaria

Ciencias en el Bachillerato

Luis Rodríguez Caso

caso@eelm.csic.es

Técnicas de Laboratorio

Calidad y difusión

Ramón Muñoz-Chápuli

chapuli@uma.es

Biología del desarrollo y cardiovascular

Coordinación de edición electrónica- Foros

de la Ciencia

Raúl Montañez Martínez

raulemm@gmail.com

Biología sintética y de sistemas

Coordinación de diseño

Margarita Pérez Martín

marper@uma.es

Fisiología Animal, Neurogénesis

María del Carmen Alonso

mdalonso@uma.es

Microbiología de aguas, Patología vírica de

peces

María Jesús García Sánchez

mjgs@uma.es

Fisiología Vegetal, Nutrición mineral

María Jesús Perlés

Mjperles@uma.es

Geomorfología, Riesgos medioambientales

M. Gonzalo Claros

claros@uma.es

Bioquímica-Biología Molecular y Bioinformática

Raquel Carmona

rcarmona@uma.es

Ecofisiología, Biorremediación

Salvador Guirado

guirado@uma.es

Biología Celular-Neurobiología



Encuentros en la Biología dedica este monográfico a un tema emergente: la Biología Sintética. Gran parte de los avances en ciencia suelen ser consecuencia del desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias. Así, el descubrimiento y purificación de las enzimas de restricción en los años 70 posibilitó la manipulación directa de la molécula de DNA, dando paso al nacimiento de la Ingeniería Genética y de la Biotecnología en la forma en la que ahora la conocemos. Los frutos de ésta, no sólo en la elucidación de procesos moleculares en investigación básica sino su aplicación en campos como la biomedicina o la agricultura, han supuesto una mejora sin precedentes en la calidad de vida, al menos en el mundo desarrollado. Por otro lado, la identificación y purificación de polimerasas de DNA de organismos termófilos permitió desarrollar técnicas de amplificación por PCR de fragmentos pequeños a partir de una cantidad ínfima de DNA molde. Las aplicaciones tan variadas de la PCR en clonaje, diagnóstico de enfermedades hereditarias y de enfermedades infecciosas, filogenia molecular, paleontología o ciencias forenses dan una idea de su potencialidad. Más recientemente se han desarrollado técnicas de amplificación, ya no sólo de fragmentos de DNA, sino de genomas completos basados en la capacidad de la polimerasa de DNA del bacteriófago Phi-29 de llevar a cabo amplificación

EDITORIAL INVITADO: PRESENTACIÓN DEL NÚMERO MONOGRÁFICO

isotérmica mediante desplazamiento de hebra. De hecho, esta propiedad está teniendo un papel esencial en la expansión de las técnicas de secuenciación masiva (NGS), que permiten revelar las variaciones genéticas a nivel molecular, y están contribuyendo decisivamente a la comprensión de los mecanismos moleculares de las enfermedades, así como a la realización de diagnósticos genéticos, y al desarrollo de la medicina personalizada. La obtención de la secuencia del genoma de un organismo vivo e incluso de especies extintas implica que podemos conocer gran parte del “libro de instrucciones”, inferir el tipo de metabolismo e incluso deducir algunos caracteres fenotípicos de dichas especies. Durante este proceso surgió una nueva disciplina (o conjunto de disciplinas), la Bioinformática, que, junto al desarrollo de supercomputadores, ha permitido almacenar, analizar y obtener nuevo conocimiento sobre las secuencias que iban depositándose en las bases de datos. Esta conjunción de disciplinas está cambiando el enfoque de los sistemas biológicos hasta tal punto que actualmente se desarrollan aproximaciones holísticas o de biología de sistemas para tratar de comprender cómo las interacciones de los diferentes elementos que componen el ser vivo y su entorno desembocan en la emergencia de nuevas propiedades biológicas.

Disponemos, por tanto, de todas las herramientas para leer y aislar genes, optimizar procesos de síntesis de proteínas e incluso combinar genes de diferentes especies en un organismo con el objeto de sintetizar biológicamente compuestos complejos con interés, por

ejemplo, en la industria farmacéutica. A su vez, el desarrollo de técnicas que posibilitan la síntesis de grandes secuencias de DNA, ha posibilitado que seamos capaces de escribir de novo genomas ya existentes en la naturaleza e introducirlos en otros organismos en una suerte de “trasplante genómico”. El objetivo de la biología sintética va más allá de la mera combinación de elementos ya existentes en la naturaleza ya que pretende diseñar y construir nuevos sistemas biológicos. La revisión que ofrecemos en este número especial de *Encuentros en la Biología* cuenta con la participación de diferentes especialistas del área con aproximaciones desde la biología, la química o la filosofía. Manuel Porcar y Juli Peretó aclaran qué es realmente el concepto de Biología Sintética mientras que Carlos Rodríguez Caso llega a integrar la biología sintética dentro del movimiento cultural *do-it-yourself*, en el que la modificación de los organismos escaparía al control académico establecido para la ciencia estándar. El profesor Andrés Moya define cuáles son los límites de la Biología Sintética y Antonio Diéguez y Enrique Viguera hacen especial hincapié en la necesidad de implicar a la propia comunidad científica en la comunicación de la ciencia para evitar los sesgos, malas interpretaciones o distorsiones de la realidad. José Zamora alerta acerca de la visión mercantilista que podría estar ligada la biología sintética, como ya ocurrió con la biotecnología, mientras que Jordi Maiso profundiza sobre los aspectos éticos necesarios para su regulación. Por último, Reyes Mate contextualiza la biología sintética en la propia dimensión del ser humano y plantea la necesidad de establecer límites.

**Editores invitados de este número monográfico:
Antonio Diéguez y Enrique Viguera**

Índice

Editorial invitado: presentación del número monográfico	1
<i>La imagen comentada</i>	3
Foros de la Ciencia	4
¿Quién hace biología sintética?	5
La biología sintética y la comunidad DIY	7
<i>Obsolescencia e intervención</i>	11
Legitimación social y apoyo público	14
<i>En la intersección entre sociedad y naturaleza</i>	17
¿Una ética para la biología sintética?	21
<i>El peligro de la "vergüenza prometeica"</i>	25
Apéndice: perfil biográfico de los autores	27

ATENCIÓN! Cambios en las Instrucciones para los autores

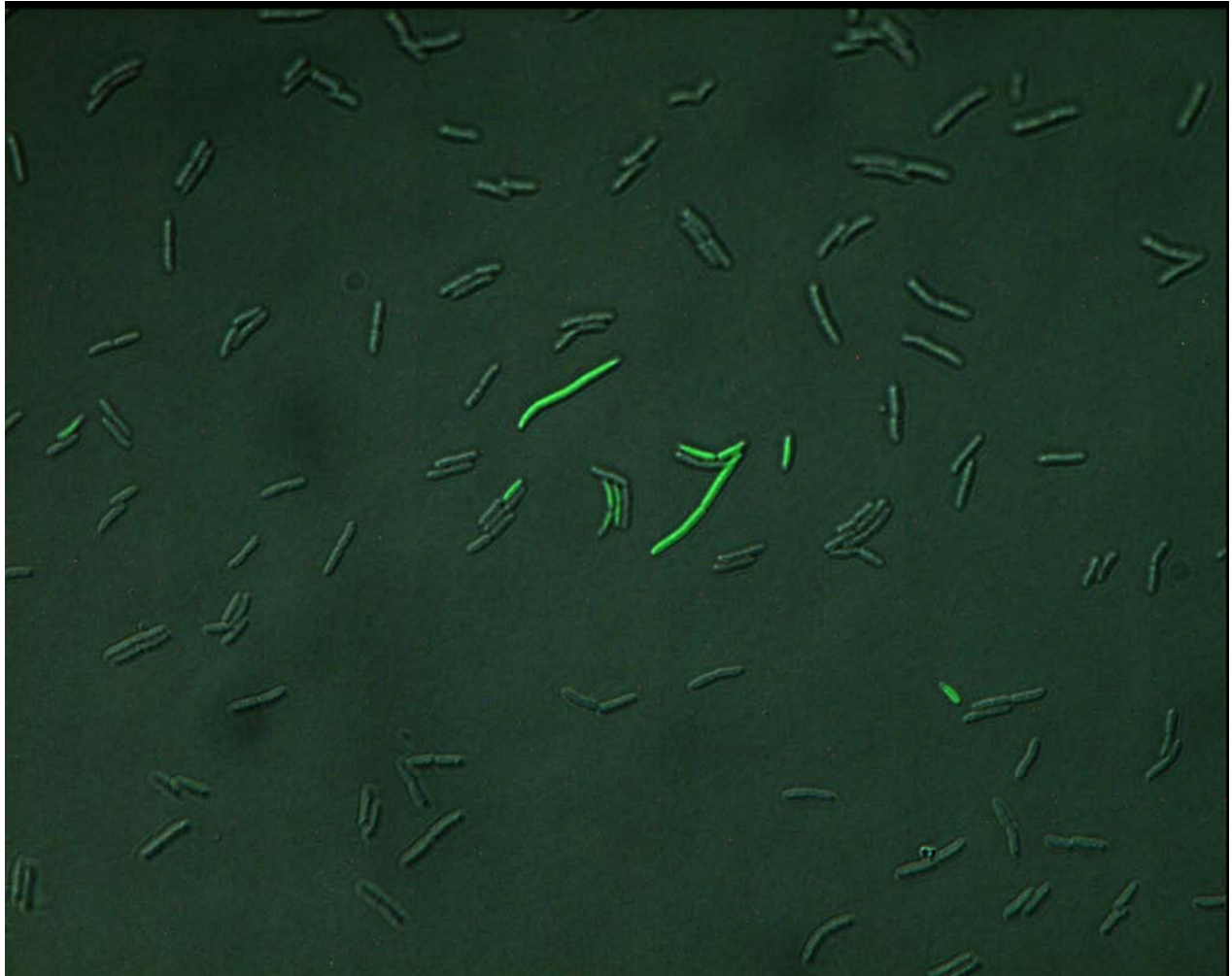
Instrucciones para los autores

La revista **Encuentros en la Biología** es una publicación que pretende difundir, de forma amena y accesible, las últimas novedades científicas que puedan interesar tanto a estudiantes como a profesores de todas las áreas de la biología. La revista tiene ISSN y eISSN y cumple los criterios *Latindex*. Sus contenidos completos (desde el número 26, publicado en noviembre de 1995) se pueden descargar en formato pdf y consultar en línea en <http://www.encuentros.uma.es/>. **Cualquier persona puede publicar en ella** siempre que cumpla las siguientes normas a la hora de elaborar sus originales:

- 1 Todos los manuscritos deberán ser inéditos o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos de reproducción. Además, deben tener alguna relación con el objetivo de la revista —los que simplemente reflejen opiniones se rechazarán directamente—. Esta revista se toma muy en serio el problema del plagio. Por ello, antes de su evaluación, todos los manuscritos recibidos serán sometidos a revisión por un programa detector de plagios.
- 2 El formato del documento puede ser TXT, RTF, SXW/ODT (OpenOffice) o DOC (Microsoft Word). Debido a las restricciones de espacio, la extensión de los mismos no debe superar las 1600 palabras; en caso contrario, el editor se reserva el derecho de dividirlo en varias partes que aparecerán en números distintos.
- 3 Cada contribución constará de un título, autor o autores, y su filiación (situación académica; institución u organismo de afiliación; dirección postal completa; correo electrónico; teléfono). Para diferenciar la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (*, #, ¶, †, ‡) después del nombre de cada autor.
- 4 Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de los genes y las especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva aquellos términos que se citen en un idioma que no sea el castellano.
- 5 Aquellos autores que no tengan el castellano como lengua materna pueden remitir sus manuscritos en inglés. Una vez aceptado, un resumen del mismo en castellano sería elaborado por el propio equipo editorial.
- 6 Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos, en blanco y negro puros, escalas de grises o color, deberán adjuntarse en ficheros independientes. Las figuras, las fórmulas y las tablas deberán enviarse en formatos TIFF, GIF o JPG, a una resolución de 300 dpi y al menos 8 bits de profundidad.
- 7 Cuando sean necesarias, las referencias bibliográficas (cuatro a lo sumo) se citarán numeradas por orden de aparición entre paréntesis dentro del propio texto. Al final del mismo, se incluirá la sección de Bibliografía de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:
Einstein Z, Zwstein D, Dreistein V, Vierstein F, St. Pierre E. Spatial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.
En caso de citar un libro, tras el título deben indicarse la editorial, la ciudad de edición y el año.
Si el texto principal no incluye referencias bibliográficas, se ruega a los autores que aporten 3-4 referencias generales "para saber más" o "para más información".
- 8 Aquellos que quieran contribuir a la sección *La imagen comentada* deberán remitir una **imagen original** en formato electrónico con una resolución mínima de 300 dpi y, en documento aparte, un breve comentario (de no más de **300** palabras) de la misma. Dicho comentario describirá la imagen, destacará la información relevante que aporta y/o especificará los procedimientos técnicos por los que se consiguió.
- 9 Los co-editores considerarán cualesquiera otras contribuciones para las diferentes secciones de la revista.
- 10 Envío de contribuciones: el original se enviará por correo electrónico a los co-editores (medina@uma.es, imperezp@uma.es) o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al contenido de su contribución. Aunque lo desaconsejamos, también se pueden enviar por correo ordinario (Miguel Ángel Medina, Departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga, 29071 Málaga, España) acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
- 11 Los trabajos los leerán al menos un editor y/o un revisor externo para asesorar sobre la conveniencia de publicar el trabajo; también se podrán sugerir al autor las mejoras formales o de contenido que harían el artículo más aprovechable. La notificación se enviará por correo electrónico al autor que figure como corresponsal.



LA IMAGEN COMENTADA



3

El rediseño de circuitos biológicos permite comprender cómo se produce un daño en el DNA.

Imagen al microscopio óptico de la bacteria gastrointestinal *Escherichia coli*, a la cual se le ha introducido el gen *gfp* procedente de una medusa. La proteína GFP se produce únicamente en aquellas células de *E. coli* (en verde intenso) en las que se ha activado el mecanismo de reparación SOS como consecuencia de la irradiación con luz ultravioleta. Agradecimientos: Prof. Guillermo Thode por análisis imagen y Dr. Jesús Blázquez por facilitarnos el plásmido p-lexA-GFP.

Inmaculada de la Viuda Cuesta y Enrique Viguera Mínguez
Área de Genética, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga
eviguera@uma.es



Foros de la ciencia

Biología Sintética: Vayamos por partes:

Una importante entidad en el ámbito de la Biología Sintética es iGEM (*The International Genetically Engineered Machine*, http://igem.org/Main_Page), una fundación dedicada a la educación y el avance de la Biología Sintética, organizadora de una peculiar competición. iGEM nació en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) pero en 2012 se convirtió en una organización sin ánimo de lucro localizada en Cambridge (Mass., USA). Desde el 2004, iGEM lanza una competición anual para equipos formados por profesores y estudiantes universitarios que elaboran proyectos de Biología Sintética. Los equipos reciben un *kit* de partes biológicas a finales del curso académico y durante el verano deben trabajar en el ensamblaje de las partes para diseñar y construir sistemas biológicos que funcionen dentro de células vivas. Ejemplos de los proyectos desarrollados ya en la competición iGEM son los de un biodetector bacteriano de arsénico (contaminante del agua en algunos países como Bangladesh) que produce cambios de pH en respuesta a pequeñas concentraciones de este elemento, una bacteria transportadora de oxígeno en la sangre, o bacterias que producen pigmentos coloreados en respuesta a sustancias (para biosensores).

Además de esta actividad, iGEM mantiene un registro y repositorio de partes biológicas que pueden ser obtenidas sin costo para los laboratorios participantes en el proyecto. Actualmente tienen registradas 20.000 partes, incluyendo vectores de expresión, promotores, regiones reguladoras, etc. El catálogo puede consultarse

en http://parts.igem.org/Main_Page

Diseñando genes:

Una actividad básica de la Biología Sintética es el diseño de genes. Para ello existen buenas herramientas informáticas. *Gene Designer* es una de las pioneras y más utilizadas, se describió en un artículo publicado en *BMC Bioinformatics* en 2006:

<http://www.biomedcentral.com/1471-2105/7/285>. Actualmente puede obtenerse como *freeware* en genedesigner.software.informer.com/2.0/ o en la empresa DNA2.0, quien ha elaborado la versión más reciente de este *software*: <https://www.dna20.com/resources/genedesigner>

Gene Designer incluye un conjunto de herramientas que facilitan el diseño de construcciones genéticas de todo tipo. Su uso puede

aprenderse a través de un "Webinario" en *Youtube*:

<https://www.youtube.com/watch?v=IYk0ip4edZc>

Una información general de este programa está en la *Wikipedia*: http://en.wikipedia.org/wiki/Gene_Designer

Más herramientas:

Por último, *Syntheticbiology.org* (<http://syntheticbiology.org>) es un sitio web fundado por un grupo de investigadores del MIT y de la Universidad de Harvard en el que actualmente colaboran grupos de Biología Sintética de diversos países. Se trata de una comunidad que comparte experiencias en los frentes más avanzados de esta nueva disciplina. Una de las páginas contiene una interesantísima colección de enlaces a herramientas *online* relacionadas con la Biología Sintética: <http://syntheticbiology.org/Tools.html>





¿Quién hace biología sintética?

Manuel Porcar^{*,#} y Juli Peretó^{*,‡}

^{*}Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva, Universitat de València. Apartat Postal 22085, 46071 València.

[#]Fundació General de la Universitat de València.

[‡]Departament de Bioquímica i Biologia Molecular, Universitat de València
manuel.porcar@uv.es juli.Pereto@uv.es

La Biología Sintética (BS) se ha convertido en un estandarte de la biología contemporánea, en la gran esperanza biotecnológica para atender a un sinnúmero de aplicaciones biomédicas y biotecnológicas. Aunque la primera vez que se usó el término para referirse a la fabricación de vida en el laboratorio fue en 1912 por Stéphane Leduc (véanse las referencias originales y una discusión detallada en Porcar y Peretó, 2014) en los últimos 10 años ha crecido exponencialmente el número de ocasiones en que se cita la BS en títulos, resúmenes o palabras clave en artículos científicos. Definir hoy en día BS no es fácil porque, en realidad, tiene diferentes significados para diferentes autores. Con un cierto sarcasmo, se dice que si se les pregunta a cinco expertos en BS por una definición de su disciplina, se obtienen seis respuestas diferentes. Por un lado, se propone aplicar los pilares básicos de la ingeniería (a saber: estandarización, estabilidad, ortogonalidad/modularidad, escalabilidad) a los sistemas biológicos. Por otro, se propone reducir a su mínima expresión la complejidad de una célula, de modo que pueda ser usada como chasis en futuras intervenciones. Otros científicos proponen “reinventar” la vida, ampliando el código genético, o rediseñando las biomoléculas y las rutas metabólicas (vida “como no la conocemos”). Además, hay que considerar la larga tradición de los estudios en química prebiótica (y su extensión más reciente, la química de sistemas) y su objetivo último de conseguir simular *cómo podría haber surgido la vida en la Tierra primitiva*, como una de las facetas estratégicas de la BS. Así, pues, tenemos la BS que se hace en el contexto de una evolución epistemológica de la biotecnología y la BS que siguiendo los primeros pasos de la vida puede revelarnos aspectos fundamentales del funcionamiento de lo vivo.

¿Cuál es el problema? Muchas veces se dice que se ha logrado sintetizar vida y, en la realidad, no es así. Nunca ha sucedido tal cosa hasta la fecha, a pesar de reiteradas afirmaciones en

sentido contrario. Lo creían firmemente Leduc y Alfonso L. Herrera a principios del siglo xx. Se proclamó cuando en 1953 Stanley L. Miller, bajo la supervisión de Harold C. Urey, sintetizó aminoácidos simulando descargas eléctricas en una hipotética atmósfera primitiva; en 1955 cuando Heinz Fraenkel-Conrat y Roblay Williams reconstruyeron el virus del mosaico del tabaco a partir de sus componentes moleculares; en 1967, cuando Arthur Kornberg anunció que había sintetizado DNA en el tubo de ensayo; y así hasta nuestros días, cuando J. Craig Venter y sus colaboradores copiaron químicamente un genoma natural y lo trasplantaron a una célula. En las revisiones sobre BS cunden los ejemplos de logros extraordinarios de la ingeniería metabólica (por ejemplo, la semisíntesis del medicamento contra la malaria artemisinina por el grupo de J. Keasling) que distan mucho de ser casos verdaderos de BS en el sentido de la aplicación de los principios de la ingeniería a las células (véase una discusión más detallada en Porcar y Peretó 2012).

En nuestra opinión, hay que ser más prudentes a la hora de calificar un logro científico como fruto de la BS: estamos aún en la fase de prueba de los principios más básicos y nadie puede dar por hecho que la estandarización o la ortogonalidad tienen una aplicación directa en el nanomundo de las biomoléculas. Por supuesto, las aplicaciones de la BS todavía quedan más lejanas. En este sentido apreciamos una diferencia de enfoque entre los fundadores del campo hace poco más de una década, salidos sobre todo del MIT, además iniciadores en 2000 del famoso y multitudinario concurso para estudiantes iGEM (véase una revisión crítica de la historia del concurso en Vilanova y Porcar 2014), que han proclamado abiertamente la aplicabilidad de los pilares de la ingeniería a la biología, y, por otro lado, los autores europeos que han tomado la vía menos brillante y vociferante de analizar con sumo detalle el comportamiento de los sistemas biológicos antes de atribuirles las propiedades que caracterizan los sistemas

6

electrónicos e informáticos. Es el caso de los esfuerzos de los grupos de Luis Serrano (CRG, Barcelona) y Peer Bork (EMBL, Heidelberg) en su detallado análisis de los componentes y funcionamiento de una célula natural mínima como *Mycoplasma pneumoniae*. O de los logros surgidos de la colaboración entre los grupos de Ricard V. Solé y Francesc Posas (UPF, Barcelona) de mitigar el problema del cableado en la bio-computación basando los circuitos lógicos en células y consorcios en lugar de moléculas operando dentro de una misma célula. Esta aparente dicotomía entre la visión europea y norteamericana de la BS parece que se va diluyendo en fechas más recientes, como se desprende de opiniones más realistas (menos entusiastas, o incluso, simplemente, más resignadas) expresadas por diversos científicos norteamericanos en un completo dossier especial publicado por *Nature* en mayo de 2014.¹

Comentario aparte merece lo que algunos llaman "reescritura de genomas", tomando como caso de estudio los trabajos de Venter y sus colaboradores. Científicamente, el trasplante de genomas es una extensión de lo que ya sabíamos hacer a escala de pocos genes: es sin duda un gran logro tecnológico, pero no enseña nada que no supiéramos. Los históricos experimentos sobre el principio transformador de Avery, MacLeod y McCarthy que señalaron a los ácidos nucleicos como material genético, tienen el mismo fundamento. En relación al genoma trasplantado, lo que se ha hecho es copiar, en el mismo orden y literalmente, los genes de una bacteria conocida. Es cierto que se introdujeron las famosas marcas de agua (frases, nombres de los autores) en las secuencias intergénicas. Pero,

¿realmente es esto reescribir un genoma? ¿o más bien estamos plagiando a la naturaleza para llevar a cabo pruebas de concepto? A nosotros nos parece que copiar con mínimas modificaciones no se puede considerar una creación y que por tanto todavía estamos lejos de escribir un texto genómico original.

La BS es un territorio rico en metáforas, pero hay que ser conscientes de los riesgos que conlleva su abuso o extrapolación (de Lorenzo 2011). Por ejemplo, el chasis celular, imagen tomada de la ingeniería de coches, como estructura celular sintética o semi-sintética, simplificada, sobre la cual añadir nuevas funciones, es una imagen potente, pero no existe todavía y no sabemos si realmente es plenamente realizable. Los circuitos biológicos y sus componentes muestran promiscuidad y un carácter estocástico intrínseco e ignoramos si el funcionamiento ortogonal (o sea, independiente del resto de partes) será posible siempre. La vida es el resultado de un proceso evolutivo moldeado, sobre todo, por la selección natural. Como consecuencia tenemos sistemas complejos en el que un gran número de partes interactúan entre ellas con una tendencia clara a la degeneración (que confiere robustez al sistema) y la promiscuidad, derivada de las propiedades intrínsecas de las partes (por ejemplo, la inherente flexibilidad de las proteínas). Ninguna de estas propiedades están, ni son deseables, en máquinas humanas, como los aviones. De aquí que las comparaciones entre máquinas y células deban ser muy cautelosas.

Nota 1: Beyond Divisions, *Nature* 7 de mayo de 2014 <http://www.nature.com/news/synthetic-biology-beyond-divisions-1.15162>.

Agradecimientos. El proyecto europeo ST-FLOW financió parcialmente este trabajo. El equipo iGEM Valencia-Biocampus, del que formamos parte, recibe el apoyo, entre otros, de la Universitat de València, el CSIC y la empresa biotecnológica *Biópolis* SL.

Bibliografía citada:

- de Lorenzo V. Beware of metaphors: chasses and orthogonality in synthetic biology. *Bioeng Bugs* 2: 3-7, 2011
- Porcar M, Peretó J. Are we doing synthetic biology? *Syst Synth Biol* 6: 79-83, 2012
- Porcar M, Peretó J. Synthetic Biology. From iGEM to the artificial cell. *Springerbriefs*, 2014





La Biología Sintética y la comunidad DIY

Carlos Rodríguez Caso

Laboratorio de Sistemas Complejos. Instituto de Biología Evolutiva (UPF-CSIC).
Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona. Dr. Aiguader 88. 08003 Barcelona
carlos.rodriguez@upf.edu

En los últimos años, la cultura *Do-It-Yourself* (DIY) o hazlo-tu-mismo ha ido abriéndose paso como un fenómeno social. Éste aglutina diversas aficiones y actividades, el punto en común de todas ellas es el crear y fabricar por uno mismo algún tipo de producto. En muchos aspectos es un sinónimo de las manualidades de toda la vida. Sin embargo, hacer hoy un jersey a mano o un tapete de ganchillo con material reciclado es el último grito de los mercadillos *underground*.

Más allá de un tema estético, bajo la etiqueta de DIY se incorporan cada vez más actividades que requieren un nivel de precisión y conocimiento que hasta ahora sólo se planteaban en el ámbito puramente profesional. Hoy no solo hablamos de hacer unos patucos, sino de editar un libro, publicar un disco o diseñar y vender por Internet un bolso de tela que esté disponible, comentable y *'tuiteable'* en y desde cualquier parte del mundo.

En el ámbito de la tecnología el escenario ha evolucionado enormemente. Desde los primeros aficionados a la electrónica que soldaban pacientemente sus circuitos siguiendo gruesos manuales se ha pasado a un perfil de personal que combina electrónica y programación. Desde esta comunidad se están desarrollando todo un repertorio de proyectos que puede llegar a competir con iniciativas comerciales tradicionales. Como veremos, la cultura *do-it-yourself* ha llegado a considerar la manipulación genética como un elemento más de este movimiento cultural.



Distintivo de la comunidad *DIY Bio*.

7

El movimiento cultural DIY y la revolución de un sistema alternativo de conocimiento y producción

En el desarrollo de la cultura DIY hay dos factores determinantes que están marcando su rápida evolución. Primero, Internet y su democratización del conocimiento. Internet ha transformado los sistemas de aprendizaje en una filosofía más autodidacta y colaborativa gracias a la llamada *web2.0*. En este aspecto, las redes sociales permiten una interacción más horizontal entre usuarios y difumina los roles de formador y aprendiz. En segundo lugar, la protección intelectual del conocimiento a través de formulas tipo *creative commons* (<http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>). Este tipo de licencias ofrecen una protección legal que evita la apropiación en exclusiva del conocimiento, favoreciendo la difusión de la información, su libre acceso, modificación e incluso su explotación comercial. Lejos de ser una fórmula anecdótica, este tipo de licencias es el utilizado en muchas revistas científicas de libre acceso.

Uno de los mayores impulsores de esta cultura en el entorno tecnológico ha sido la aparición del proyecto *Arduíno*. Iniciado por Massimo Banzi en 2005, esta iniciativa mundialmente extendida proporciona un sistema sencillo de prototipado basado en un híbrido entre programación y electrónica. La novedad no fue tanto la innovación tecnológica sino el proporcionarlo con la información necesaria y los derechos legales adecuados para que cualquier persona lo pudiera hacer suyo, expandiendo la cultura de libre acceso al conocimiento. Pero, ¿cómo ha llegado a afectar esto a la biología? Es aquí donde la biología sintética entra en escena como gran impulsor de la biología DIY.

La biología sintética surge de la fusión entre la biotecnología y la ingeniería en la búsqueda de crear un marco de estudio simplificado para la manipulación genética.

Siguiendo la corriente del libre acceso al conocimiento y como un elemento de apoyo a los laboratorios de la biología sintética en 2005, estudiantes del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) crearon una plataforma en Internet para compartir protocolos entre laboratorios. El resultado a día de hoy es el portal *openwetware* (<http://openwetware.org/>), basado en un entorno *wiki* (con la filosofía de *Wikipedia*), en el que más de 100 laboratorios de investigación y 40 instituciones y colaboradores individuales que están adscritos proporcionan al detalle sus protocolos de trabajo. En la actualidad más de 25.000 páginas están en edición con una comunidad de más de 14.000 personas trabajando en ellas. De hecho, en el día a día del laboratorio, resulta más cómodo acceder a esta página por ejemplo desde un teléfono móvil y consultar un determinada duda que desempolvar el libro de *Molecular Cloning* (la biblia de las técnicas del laboratorio de biología molecular en los años 80, cuyo precio actual es de algo más de 280\$ en su cuarta edición).

Desde la biología sintética algunas de las iniciativas llegan más lejos que el mero acceso a la información, buscando la democratización en la capacidad de modificar la herencia de los organismos, hasta ahora reservada a instituciones de investigación y compañías biotecnológicas.

8

La “competición internacional de maquinaria ingenierizada genéticamente” cuyas siglas en inglés son iGEM es un ejemplo de este cambio de concepción. Inicialmente desarrollada desde el MIT en el 2003, el iGEM ha conseguido captar el interés de universidades (este año han participado mas de 250), institutos de secundaria y desde este año de particulares no adscritos formalmente a ningún centro de investigación o universidad. Se trata de diseñar y crear dispositivos biológicos mediante la ingeniería genética que constituyan una contribución significativa dentro de una serie de áreas entre las que se encuentran la bio-sostenibilidad, biomedicina, o incluso el desarrollo de software o protocolos éticos para el buen hacer del biólogo sintético.

El biólogo DIY

Pero, ¿qué es un biólogo DIY y por qué se está permitiendo desde las administraciones más tradicionales de la ciencia su acceso a este tipo de tecnología?

Los llamados biólogos DIY son principalmente aficionados a la biología molecular que, fuera del circuito establecido para la ciencia e industria, buscan el desarrollo de su creatividad. La intención es desarrollar algún pequeño proyecto de biotecnología que va desde el aislamiento y visualización del ADN hasta la manipulación genética de algún organismo. Cabe destacar que su actividad no está formalmente adscrita a ningún centro de investigación, pero la tendencia es a colaborar compartiendo espacios para el desarrollo de su proyectos. En esta comunidad, la falta de recursos se suple mediante ingeniosos métodos caseros. Un ejemplo es el uso de colorantes alimenticios para la tinción de ADN o la construcción de aparatos de laboratorio como centrifugas usando un disco duro o incluso termocicladores cuyos planos se pueden encontrar en la página *web* de hackteria.org y de www.instructables.com, respectivamente.

Gracias a Internet y a proyectos como el de *Arduino* a día de hoy se puede tener en el garaje o en la cocina de un hogar el equipamiento de un rudimentario laboratorio de biología molecular. Un artículo muy ilustrativo acerca de cómo hacerlo fue publicado en la revista *Nature* hace algunos años (Ledford H.Life Hackers. *Nature* 467: 650, 2010). En Estados Unidos esto es especialmente fácil, ya que existe un amplio mercado de materiales e instrumentación de laboratorio de segunda mano. Este es el caso de compañías como labx.com o en Europa labexchange.com. A esto hay que añadirle la disponibilidad de maquinaria construida en código y *hardware* abierto por parte de empresas de nueva creación que ofrecen *kits* comerciales y aparatos de laboratorio bajo licencia *creative commons* en los que el usuario mismo puede construir el aparato.



Modelo de centrifuga de tubos de 1.5 mL, fabricado a partir de un disco duro de ordenador desarrollado por Guadí Labs (Lucerna, Suiza) <http://hackteria.org/>.

Más allá de una afición: la industria DIY y su nicho comercial

La *openPCR* es un ejemplo de cómo se puede tener una actividad comercial basándose en el libre acceso de la información. Ésta es una máquina en código y *hardware* abierto comercializada por la compañía americana *Chai technologies* al precio de 600\$ (máquina ya ensamblada). Su precio sorprende cuando se compara con el estándar de un termociclador comercial, de alrededor de 6000\$. Un punto a favor de esta iniciativa es su completo acceso a su diseño, comparado con la información limitada que proporciona una compañía comercial estándar en el manual de uso de su aparato. Lejos de quedarse ahí, esta compañía planea el lanzamiento de un equipo de PCR cuantitativa (qPCR) de similar filosofía. El negocio de estas compañías está en que a no todos les gusta empezar desde cero y la compañía ofrece, cobrando por ello, *kits* de montaje del aparato tipo IKEA e incluso, para los más perezosos, el aparato ya montado.

El sistema de financiación por el que estas empresas llegan a constituirse es en sí también muy interesante ya que principalmente surgen de iniciativas de *crowdfunding*. Plataformas como kickstarter.com a nivel internacional o en España plataformas como lanzanos.com arbitran la recaudación de la donación de personas a las que les gustaría que un determinado proyecto se llevara a cabo. En muchos casos se trata de cortos cinematográficos, o aplicaciones de móvil pero también incluye la financiación de *hardware* e instrumentación especializada.

En los últimos años, la generación de organismos transgénicos ha llegado a ser objeto de este tipo de financiación. Este es el caso del *crowdfunding* para la generación de plantas luminiscentes (*Glowing plants: Natural light without electricity*) que en 2013 y solicitando una aportación de tan sólo 8000\$, obtuvo en un mes una recaudación de 500.000\$. El reclamo a la donación fue el ofrecer semillas de la planta "ingenierizada". Ante esta situación saltó la polémica y la plataforma que gestionaba el mecenazgo (www.kickstarter.com) decidió que, si bien permitía proyectos de modificación genética de organismos, éstos no podrían nunca ofrecer el organismo como retribución de la ayuda aportada. Cabe decir que en Estados Unidos la comercialización de organismo transgénicos es legal, como es caso del pez fluorescente patentado y registrado como marca Glofish®; un escenario legal distinto al de Europa y que requeriría todo un artículo en sí mismo.

Ventajas y riesgos de la democratización de la biotecnología

Hay que aclarar que la mayor parte de estos proyectos no van más allá de la modificación sencilla de organismos muy simples como bacterias. Aquellos que han estado en un laboratorio saben que la manipulación y mantenimiento de un organismo requiere de una instrumentación adecuada que además es, por lo general, costosa. Esto supone un cortafuegos para el desarrollo de cualquier proyecto y así lo entienden las agencias de seguridad, pero también es un hecho que este cortafuegos es sólo provisional.

La mayor incertidumbre en el panorama inmediato es la cada vez más abaratada síntesis de DNA. Hoy por hoy podemos diseñar por ordenador secuencias de genes "a la carta" que se pueden solicitar a una compañía y ser sintetizadas. Para que no se pueda hacer cualquier cosa, las compañías se están adhiriendo a códigos de buenas prácticas y no todo y ni a todos se les puede sintetizar un gen. El sistema es aún imperfecto, ya que las compañías no están obligadas a pertenecer a estos tratados. Además, tampoco podemos garantizar que en un futuro la propia síntesis sea un producto que se pueda hacer en un garaje. La historia nos da pruebas de nuestro sorprendente avance tecnológico. Si para la secuenciación del genoma humano hizo falta un consorcio internacional y 10 años de trabajo, hoy un laboratorio especializado puede ofrecerte en un día la secuencia de tu genoma por algo más de 1000\$.

Ante el riesgo potencial de lo que puedan hacer colectivos no vinculados a los organismos tradicionales, la solución fácil sería prohibir este tipo de iniciativas y restringirlas a centros especializados. Sin embargo, tal y como indica un editorial en la revista *Nature* titulado "*The DIY dilemma*" (*Nature* 503: 437, 2013) basado en un estudio realizado por el Wilson Center en su informe "*Seven Myths and Realities about Do-It-Yourself Biology*" la comunidad DIY se aleja de las caricaturas de "freaky" o bioterrorista que distintos foros de opinión vierten sobre esta comunidad. Las encuestas realizadas sobre este colectivo, muestran un perfil de formación mayor que la media de la población. Muchos de los encuestados son o han sido trabajadores en algún centro de investigación y un porcentaje no desdeñable del casi 20% poseen el grado de doctor. Por otra parte, sus proyectos suelen ser atractivos por su creatividad ante la falta de recursos y ofrecen alternativas económicas a una ciencia cada vez más costosa y dependiente de las compañías biotecnológicas. Parece, por tanto que no estamos hablando de un ciudadano corriente, sino de alguien que, teniendo las cualidades para pertenecer al sistema académico o a la industria, elige tener una actividad fuera de él. Evitar que exista este tipo de iniciativas es difícil y prohibirlas sólo llevaría a hacer que estas actividades se desarrollaran en una cultura de clandestinidad. Un ejemplo de espacio abierto a la ciudadanía es el *Genspace New York City Community Biolab* (<http://genspace.org/>). Se trata de una organización sin ánimo de lucro que promueve y acerca la ciencia, en particular la biotecnología, al ciudadano. Su financiación viene a través de donaciones y cursos de formación y cabe decir que sus fundadores pertenecen o han pertenecido a la comunidad investigadora. En su página *web* se puede ver claramente que el tema de la bio-seguridad y la necesidad de una formación adecuada para los miembros de esta comunidad es un prerrequisito para el desarrollo de distintos proyectos.

Éste no es un caso aislado. La plataforma DIY BIO (<http://diybio.org/>) fundada en 2008 engloba a estas iniciativas a nivel mundial, proporcionando entre otras cosas asesoramiento en cuestiones de bioseguridad a modo de “pregunta a un experto” de la *American Biological Safety Association* donde cualquier persona o grupo puede plantear su pregunta en relación al proyecto que está llevando.

Pero ¿cuál es la postura de las agencias de seguridad? El FBI (EEUU), dentro de su programa para divulgación y sensibilización de ciencias biológicas tiene como uno de sus objetivos el acercamiento a la comunidad DIY. Su intención es estar presente informando y concienciando acerca de la necesidad de unos criterios de bioseguridad.

La estrategia que se ha elegido parece clara. Existe una vigilancia por parte de las agencias de seguridad fomentando una cultura de transparencia. En Europa la tendencia es similar aunque el formato de los proyectos tiene una orientación más artística (Seyfried G *et al.* European do-it-yourself (DIY) biology: Beyond the hope, hype and horror. *Bioessays* 36: 548-551, 2014). *La Paillasse* en París (<http://v2.lapaillasse.org/>) fundada en 2011 es uno de los primeros espacios creados en Europa. En su página *web* es posible identificar fácilmente su filosofía de transparencia, acceso a la información, su compromiso con la educación y responsabilidad de cara a la modificación de genética de organismos.

Tal y como apunta Ellen Jorgensen de *Genspace* en su *TED talk* (“*Biohackers you can do it too*” *TED-global* 2012) el potencial de abordar la biotecnología en este tipo de espacios colaborativos ofrece una libertad al ciudadano que no existe desde el sistema de ciencia convencional. Desde estos espacios, cualquiera sin mediación de una institución gubernamental puede preguntarse e intentar averiguar si sus cereales del desayuno contienen algún tipo de transgénico, si realmente está consumiendo atún u otro tipo de pescado en su plato de Sushi o incluso pretender construir un biofuel viable. Sólo se exige cumplir las normas de seguridad y la legalidad vigente.

Desde el punto de vista social estas iniciativas suponen cambio ya que implican una alternativa, en la medida que sus posibilidades les permiten, al acceso al conocimiento y la experimentación a través de las universidades y centros de investigación como centros de saber.

El Zar y la vieja guardia

La ciencia no está exenta de modas y no carece de una importante componente social. La biología sintética, es según sus defensores, la nueva ingeniería de la vida y como todo paradigma viene con una nueva legión de seguidores que traen sus propios modos y formas. Sin embargo, la biología sintética parece que no es un término que sea exclusivo de la academia. Una porción de la comunidad DIY se identifica con ello y sin embargo, realizan sus actividad alejándose de los cánones establecidos por la ciencia estándar. El biólogo DIY no está interesado en acceder a una revista de prestigio, ni requiere de eso para conseguir financiación. El *crowdfunding*, y el no medir el éxito de un trabajo científico por publicaciones o patentes conseguidas aportan una flexibilidad atractiva que no puede ofrecer la ciencia estándar. Publicar o patentar por los canales oficiales es innecesario en esta comunidad. Si bien es cierto que el modo por el que comunidad DIY presenta sus avances no ofrece las garantías de la revisión por pares del sistema estándar de publicación científica, tampoco implica sus costes. En cualquier caso dada la flexibilidad de la comunidad DIY, un sistema de revisión por expertos podría llegar a instaurarse sin costes y otras limitaciones que implica el sistema editorial científico.

Por último, hay que apuntar al hecho de que el sistema científico está en la actualidad saturado de profesionales (Cyranoski *et al.* The PhD Factory. *Nature* 472, 276-279, 2011). Esto supone un problema para aquellos motivados en seguir una carrera científica ya que ven que en el sistema no existe un espacio para iniciar y desarrollar su carrera profesional.

La lectura que debemos hacer no es si este tipo de actividades llegará lejos, sino que si existen son un síntoma de que algo va mal a la hora de canalizar por los cauces establecidos el potencial y creatividad de los miembros más jóvenes de nuestra sociedad. Como se ha mencionado en este artículo, algunas instituciones en Estados Unidos y en Europa, ya conscientes de la pérdida de ese potencial, se han acercado a las iniciativas DIY intentando canalizarlas. Y es que... “si no puedes vencerlos, únete a ellos”...

España, muy atrasada en lo que a cultura científica se refiere, está a la cola de estas iniciativas. En un sistema saturado de profesionales y angostado por la falta de recursos, la nueva generación de jóvenes creativos que ahora salen de nuestras universidades sólo pueden optar por el exilio o el hacérselo ellos mismos.

Agradecimientos. Gracias por los comentarios y sugerencias de Salvador Durán Nebreda en la revisión del manuscrito y al resto de los miembros del Laboratorio de Sistemas Complejos.





Obsolescencia e intervención: a propósito de los entes biológicos sintéticos

Andrés Moya

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de la Universitat de València, Fundación para el Fomento de la Investigación Sanitaria y Biomédica de la Comunitat Valenciana (FISABIO) y CIBER en Epidemiología y Salud Pública (CIBEResp).

c/ Catedrático José Beltrán 2, 46980 Paterna, València
andres.moya@uv.es

11

La ciencia puede asimilarse a un lenguaje cuya construcción viene de aplicar un método de indagación de la naturaleza al que podemos denominar “hipotético-deductivo”. Pero podemos reflexionar sobre la ciencia, sobre su lenguaje, recurriendo a un segundo lenguaje, un lenguaje de segundo nivel al que podemos denominar “metalenguaje”. Este metalenguaje no se sirve, o no se tiene que servir necesariamente, del mismo método que la ciencia para indagar en la naturaleza. Dado que el metalenguaje sobre la ciencia pretende indagar sobre la ciencia misma, probablemente nos sirvamos de otros métodos para saber qué es esa cosa, objeto de su reflexión, a la que denominamos “ciencia”. El lenguaje de la ciencia, o lenguaje científico, y el metalenguaje sobre la ciencia, o metaciencia, son dos asuntos enteramente diferentes. La primera, ya lo he indicado, indaga sobre la naturaleza de las cosas y busca leyes y teorías explicativas sobre las mismas, mientras que la segunda lleva a cabo una reflexión en torno a lo que sea esa cosa a la que denominamos ciencia; es decir, es una reflexión en torno a la ciencia. Pero: ¿qué se entiende por reflexionar en torno a la ciencia? Son muchos los temas que pueden entrar en ese dominio, por ejemplo: ¿es cualquier cosa susceptible de ser incorporada al lenguaje de la ciencia? Dicho de otro modo: ¿existen límites a la capacidad de la ciencia? ¿Qué es aquello que no puede ser objeto de estudio por parte de la ciencia? En realidad las tres cuestiones están relacionadas y, por supuesto, son muchas otras las preguntas que podemos formular sobre la ciencia. Me permito centrarme, no obstante, en estas porque deseo traer a colación el caso de cómo asuntos que puedan estar al margen del tratamiento por parte de la ciencia, tarde o temprano parece que acaban incorporándose a ella. Y me voy a servir, en particular, de la biología sintética, una ciencia biológica reciente (aunque algunos sostienen o pretenden considerarla como una forma de ingeniería) que parece haberse convertido en una

especie de quintaesencia en torno a lo que pueda llegar a ser el conocimiento de los seres vivos y su manipulación profunda. Comento que se trata de una modalidad de biología reciente. En realidad existe toda una historia en torno a la biología sintética y, en términos conceptuales, sus objetivos bien pudieran estar presentes en los intereses y esfuerzos de investigación de ilustres predecesores a lo largo de la primera mitad del siglo XX, e incluso antes. En todo caso, y *grosso modo*, lo que se puede sostener es que tales esfuerzos fueron prematuros y que el estado de la ciencia del momento no permitía hacer las incursiones en torno a la modificación, recreación o creación de organismos o partes que tenemos en la actualidad. Ahora parece que la fruta está más madura y es por ello por lo que considero a la biología sintética como una joven o reciente ciencia biológica.

En realidad, o en buena medida, cuando se habla de biología sintética se está haciendo referencia, en primera instancia, a una declaración de intenciones, por no decir anhelo, deseo o esperanza, de que el ente biológico que es tratado por esa disciplina esté totalmente controlado; es decir, que funcione según lo hemos diseñado y que no se salga un ápice del papel que se le ha asignado. Evidentemente si no se hubieran dado algunos avances ya en el campo de la biología sintética, algunos logros, de poco serviría para su supervivencia futura el seguir anclados en la mera declaración de intenciones. Si algunas ciencias avanzan es porque algunos de sus logros incipientes las catapultan hacia la celebridad, conocimiento y reconocimiento por parte de la comunidad científica y el resto de la sociedad. Y es ahí cuando entramos en el campo de los deseos y las esperanzas de esas nuevas ciencias, de sus promesas. Eso es lo que está ocurriendo con la biología sintética.

La aspiración fundamental del biólogo sintético consiste en que el ente biológico objeto de fabricación responda de la misma forma que responde un automóvil tras ser fabricado en una cadena de montaje. En realidad la metáfora

del automóvil es tan válida como la de cualquier otro ente mecánico, o de otro tipo, construido por el hombre, quizás con la única condición de que todos ellos sean producto de cadenas de montaje. En efecto, un automóvil empieza a ser construido en una cadena y acaba dando un ente final concreto. Son muchos los componentes del mismo y todos tienen una función concreta y delimitada por el constructor. La unión de sus componentes conforma un ente mecánico que funciona de una determinada forma como consecuencia de que todos ellos son bien conocidos y el propio fabricante junta unos con otros siguiendo un determinado plan para que el conjunto funcione como se desea. La pretensión de que un ente biológico fabricado funcione igual que un automóvil nos lleva a dos reflexiones pertinentes. La primera es la de la obsolescencia del ente, y la segunda la de intervención sobre el mismo.

Examinemos en primer lugar la circunstancia de la obsolescencia. El automóvil, como es de sobra conocido, tiene una vida media. Cualquiera de sus partes, sobre todo las fundamentales para su fin, inevitablemente se desgastan atendiendo a que los materiales se descomponen, se transforman por el roce de unos con otros, o por cualquiera de los múltiples motivos que llevan a que el automóvil deje de funcionar. No hago referencia a que deje de funcionar porque se destrozó tras un accidente, sino simplemente a que se desgaste y ya no sirva para aquello para lo que ha sido construido. ¿En qué medida esta metáfora aplica al ente biológico, en general y, en particular, al ente biológico sintético? En realidad, del ente biológico (al igual que del automóvil) también nos podemos formular la siguiente pregunta: ¿sufrirá algún tipo de desgaste que le lleve a dejar de funcionar o funcionar de otra manera antes de llegar, por ejemplo, al momento cumbre de su división o reproducción, es decir, antes de llegar a dejar descendencia? En efecto, así es. Supongamos un ente biológico individual, por ejemplo un microorganismo o una célula de un organismo multicelular que, por su especialización, puede ser una célula germinal, encargada de la reproducción del organismo, o una célula no germinal, que se dividirá por mitosis dando copias de sí misma. En el caso del microorganismo, o de las células no germinales, llega un momento en que se dividen y producen dos copias genéticas de sí mismo, pero hasta llegar a ese punto han sufrido procesos de transformación, metabolismo en última instancia, que las han cambiado con respecto a cómo pudieran ser en el instante mismo en que aparecieron a partir de sus respectivos ascendientes. Suele pensarse que es solamente

en el instante de la división (reproducción) cuando acontecen los cambios genéticos, que son los más relevantes a la hora de considerar la posible transformación. Esos cambios se hacen patentes en la descendencia en la medida en que presenten diferencias genéticas con respecto a sus progenitores. Pero de lo que aquí estoy hablando es de cambios previos en la maquinaria metabólica. La célula se transforma, crece, y antes de multiplicarse, ha cambiado. Por lo tanto, no se trata solamente de cambios genéticos, sino también cambios en su metabolismo. De una célula microbiana suele decirse que es inmortal en la medida en que, antes de desaparecer como tal, ya se ha dividido. Y en un organismo multicelular, con células especializadas en la reproducción, normalmente ellas mismas se unen con otras células reproductoras de otros organismos, tras sufrir previamente meiosis, para generar la descendencia. Pero todos estos tipos, las células microbianas inmortales, las células del linaje germinal con capacidad de reproducirse y el resto de células no germinales con reproducción mitótica, se transforman metabólicamente antes de llegar a sus correspondientes momentos de división y reproducción, respectivamente. Y esos cambios, más o menos manifiestos o dramáticos, pueden ser fundamentales, tanto que pueden acabar con la vida misma de los entes correspondientes antes de llegar a su división o reproducción. En realidad todas estas células tienen una vida media que la evolución ha podido optimizar para lograr que puedan llegar a dividirse o reproducirse, según los casos. La metáfora del automóvil como célula parece no dar mucho más de sí, hay algo que no acaba de cuadrarnos, porque los automóviles llegan a ser obsoletos y van al desguace, mientras que las células, aunque con vida media y con transformación y degradación con el tiempo, se las arreglan para dejar descendencia. Parece que tienen cierta autonomía para llegar, normalmente, a tales estados. Solamente la metáfora del automóvil valdría si se pudiera alargar la vida media de sus componentes, y que a fuerza de ser reparados de forma sistemática el automóvil siguiera siendo el mismo que salió de la cadena de montaje. El automóvil, para seguir siendo lo que es, debe ser intervenido. Y aquí entramos en la segunda reflexión, pues el ente biológico, para mantenerse como lo que es y llegar al momento en que se divida o reproduzca, se autointerviene, se regula a través de su metabolismo. Toda la evolución, más de tres mil millones de años de esfuerzo sin tregua median para lograr que esa autointervención sobre los organismos unicelulares, que se dividen, o los pluricelulares, con células que se dividen y otras

que se reproducen, sea efectiva; es decir, que las transformaciones que van aconteciendo como consecuencia de que los organismos están en permanente interacción con su entorno no sean de tal magnitud que los degraden o degeneren hasta el punto de impedir que se dividan o reproduzcan. Esta observación, que considero clave, y que formulo con respecto a los entes biológicos, la hemos de tener presente a la hora de considerar a los entes biológicos sintéticos. Porque aun cuando los automóviles son obsoletos y su obsolescencia puede resolverse por intervención, los entes biológicos resuelven su obsolescencia, más o menos, por autointervención. Si un ente biológico sintético es, por definición, un ente biológico, hará frente a su obsolescencia de forma autónoma o mucho más autónoma que lo pueda hacer un automóvil. Solamente dejaría de hacerlo si introdujéramos, haciendo hincapié en la parte sintética del concepto, alguna forma de control que impidiera dinámica tan natural. Pero no concibo otra forma de control del ente biológico que no esté basada en su conocimiento profundo. En otras palabras, la intervención sobre el ente biológico

o, en su defecto, la fabricación de un ente biológico a partir de componentes biológicos, es decir la creación de un ente biológico sintético, tiene una diferencia fundamental con respecto al ente que denominamos automóvil. Este último está totalmente diseñado desde el principio. Por el contrario, el ente biológico ya lo estaba, y sus reglas de construcción y funcionamiento no nos son del todo conocidas. Y, en la medida en que no lo son, nos arrojan al ámbito de lo impredecible. No quiero con ello sostener que nos arrojen a la absoluta impredecibilidad o que no exista forma alguna de control de aquello que manejamos. Existen controles e intervenciones externas al propio ente que pueden hacer del mismo un ente controlable, aunque más bien debiera decir crecientemente controlable, pero no absolutamente controlable. Al ente biológico sintético le precede un ente biológico que, como sistema en evolución, necesita ser conocido con suficiente detalle como para poder controlar sus autointervenciones (1).

13

Bibliografía citada:

1. Moya, A. El cálculo de la vida. Universitat de València, València, 2014.





Biología sintética: legitimación social y apoyo público

Enrique Viguera Mínguez¹ y Antonio Diéguez Lucena²

¹Área de Genética, Facultad de Ciencias y ²Departamento de Filosofía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga, 29071 Málaga
eviguera@uma.es , dieguez@uma.es

14

La percepción pública de la ciencia suele estar sometida a distorsiones que tienden a borrar los matices y a generar valoraciones globales y de una sola pieza. Los medios de comunicación de masas contribuyen en mucho a crear esperanzas desmedidas en próximos y espectaculares beneficios proporcionados por la investigación científica o, por el contrario, a despertar recelos exagerados que carecen en no pocas ocasiones de base racional. Por eso se ha convertido ya en una tarea necesaria para cualquier profesional de la ciencia con vocación y talento para ello el ofrecer información clara y accesible sobre la investigación realizada. En efecto, dadas las circunstancias, la tarea divulgadora no puede ser por más tiempo una afición de algunos científicos o escritores con formación científica, sino que debe asumirse como una función más –y no de las menos relevantes– de la profesión científica. La ciencia necesita para su supervivencia (al menos en la forma que ha venido teniendo hasta ahora) del favor de la opinión pública, y si los científicos no proporcionan de forma decidida y abundante esta información socialmente reclamada, los ciudadanos acudirán para obtenerla a fuentes menos fiables, lo cual hará sin duda que la mala información se extienda por foros diversos e incluso acabe anulando la buena información que la comunidad científica intente propagar. La mala información, como la mala moneda, acaba siempre circulando más que la buena.

Hace ya más de setenta años que Ortega y Gasset, en su obra *Historia como sistema*, escribió lo siguiente:

La ciencia está en peligro. Con lo cual no creo exagerar –porque no digo con ello que la colectividad europea haya dejado radicalmente de creer en la ciencia–, pero sí que su fe ha pasado, en nuestros días, de ser fe viva a ser fe inerte. Y esto basta para que la ciencia esté en peligro y no pueda el científico seguir viviendo como hasta aquí, sonámbulo, dentro de su trabajo, creyendo que el contorno social sigue apoyándole y sosteniéndole y venerándole.

Quizás, pese a su convicción contraria, Ortega pecó de exageración. La ciencia, en el momento actual, goza de un enorme poder e incrementa cada día su capacidad de influencia social. Sin embargo, lo que a Ortega le preocupaba no estaba pese a todo tan desencaminado. Esencialmente, le preocupaba que la ciencia hubiera abandonado el estudio de los problemas que afectan de forma radical al ser humano y que se hubiera desentendido del destino de éste. El éxito de la ciencia, nos dice, “no excluye su fracaso con respecto a la totalidad de nuestra existencia”. Obviamente, con ello Ortega no le está pidiendo a la ciencia que le dé un sentido a nuestras vidas, o que arregle todos los problemas vitales que puedan presentársenos. Está señalando simplemente que una ciencia despreocupada de la tarea de mostrar a los ciudadanos en qué consisten sus logros y cómo van a mejorar estos sus vidas en aspectos realmente importantes y no solo periféricos es una ciencia que corre el riesgo de perder la fe “viva” depositada en ella por esos ciudadanos, y, por tanto, no solo arriesga su imagen pública, sino que marcaría un camino de tránsito no muy halagüeño. La ciencia no debe perder de vista que la prioridad de la investigación no debe ser la satisfacción privada de la curiosidad del investigador, ni tampoco la obtención de conocimientos que otorguen mayor poder de control a la comunidad científica o a los políticos o empresarios que deciden invertir en la investigación. Son los intereses vitales de las personas concretas las que han de marcar la agenda investigadora, como en nuestros días ha argumentado el filósofo de la ciencia Philip Kitcher.

La biología sintética, pese a su breve existencia (poco más de una década) es ya un campo disciplinar con un enorme potencial científico y económico. Sin duda cambiará –está cambiando ya– métodos y objetivos en la investigación biológica. Pero es su enorme potencial tecnológico el que ha atraído la atención pública, aunque todavía de forma minoritaria (según el Eurobarómetro, en el 2010 un 83% de los encuestados en países europeos no había oído hablar jamás de este campo). Podemos decir que su imagen pública se está fraguando aún, pero lo está haciendo a un ritmo creciente y de forma sólida.

No es de extrañar, puesto que se prevé un impacto económico enorme en los próximos años, y con un crecimiento espectacular. Se dice que para el 2018, la biología sintética moverá en torno a los 12 mil millones de dólares al año. Una cifra sorprendente si tenemos en cuenta que en 2010 movió la apreciable pero muy inferior cantidad de 1147 millones de dólares. La biología sintética tendrá a buen seguro aplicaciones decisivas en biomedicina, en la producción de biocombustibles, en la agricultura y la industria alimentaria, en la industria químico-farmacéutica, en la producción de nuevos materiales, en la biorremediación de ecosistemas dañados, etc. Tales son los efectos beneficiosos que suelen señalarse cuando se habla de ella. Pero también son muchos los peligros que encierra (inseguridad en los efectos previsibles, uso potencial para el bioterrorismo, eventual contaminación de sistemas naturales, fomento de la desigualdad social debido a su uso diferencial, etc.). Dadas las similitudes que presenta con la ingeniería genética clásica, no es de extrañar que su incipiente imagen pública se presente todavía de forma poco disociada de la de aquella, con las consecuencias positivas y negativas que ello supone.

Debido justamente a su corta historia como disciplina y a su enorme potencial transformador, la biología sintética necesita en la actualidad, como quizás ninguna otra disciplina biológica, de una buena tarea divulgadora que explique al público lo que se está haciendo realmente y que distinga los objetivos y logros reales de lo que algunos investigadores, por prestigiosos que puedan ser, sueñan con que se haga en un futuro lejano. Tan lejano que toda suposición sobre él resulta especulativa. En ese sentido, la buena divulgación debería contrarrestar los efectos negativos de la divulgación sensacionalista, que a la larga hace a la ciencia más daño que beneficio. Un ejemplo de este tipo de sensacionalismo acerca de la biología sintética lo ha proporcionado recientemente el libro del genetista de Harvard George Church y del divulgador científico Ed Regis titulado *Regenesis. How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves*, que fue recensionado por uno de nosotros en un número anterior de *Encuentros en la Biología*.

Es muy importante clarificar, como acabamos de decir, cuáles son los objetivos y los logros actuales de la biología sintética, pero también cuáles son los objetivos y resultados previsibles y realistas a alcanzar en un futuro próximo. Los científicos implicados han de desempeñar en esa labor el papel fundamental. No obstante, serán también de ayuda los análisis que puedan realizarse desde el ámbito de las humanidades y de las ciencias sociales. Al fin y al cabo es mucho lo que está en juego. Se trata nada menos –si se cumplen las expectativas– de poner en marcha el control tecnológico del proceso evolutivo y de convertir, por tanto, a la biología en la ciencia con más poder de toda la historia, mayor incluso del que ha tenido la física a lo largo del siglo XX. Además, los científicos implicados necesitarán en ocasiones de apoyo en esa tarea de reflexión sobre su propia actividad investigadora. La ciencia es hoy en día una parte central de la cultura. Ya quedaron atrás los tiempos en los que muchos pensaban que la cultura estaba en otros lugares distintos a los de la ciencia. Ésta influye de forma decisiva en el arte, la literatura, la filosofía, la religión y la política de nuestro tiempo, y, por ende, es una pieza más (y de importancia creciente) en la configuración de la mentalidad y de la forma de ver el mundo de los seres humanos. Pero debido a su indudable impacto social, la ciencia se hace también objeto de escrutinio para el resto de los agentes culturales. Tal escrutinio no debería ser visto a priori con prevención por parte de la comunidad científica. Todo lo contrario; en una época en la que una parte de la investigación se hace con financiación privada, ese escrutinio, realizado con rigor, parece imprescindible para afianzar la credibilidad de la propia ciencia frente a la opinión pública.

Hay de hecho razones para pensar que, aunque queda mucho por hacer en esta tarea de divulgación y de análisis, el público bien informado está por el momento adoptando actitudes bastante prudentes acerca de la biología sintética. No está claro en qué medida esto sería aplicable a todos los países, pero un estudio publicado recientemente en el Reino Unido acerca de las opiniones ciudadanas sobre la biología sintética dejaba translucir que dichas opiniones son lo suficientemente sensatas y bien articuladas como para ser tenidas muy en cuenta. Describen bastante bien las esperanzas y temores realistas que la biología sintética puede suscitar en personas que disponen de buena información sobre las cuestiones relevantes. El informe en cuestión se titula "*Synthetic Biology Dialogue*", y recoge los resultados de una serie de *workshops* y entrevistas realizados con unos doscientos ciudadanos británicos entre 2009 y 2010 a instancias del *Biotechnology and Biological Sciences Research Council* y del *Engineering and Physical Sciences Research Council*. El texto completo está disponible para su consulta en el siguiente enlace: <http://www.bbsrc.ac.uk/documents/1006-synthetic-biology-dialogue-pdf/>

De forma muy resumida, lo que el informe viene a concluir es que, en el diálogo e intercambio de información con los especialistas, la mayor parte de las personas consultadas muestran un gran interés por la investigación en biología sintética, son partidarios de fomentar la investigación en este campo, teniendo en cuenta los enormes beneficios potenciales, pero son igualmente partidarios de una regulación externa moderada que, sin ahogar la investigación, pueda supervisarla de forma eficiente para evitar algunos de los graves peligros que también gravitan en torno a ella, especialmente el uso malintencionado de los resultados (bioterrorismo) y los efectos perjudiciales que podría tener la liberación al medio ambiente de organismos sintéticos o rediseñados en el laboratorio. Es de destacar también la importancia que las personas consultadas conceden a la necesidad de que los científicos se impliquen en la reflexión ética sobre su trabajo y que lo realicen con humildad y responsabilidad, sabiendo priorizar los intereses generales frente a los particulares.

Este informe pone un punto de buen sentido en un debate –el de las consecuencias previsibles de la biología sintética– que en ocasiones ha quedado en manos de tecnófilos con escasa sensibilidad política y social o de tecnófobos reticentes a cualquier cosa que se parezca a lo que ellos suelen calificar como “jugar a ser Dios”, una noción, por cierto, que nunca han conseguido definir satisfactoriamente. En todo caso, lo que viene quedando cada vez más claro es que el debate público sobre la biología sintética es una exigencia de la sociedad –son ya muchas las organizaciones civiles e instancias gubernamentales que lo han reclamado y fomentado– y que será un debate central en los próximos años. De todos depende que marche por buen camino, pero de los científicos, especialmente, depende que el compromiso público con este nuevo campo sea el adecuado. Para ello, es importante que la agenda investigadora no se desentienda de las preocupaciones y necesidades reales de los ciudadanos. Una de las cosas que más inquietud suele generar es que los propios científicos se desentiendan de los efectos y aplicaciones de sus trabajos o que busquen con ellas el cumplimiento prioritario de intereses particulares. Como acertadamente se ha señalado en el informe de la Comisión Europea, titulado *Preliminary Opinion on Synthetic Biology II* (disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_048.pdf), “es vital reconocer la importancia de mantener el apoyo y la legitimación pública. Para conseguirlo, la investigación científica no debe alejarse demasiado de las actitudes públicas y las aplicaciones potenciales deben mostrar claros beneficios sociales” (p. 14). Es, pues, una prioridad cuidar este asunto, y sería un error pensar que el debate público perjudica a la investigación. Quizás, por sí solo, no baste para que se susciten apoyos, pero su ausencia generaría con toda probabilidad más recelos de los convenientes.





Biología sintética: en la intersección entre sociedad y naturaleza

José A. Zamora

Dpto. de Filosofía Teórica y Filosofía Práctica
 Instituto de Filosofía - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
 C/Albasanz, 26-28. Madrid 28037
ioseantonio.zamora@cchs.csic.es

“Por medio de la biología sintética el trato humano con la naturaleza se desplaza del paradigma de la manipulación al de la creación”

(Boldt *et al.* 2009)

17

La biología sintética persigue un doble objetivo: “crear” vida artificial y posibilitar su explotación industrial. Dentro de las ciencias de la vida la biología sintética se distingue por una decidida pretensión ingenieril, es decir, por la prioridad que da a la construcción de entidades biológicas, a poner bajo control los fenómenos biológicos o producirlos más que —o tanto como— a comprenderlos. Lo que diferencia a la biología sintética de la ingeniería genética convencional es que no trata solo de leer y analizar ADN o de aislar genes que se dan en la naturaleza y montarlos en organismos ya existentes, sino de “escribir” otros completamente nuevos y de “imprimirlos” o sintetizarlos a continuación. Así pues, no busca sólo adaptar o modificar sistemas biológicos existentes, sino diseñar, modelizar y construir nuevos sistemas biológicos. De esta manera ha de ser posible re-sintetizar genes naturales y producir nuevos genes, nuevas enzimas o incluso formas de vida con capacidad de autorreproducirse de las que no existen formas semejantes en la actual biodiversidad.

Estos planteamientos científico-tecnológicos van de la mano del otro gran objetivo de la biología sintética: patentar y explotar industrialmente la vida. Sus promotores prometen un sinfín de posibles aplicaciones comerciales en la medicina, la bioquímica, la producción de energía, la agricultura y la fabricación de armas biológicas. Muchas de ellas son sólo promesas, pero en otras se han dado ya pasos importantes hacia su realización. Sobre todo la síntesis de genes y la producción de enzimas ya han alcanzado el estadio de una aplicación comercial. En el 2010 John Craig Venter daba a conocer en la revista *Science* el logro de una célula artificial generada por completo a partir de elementos inertes, en realidad un híbrido con la estructura natural de una bacteria viva y el material genético artificial. Más allá de estas noticias espectaculares, los principales trabajos de la biología sintética se centran en la optimización de los procesos que permitan reforzar la discutida tesis de la biología molecular sobre el flujo unidireccional de información entre el ADN, ARN y la síntesis de proteínas a través de la transcripción y la traducción; el control y la regulación de la transcripción y la traducción; la construcción y la reconstrucción de los procesos de intercambios de señales entre organismos y entorno; bio-sistemas ortogonales, etc.

* * *

No cabe duda de que el desarrollo de las ciencias de la vida va de la mano de nuevas formas de apropiación y aprovechamiento económicos de materiales orgánicos y de seres vivos. Aunque existen evidentes diferencias entre las múltiples prácticas y procesos involucrados en planos sociales diversos y que, por tanto, actores, procesos y prácticas no pueden ser reducidos a una lógica unidimensional que subsuma todos los ámbitos y objetos, se trata por lo general de procesos y prácticas orientados a la mercantilización y la producción de valor. De ahí la importancia que adquiere la capacidad de aislar los objetos, los procedimientos y los instrumentales patentables para asegurar el título de propiedad y para que puedan circular como mercancías, así como la capacidad de asegurar su inserción eficaz y segura en procesos productivos de toda índole. Los procesos de cosificación y valorización de los bio-objetos se condicionan mutuamente.

Aunque esto no representa una completa novedad en sí mismo, una de las cuestiones más relevantes que plantea esta evolución se refiere a la correcta interpretación del vínculo cada vez más evidente entre las ciencias de la vida y las biotecnologías, por un lado, y la fase actual del sistema económico, por otro. Quienes hablan de *biocapitalismo* parten de una constitución recíproca de “lo científico” y “lo social” que permitiría analizar la “coproducción” de las ciencias de la vida y el sistema económico-político (Sunder Rajan 2006). Dentro del ámbito al que nos estamos refiriendo, estaríamos asistiendo desde finales de los años 1970 y comienzos de los años 1980 a una coproducción de nuevas disciplinas científicas, innovaciones tecnológicas y transformaciones del marco jurídico y de las estructuras del mercado, dentro de la cual se habrían organizado las tecnociencias. Dos hitos sobresalientes de este proceso serían la tecnología del ADN recombinante y la biología sintética. Ambas han impreso a las ciencias de la vida un marcado carácter tecnológico y constituyen la base de la nueva industria biotecnológica. Sunder Rajan sostiene que las ciencias de la vida están “sobredeterminadas” por el capitalismo en su fase actual. Con ello no pretende afirmar que este sistema conduzca de manera directa hacia desarrollos científicos específicos, pero sí que ejerce un influjo de incomparable poder “sobre las condiciones bajo las que se forman determinados tipos de ciencia” (Sunder Rajan 2006). Si es que alguna vez la comunidad científica se orientó por el *ethos* científico y las cuatro normas definidas por Robert K. Merton —acceso general a la información, universalismo, desinterés y escepticismo organizado—, para lo que hay dudas más que razonables, parece un hecho incontestable que la imbricación de las ciencias de la vida con el “bio-capital” ha desencadenado unas transformaciones epistémicas de las que es preciso dar cuenta.

La polémica está servida. Mientras una parte de los investigadores denuncia como inservible la vieja diferenciación entre ciencia “pura” y ciencia “aplicada”, otra parte de la comunidad científica critica la concentración cada vez mayor de la investigación en la producción de valor orientada al mercado dentro de un ámbito académico sostenido en buena medida con fondos públicos. ¿Estamos entrando en la era de una tecnociencia postacadémica o se trata, como en muchos otros ámbitos, de una transferencia a la economía privada de recursos públicos y de saberes producidos con esos recursos? En todo caso, lo que nadie parece dudar es que las expectativas sociales dirigidas a la investigación apuntan no tanto a la búsqueda de la verdad por una ciencia incontaminada por intereses, cuanto a la solución de problemas urgentes, desde la producción y almacenamiento de energía hasta las innovaciones para un desarrollo económico sostenible, pasando por nuevas terapias contra el cáncer o el alzhéimer. Esto ha producido un desplazamiento del interés social y la financiación pública y privada hacia la nanotecnología, la ingeniería genética, la investigación biomédica y la biología sintética. Precisamente en todas ellas asistimos al cuestionamiento de la división tradicional de papeles entre la ciencia y la aplicación tecnológica. La relación entre ciencia y técnica se ve ahora de manera más compleja. Ya no vale el viejo, y quizás irreal, esquema que partía de un conocimiento desinteresado la naturaleza que posteriormente era utilizado para su control y dominio en provecho de la sociedad. Muchos de los problemas a los que hoy se enfrenta la investigación, desde la utilización de energías renovables al calentamiento global, pasando por la toxicología con nanopartículas, son ya resultado de la interacción compleja entre factores sociales, técnicos y “naturales” (Nordmann *et al.* 2011).

Sin embargo, coincidir en el diagnóstico de una profunda transformación metodológica e institucional de la ciencia no significa que exista una coincidencia en la valoración de la misma. La imbricación de la industria, la universidad y el Estado en el giro hacia una *ciencia empresarial* puede ser celebrada como cambio epocal (Etzkowitz 2003) o percibida como la amenaza de una imposición a la ciencia de la visión neoliberal que puede terminar sacrificando la orientación al bien común por la orientación al beneficio particular, el planteamiento universalista por los intereses privados, el desinterés por el servicio al poder o el espíritu crítico por el dominio de los expertos (Ziman 2000). Pero la cuestión no es sólo si se ha pasado de un modo de investigación que afronta las cuestiones planteadas por el desarrollo endógeno del conocimiento científico a un modo de investigación que responde a problemas sociales, industriales o médicos; tampoco si la intervención, la modificación y la recreación —ciencia fáustica— son las que marcan el paso a la comprensión de lo que ya somos capaces de hacer —ciencia prometeica— (A. Moya 2011); la cuestión es además de qué manera afecta esta configuración ingenieril de la ciencia (Galison 2006), cada vez más empresarizada, a la producción misma de saber y si esa forma de producción de saber científico está a la altura de la complejidad del mundo real y de las incertidumbres incancelables que le son propias, lo que también debería incluir los efectos frecuentemente no pretendidos e impredecibles de la intervención tecnocientífica.

* * *

Uno de los aspectos en los que esa transformación se hace más patente es la conversión de la biología en una ciencia de la información. Según J. Craig Venter, con la biología sintética habríamos entrado en la “era digital de la biología” (2014). La vida es “un sistema de información” (Craig Venter 2014). Esta definición, que puede parecer una cuestión puramente teórica, tiene múltiples implicaciones. En esa conversión confluyen aspectos epistémicos y sociales de manera indisoluble. La separación de las informaciones del material vivo del que proceden (ADN, proteínas, células y tejidos) permite una forma específica de valorización mercantil y tiende a convertir el material biológico en mero sustrato de los experimentos con los que confirmar esas informaciones: “El ADN es el software de la vida, y cuando cambiamos el software, cambiamos la especie y con ello el hardware de la célula” (Craig Venter 2014). Lo que se está anunciando en esta sencilla formulación es una pretensión de propiedad sobre la vida material a partir de la propiedad de la información cuando esa información es “inventada” o “recreada” por el investigador. En la bioeconomía la producción de valor posee un carácter específico que depende la propiedad intelectual sobre las informaciones genéticas y su circulación, pero la pretensión de asegurar dicha propiedad transforma nuestra comprensión de lo viviente y nuestra relación con la vida. La concepción de la vida como información se corresponde con su reducción a máquina (ibíd., 32); Venter habla de máquinas moleculares que se pueden representar como pequeños robots (ibíd., 52). En definitiva la imagen de la vida termina respondiendo a la visión —naturalizada— de la realidad desde la lógica mercantil que preside el sistema económico: los organismos no son otra cosa más que minifábricas diseñadas para la producción de bienes y servicios, la base para un “*multibillion-dollar business*” (ibíd., 47-48).

El objeto privilegiado de esta comprensión es la célula como portadora de funciones que responden a las informaciones encerradas en el ADN. No puede extrañar que J. Craig Venter convierta a la epigenética en su enemigo declarado y la acuse de ser el último bastión del vitalismo (ibíd., 24s.). Ésta cuestiona la imagen del gen molecular —definido como un segmento de ADN claramente identificable que codifica mediante su secuencia una proteína específica— que lo convierte en el candidato ideal de una esencia biológica interpretada como fuerza causal específica, es decir, como aquello que determina las propiedades esenciales de un organismo, orientando y dirigiendo de manera causal el curso de la ontogénesis en trayectorias prefijadas mediante un “programa genético”. El descubrimiento de numerosas desviaciones de este esquema considerado como “norma” apunta a una constitutiva dependencia de la síntesis proteínica respecto al contexto y a una significación no despreciable de lo que algunos denominan “*dark matter*” —ADN que no se transcribe, considerado tradicionalmente basura— en la expresión del gen. A esto se uniría la relativización del papel funcional de los genes en el proceso de desarrollo, motivada por el importante influjo de factores epigenéticos. Los genes no son bloques de ADN intercambiables. El proyecto ENCODE del *National Human Genome Research Institute* (NHGRI) ha contribuido de manera decisiva a subrayar el hecho de que la trasposición de la información genética es en gran medida dependiente del contexto.

El esencialismo génico que informa el discurso y la metaforología de la biología sintética no sólo puede producir una imagen distorsionada de los procesos biológicos que describe, procesos no lineales, complejos e interactivos, sino que puede ser problemático desde el punto de vista social. Una redefinición de gen que no lo considere una entidad material duradera, sino más bien un proceso con existencia temporal, relativizaría las pretensiones de control y dominio que dan soporte a la atribución de valor mercantil a determinados hallazgos. Con esto no se trataría de restaurar oscuridades metafísicas o religiosas —socorrido enemigo de paja de ciertos biólogos sintéticos—, sino de buscar razones científicas para una protección frente a la completa disponibilidad e instrumentalización de la vida en las “economías de la vida” y en su forma propia de creación de valor (Gehring 2006), es decir, de la defensa de la dinámica natural de los procesos evolutivos y la capacidad funcional de los ecosistemas, pues los riesgos ecológicos de los organismos sintéticos no son calculables sólo a partir de sus propiedades técnicas específicas. Un cálculo de riesgos basado en un procedimiento que analiza *caso por caso*, pero que no cuestiona las consecuencias sistémicas a largo plazo para la evolución y la biodiversidad, resulta claramente insuficiente. Esto precisamente es lo que pretende evitar la movilización de un concepto como el de *integridad ecológica*: “la capacidad de un ecosistema de continuar sin menoscabo su camino natural de evolución, su transición normal a través del tiempo y su gradual recuperación de las perturbaciones” (Pimentel et al. 2000). Se trataría de proteger la compleja red de relaciones e interdependencias entre los diferentes seres vivos en la naturaleza y el medio ambiente. Es decir, no se trataría ni de la imposible empresa de congelar un statu quo natural ni de fatigar en exceso la dinámica propia de los ecosistemas por medio de intervenciones aceleradas, cuya velocidad depende más de los imperativos temporales del sistema económico que de los ritmos biológicos. Es evidente que revertir los efectos devastadores de intervenciones destructivas exige intervenir. En este sentido, quizás sea más adecuado hablar de *integridad evolutiva* (Breckling 2009), que al mismo tiempo que subraya el carácter procesual y dinámico, no estático, exige una intervención en un sentido biomimético, es decir, una transformación de los sistemas humanos y sociales para que encajen de la manera más armoniosa posible en los sistemas naturales (Riechmann 2014).

En la medida en que la biología sintética contribuya a retardar esa transformación reforzando la idea de que posee “remedios” que no exigen un replanteamiento de los metabolismos lineales exacerbados por la industrialización capitalista, estará convirtiéndose queriéndolo o no en un instrumento sumamente eficaz de negacionismo ecológico, incluso allí donde dice enfrentar la crisis energética y del medio ambiente. Si los aliados estratégicos de la biología sintética son las industrias química, farmacéutica, agraria, alimenticia y energética, que siguen dominadas en buena medida por dinámicas de monopolización, ganancias a corto plazo y desprecio del principio de precaución, ¿qué nos permite esperar de la nueva alianza resultados diferentes a los cosechados hasta ahora? El vínculo actual entre las empresas biotecnológicas, los fondos de capital riesgo y la “economía política de la esperanza” (Rose y Novas 2005) impulsada por los discursos publicitarios y visionarios de la biología sintética no parece dar motivos para un replanteamiento. Quizás haya que preguntarse más bien si el juego dionisiaco con los elementos constitutivos de la vida no esconde detrás una capitulación no consciente de la “*Venture Science*” a la pretendida creatividad ilimitada del capitalismo de casino de las últimas décadas y a su optimismo tan marcado como ciego. Esto no quiere decir que estemos ante una ofensiva del capital sobre un nuevo ámbito de las ciencias de la vida, sino ante una imbricación de lo económico y lo epistémico que concede al bio-capital una nueva dimensión, esto es, ante una co-constitución en la que lo biológico se convierte en una serie de procesos reconfigurables o recanalizables con objetivos económicos.

20 La pretensión de reducir la vida a funciones básicas asociadas a componentes elementales presenta una congruencia llamativa con el objetivo de eliminar toda barrera a su completa explotación industrial y económica. El sistema económico capitalista también pone el acento en la mejora de la eficacia y el rendimiento de procesos fragmentarios y aislados cuya racionalización responde a un supuesto funcional y confía en que el uso racional en términos de coste/beneficio de los procesos fragmentarios produzca un equilibrio y buen funcionamiento de grandes unidades o del todo social sin necesidad de planificación global. La planificación rigurosa y concienzuda se limita a elementos, procesos, factores, etc., siempre delimitados y fragmentarios, lo que supone frecuentemente una pérdida de complejidad en favor de una exactitud parcial. Los modelos que intentan extrapolar los efectos de la conjunción de las decisiones parciales a conjuntos más amplios y mejorar el valor predictivo de las afirmaciones globales manifiestan debilidades evidentes. Tanto en la biología como en la economía estos planteamientos poseen más el estatuto de creencias religiosas que el de teorías científicas. Mediante el uso de la metáfora de la abeja, Yann Moulier Boutang (2012) ha advertido de la simplificación que supone contabilizar como riqueza sólo la producción en términos de *input* y *output*, sin incluir sus costes medioambientales o sociales ni las pérdidas irreparables para las generaciones futuras. La simplificación a la que alude su metáfora sería poner el acento en la producción de miel y cera, dejando de lado la polinización, es decir, aquello que permite la reproducción vegetal y animal, y con ello también la supervivencia de la biosfera del planeta, la interacción y el vínculo social. Quizás esta metáfora merezca ser repensada en relación con las biotecnologías.

Bibliografía citada:

- Boldt, J., Müller, O. & Maio, G. (2009): *Synthetische Biologie. Eine ethisch-philosophische Analyse. Beiträge zur Ethik und Biotechnologie 5*, Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie, Bern: BBL.
- Breckling, B. (2008): Evolutionary integrity – an issue to be considered in the long-term and large-scale assessment of genetically modified organisms, en: Breckling, B., Reuter, H. & Verhoeven, R. (2008) *Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales*. Frankfurt a.M.: Peter Lang, 169-176.
- Craig Venter, J. (2014): *Life at the speed of light. From the double helix to the dawn of digital life*. London: Abacus.
- Etzkowitz, H. (2003): Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations, in: *Social Science Information* 42, 293-337.
- Gehring, Petra (2006): *Was ist Biomacht? Vom zweifelhaften Mehrwert des Lebens*. Frankfurt a.M.: Campus.
- Moya, A. (2011): *Naturaleza y futuro del hombre*. Madrid: Síntesis.
- Moulier Bountang, Y. (2012): *La abeja y el economista*. Madrid: Traficantes de Sueños.
- Nordmann, A., Radder, H., Schiemann, G. (2011): Science after the End of Science? An Introduction to the “Epochal Break Thesis”, en Id. (eds.): *Science Transformed? Debating Claims of an Epochal Break*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1-15.
- Pimentel, D., Westra, L. & Noss, R. F., (eds.) (2000): *Ecological Integrity. Integrating Environment, Conservation, and Health*, Washington, D.C.: Island Press.
- Riechmann, J. (2014): *Un buen encaje en los ecosistemas (segunda edición actualizada de Biomímesis)*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Rose, N. & Novas, C. (2005): Biological citizenship, en A. Ong – St. Collier (eds.): *Global Assemblages: Technology, Politics, and Ethics as Anthropological Problems*. Malden: Blackwell, 439-463.
- Sunder Rajan, K. (2006): *Biocapital: The Constitution of Postgenomic Life*. Durham, NC: Duke University Press.
- Ziman, J. (2000): *Real Science: What It Is, and What It Means*. Cambridge: Cambridge University Press.





¿Una ética para la biología sintética?

Jordi Maiso

Dpto. de Filosofía Teórica y Filosofía Práctica
Instituto de Filosofía - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
C/Albasanz, 26-28. Madrid 28037

jordi.maiso@cchs.csic.es

“Es bien sabido que la convicción de encontrarse en el umbral de una nueva época puede ser muy beneficiosa para la gente. Su entorno se les presenta como algo aún por hacer, susceptible de las mejoras más satisfactorias, lleno posibilidades sospechadas e insospechadas, como un material infinitamente maleable en sus manos. Ellos mismos se sienten como si hicieran frente a un nuevo día, descansados, fuertes, llenos de fantasía [...] Dichosa es la sensación de los comienzos, de los pioneros, cuya actitud inspira entusiasmo. Dichosa la sensación de felicidad de quienes engrasan una máquina antes de exhibir su poderío, de quienes rellenan los espacios en blanco en un nuevo mapa, de los que ponen los fundamentos de una nueva casa, su casa”

(Brecht 1968, 117-118).

21

Estas frases de Bertolt Brecht, formuladas como presentación a su *Vida de Galileo*, encajan a la perfección con las posibilidades de intervención sobre la biología que se han abierto con la resolución de la estructura del ADN. Con los avances en las técnicas de secuenciación y de inserción de genomas sintéticos en células receptoras se están sentando las bases de una nueva disciplina preñada de promesas, la biología sintética. Su objetivo es el diseño y la fabricación de sistemas biológicos que no existen en la naturaleza o la modificación de sistemas biológicos ya existentes. Con ella la biología promete convertirse en materia de ingeniería, y los organismos vivos en un recurso tecnológico sumamente prometedor. Según esto estaríamos ante el “albor de una nueva era de creación biológica” (Venter 2013, 16); un horizonte “en el que la ciencia y la tecnología nos permiten reduplicar y mejorar lo que la naturaleza ha producido” (Church 2012, 12).¹ Sin duda, el discurso de los biólogos sintéticos adquiere a menudo el tono de los grandes pioneros que descubren *terra incognita*, pero si la expansión del horizonte de lo posible genera entusiasmo, también va acompañada de sombras de incerti-

dumbre. En primer lugar, se desconoce cuál puede ser el impacto de los organismos sintéticos en términos de bioseguridad, biodiversidad y salud; también existen dudas razonables sobre las posibles consecuencias de la pretensión de “tomar las riendas de la evolución”. En todo caso, existen pocas dudas de que la biología sintética supondrá una fuerte conmoción en el modo en que entendemos la vida y la naturaleza, e incluso de que transformará para siempre las relaciones entre ciencia, sociedad y naturaleza. Es mucho lo que está en juego, porque no estamos sólo ante una disciplina que cambiará nuestro modo de entender el mundo y la vida, sino ante una tecnología de producción cuyos efectos materiales no tardarían en sentirse. De ahí que, si hasta ahora la biología sintética ha usado como lema la afirmación de Richard Feynman *what I cannot create I do not understand* (aquello que no puedo crear no lo comprendo), se hace cada vez más necesario preguntar: *Do I understand what I can create?* (Schmidt 2005). ¿Estamos en grado de comprender las implicaciones y posibles consecuencias de aquello que somos técnicamente capaces de producir? ¿Podemos hacernos responsables de ello?

Nota 1: Craig Venter fue el primero en secuenciar el genoma humano y en introducir un genoma sintético en una célula, y es el empresario fundador de *Celera Genomics*; George Church, profesor de genética en la *Harvard Medical School* y responsable del *Personal Genome Project*, es co-fundador de nueve empresas biotecnológicas.

Teniendo en cuenta que la investigación se desarrolla deprisa y que el paso del laboratorio a la comercialización es cada vez más rápido, no hay duda de que el crecimiento de lo técnicamente posible exige políticas científicas responsables. De ahí la importancia de localizar los posibles riesgos éticos, ecológicos y sociales de la biología sintética, y de fijar protocolos y normativas que garanticen la seguridad de los experimentos y aplicaciones. Sin embargo, también es necesario plantear una reflexión de mayor alcance sobre las implicaciones ético-políticas de la ingeniería de sistemas biológicos. Lo que caracteriza la reflexión ético-filosófica es que no se contenta con gestionar los posibles riesgos de una determinada tecnología, sino que interroga las condiciones de posibilidad de esos riesgos y analiza qué hace que se les considere inaceptables o un mero "precio a pagar" a cambio de la consecución de determinados logros. En este sentido quizá la cuestión ética fundamental no sea tanto si el diseño de una "biología a la carta" contradice los principios fundamentales de la vida o bajo qué condiciones podría justificarse, sino de dónde viene la urgencia por producir esa vida a la carta, ya que eso es lo que marca la agenda de investigación. Las cuestiones éticas no empiezan allí donde los investigadores se ven confrontados con dilemas morales, sino en la propia práctica de investigación, en su definición de los problemas. De ahí la necesidad de analizar los fundamentos epistemológicos de la biología sintética como técnica de producción material y el marco socio-económico que condiciona el desarrollo de la investigación –en este caso la hoja de ruta de la bioeconomía (OCDE 2009, EC 2010)–. Sólo teniendo todo esto en cuenta podremos hacer frente a las implicaciones que la biología sintética tendrá sobre el modo de relacionarnos con la naturaleza y con lo viviente.

* * *

Lo que ha hecho posible los portentosos avances de la biología en las últimas décadas ha sido, ante todo, una nueva manera de considerar los procesos biológicos; se trata de lo que Nikolas Rose (2007) ha denominado la "*visión molecular de la vida*". Esto es lo que se ha denominado un proceso de "naturalización" de la vida que aspira eliminar todo resto de vitalismo de nuestra comprensión de la biología, mostrando que todo se juega en una serie de procesos a nivel molecular, sumamente complejos, pero inteligibles. La asunción de base es que los organismos pueden ser entendidos como un ensamblaje de distintas partes especificadas en secuencias genéticas, y que dichas partes pueden fabricarse y conectarse entre sí hasta dar

lugar a sistemas biológicos complejos. El modo más eficaz de lograrlo sería la aplicación de principios ingenieriles a la biología (Endy 2011). En último término, esto ha conducido a una comprensión de los procesos biológicos de carácter fuertemente mecanicista, basada en la metáfora de la programación: el ADN como *software* que instruye al *hardware* del organismo vivo, la maquinaria celular, el modo en que crecer, funcionar y desarrollarse; de ahí que se hable de los organismos como "máquinas controladas por su ADN", "máquinas vivas", "*protein robots*", etc. Esto amplía enormemente el campo de lo posible, porque, al conocer el modo en que "funciona" la materia viviente, podemos intervenir sobre ella y modificarla conforme a nuestros deseos. En principio, el ideal de la bioingeniería permite rebasar la normatividad de los órdenes biológicos "naturales", con lo que lo biológico parece perder su carácter de fatalidad para convertirse en "oportunidad", en una serie de procesos que es posible capitalizar, re-funcionalizar, optimizar, etc. La pregunta es: ¿desde qué criterios?

A día de hoy, el objetivo fundamental de la biología sintética parece ser una "reprogramación" de células vegetales y animales para convertirlas en una tecnología de producción: "Un organismo vivo, después de todo, es un sistema de producción prefabricado que, al igual que un ordenador, está controlado por un programa, su genoma. La biología sintética y la genómica sintética, la intervención a gran escala en el genoma, intentan capitalizar el hecho de que los organismos biológicos son sistemas de manufactura programables, y que, si se introducen pequeños cambios en su software genético, el bioingeniero puede lograr grandes cambios en su rendimiento" (Church 2012, 4). Se trataría, en definitiva, de aprovechar el potencial productivo de ciertos procesos biológicos de organismos para convertirlos en "fábricas vivas" a nivel molecular. Esto permitiría toda una "revolución industrial" de base biológica de la que se esperan una nueva generación de productos químicos, biomateriales, alimentos y cultivos mejorados, medicamentos, biocombustibles ricos en energía o agentes descontaminantes.

No hay duda de que esta perspectiva armoniza perfectamente con los objetivos de la bioeconomía, cuyo objetivo es "extraer el valor latente en los productos y procesos biológicos" (OCDE, 2006) para fomentar un modelo de desarrollo que promete lograr un feliz matrimonio entre crecimiento económico y sostenibilidad ambiental. El problema es que estas promesas se basan en expectativas de desarrollo que para muchos están en tela de juicio. A

día de hoy, no existe un consenso sobre que la bioingeniería pueda lograr un control tan perfecto de los procesos biológicos como para convertirlos en base de una producción industrial. A pesar de los portentosos avances en las técnicas de secuenciación y síntesis de ADN, y pese a los recientes logros tecnológicos en la implementación de genomas sintéticos en células eucariotas, existen dudas razonables de que el objetivo de una “ingeniería robusta” de sistemas biológicos sea viable a corto y medio plazo. A la luz de los avances en epigenética y biología evolutiva del desarrollo, la asunción de que las células serían una especie de “autómata molecular” programado por su ADN resulta cuanto menos problemática. Los logros recientes de estas disciplinas parecen revelar que la complejidad de los procesos biológicos no puede reducirse al genoma como “motor inmóvil” o “causa incausada” de la vida – y que nos queda mucho por conocer sobre el funcionamiento de los organismos. Por ello se ha señalado que el modelo bioingenieril supone un regreso a modelos mecanicistas, basados en el dominio del espíritu sobre la materia y de la información sobre la estructura, que hoy resultan sumamente problemáticos (Schummer 2011).

El hecho de que, con todo, la tentativa de convertir a la biología en material de ingeniería siga siendo la prioridad incuestionada en las agendas de investigación revela que lo que está aquí en juego no es tanto una “desacralización de lo viviente” ni una *hybris* de científicos jugando a ser Dios, sino una determinada *actitud ante la materia biológica* que viene determinada por criterios externos a la práctica científica. “Para responder a objetivos sociales o humanos, las máquinas moleculares 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” (Bensaude-Vincent 2011, 114). En último término, pese a la pretensión de eliminar todo residuo metafísico de nuestra comprensión de la biología, el resultado parece ser una visión ingenieril y tecnomórfica de la biología, determinada por el interés en las aplicaciones resultantes. Para poder analizarla es necesario, ante todo, explicitar la comprensión implícita de las relaciones entre ciencia, tecnología, naturaleza y sociedad que está en juego en esta propuesta.

* * *

A menudo se afirma que la biología sintética, como otras nuevas tecnologías emergentes, ofrece herramientas fundamentales para hacer frente a los grandes desafíos de las sociedades actuales, tales como “el cambio climático, el suministro decreciente de energía, agua y comida, el envejecimiento de las poblaciones, salud pública, pandemias y seguridad” (LD 2009). Se afirma incluso que, sin el apoyo de estas nuevas tecnologías, sería imposible hacer frente a los niveles de complejidad socio-cultural y tecnocientífica de la civilización humana (Pustovrh 2014, 719). En concreto, la biología sintética promete ofrecer soluciones sostenibles a problemas como el cambio climático y la seguridad energética (OCDE 2014). De acuerdo con ello, sus implicaciones éticas y sociales sólo pueden analizarse teniendo en cuenta sus potenciales beneficios para hacer frente a estos riesgos epocales, sean de origen natural o humano (STAC 2014). En definitiva, se considera que los posibles beneficios son tan grandes que sería peligroso analizar los posibles riesgos de su implementación sin valorar los riesgos que implicaría no implementar sus avances, ya casi al alcance de la mano.

En lugar de analizar críticamente las consecuencias indeseadas del modelo de desarrollo tecnológico vigente, esta argumentación se limita a prometer “una imagen sin conflictos ni contrastes de un mundo de biotecnología totalmente automático, inofensivo para el clima y al que puede darse forma a voluntad. No se menciona quién se beneficiará del proceso y quién tendrá que sufrir sus consecuencias” (Gottwald 2014, 18). Esto revela que, pese al aparente intento de equilibrar riesgos y beneficios de la nueva disciplina, el proceso está decidido de antemano. La nueva capacidad de intervenir y modificar los procesos biológicos debe servir para desarrollar soluciones “técnicas” y “sostenibles” a problemas de origen fundamentalmente social – pero lo social permanece incuestionado. Las “soluciones” que se proponen son respuestas biotecnológicas que ignoran todas las mediaciones. Sin duda, la biología sintética abre numerosos campos de posible aplicación, muchos de ellos útiles y deseables (Schmidt 2012). Sin embargo, sus promesas de “solución” se mantienen a un nivel vago e impreciso, y los “desafíos” a los que pretenden hacer frente adquieren dimensiones abrumadoras. Si uno toma un problema como el agotamiento de los combustibles fósiles, parece difícil que los organismos sintéticos puedan ofrecer soluciones a la altura de una crisis energética marcada por el volumen del consumo global de energía (en constante aumento), la dificultad

para encontrar sustancias con una densidad energética similar a la del petróleo y el descenso de la tasa de retorno energético (ERoEI). Por otra parte, más allá de esto, la tentativa de presentar la biología sintética como respuesta a problemas como el cambio climático o la crisis energética, supondría (en el caso de que sus aplicaciones fueran realmente eficaces, algo que aún está por demostrar) un modelo ingenieril y tecnocrático de gobierno de lo social: una imposición sin alternativas de determinados desarrollos en nombre de la sostenibilidad.

Finalmente, parece olvidarse que la implementación de un avance tecnológico está sometida tanto en su producción como en su distribución a las condiciones económicas que la median –la producción de beneficios–, y eso no depende de los avances tecnológicos o de su capacidad de resolver problemas. Esto puede hacer que sus efectos sean los contrarios a los previstos. Desde luego, ya hay voces que advierten de los problemas socio-económicos que podría implicar la implementación de la biología sintética: desde la creación de monopolios y la concentración de poder derivado de los derechos de propiedad intelectual hasta los problemas de justicia global. Por ejemplo, si se verifica la promesa de que la bio-ingeniería permitirá que todo lo que hoy producen las plantas pueda ser producido por microbios en el laboratorio, las consecuencias para las economías que viven de la agricultura –por lo general las de los países más pobres– serían devastadoras. Por otra parte, como los organismos sintéticos reconvertidos en “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 sub-tropicales, privando a su población de los recursos necesarios para la subsistencia (ETC Group, 2011).

En definitiva: el reto contemporáneo de la sustentabilidad no puede resolverse sólo con aplicaciones tecnocientíficas. Estas pueden aportar contribuciones valiosas, pero es necesario algo más, algo que supone un desafío aún mayor: no sólo se trata de dominar la naturaleza, sino también de dominar nuestro dominio de la naturaleza. Esto exige cuestionar un modelo de innovación que moviliza todos los medios de la investigación científica y tecnológica para someterlos al único imperativo del incremento de la productividad y la generación de beneficios a corto plazo.

* * *

Los retos ético-políticos de la biología sintética nos sitúan ante una situación en la que nuestra capacidad de intervención técnica incrementa notablemente, mientras que los recursos para una actuación responsable parecen cada vez más exiguos. Pero no será inyectando ética en la biología sintética como se resolverán los problemas. El diseño de una “biología a la carta” requiere un diseñador, y eso introduce una intencionalidad que no se puede justificar con criterios científicos o ingenieriles. El mínimo sería dar cuenta de quién diseña, con qué objetivos y con qué pretensiones de legitimidad. De lo contrario, el entusiasmo de los pioneros se topará con buenas razones para la desconfianza.

Bibliografía citada:

- Bensaude-Vincent, B. y Benoit Browaeys, D. (2011): *Fabriquer la vie. Où va la biologie de synthèse?*, París.
- Brecht, Bertolt (1968): *Leben des Galilei*, Leipzig, 1968.
- Church, George y Regis, Ed (2012): *Regenesis. How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves*, Nueva York.
- EGE – European Group of Ethics in Sciences and New Technologies to the European Commission (2009): *Opinion No 25: Ethics of Synthetic Biology*, Bruselas.
- Endy, Drew (2011): “Engineering Biology”: <http://edge.org/conversation/engineering-biology>
- ETC-Group (2011): *The new biomassters: synthetic biology and the next assault on Biodiversity*: http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/biomassters_27feb2011.pdf
- European Commission (2010): *The Knowledge-Based-Bio-Economy (KBBE) in Europe: achievements and Challenges*, Bruselas.
- Gottwald, Frank y Krätzer, Anita (2014): *Irrweg Bioökonomie*, Berlin.
- Lund Declaration (2009): <http://www.vr.se/download/18.7dac901212646d84fd38000336/>
- OCDE (2009): *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda*, París.
- OCDE (2014): *Emerging Policy Issues in Synthetic Biology*, París.
- Pustovr, Toni y Mali, Franc (2014): “The Social and Ethical Aspects of Progress in the New and Emerging Sciences and Technologies”, *Teorija in Praksa*, let 51, 5/14, 717-725.
- Rose, Nikolas (2007): *The Politics of Life Itself*, Nueva York.
- Schmidt, Markus (2009): “Do I Understand what I Can Create?”, http://www.markusschmidt.eu/pdf/chapter_06.pdf
- Schmidt, Markus, ed. (2012): *Synthetic biology: industrial and environmental applications*, Weinheim.
- Schummer, Joachim (2011): *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung vom Leben im Labor*, Frankfurt am Main.
- STAC (2014): *The Future of Europe is Science. A Report of the President’s Science and Technology Advisory Council*, Bruselas.
- Venter, J. Craig (2013): *Life at the Speed of Light. From the Double Helix to the Dawn of Digital Life*, Nueva York.





El peligro de la "vergüenza prometeica"

Reyes Mate

Profesor de Investigación del CSIC *ad honorem*
Dpto. de Filosofía Teórica y Filosofía Práctica

Instituto de Filosofía - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
C/Albasanz, 26-28. Madrid 28037
reyes.mate@cchs.csic.es

1. Gunther Anders acuñó en su libro *La obsolescencia del hombre* el concepto de "vergüenza prometeica". Durante siglos el ser humano ha vivido el "orgullo prometeico" entendiendo por ello la conciencia de su superioridad respecto al resto de los animales gracias a la técnica, un regalo de Prometeo, como cuenta Platón en su diálogo *Protágoras*. Mucho antes de que Marx declarara a Prometeo "*el más noble de los santos y mártires del calendario filosófico*", por enfrentarse a los dioses, Platón lo había celebrado por traer en nombre de los dioses el regalo del fuego con el que los humanos pudieran suplir, gracias a la técnica que de él se derivaba, las insuficiencias de la naturaleza humana. Orgullosos los humanos, pues, de su capacidad técnica que suplía lo que la naturaleza le había negado.

Ese orgullo ha venido a menos siendo sustituido por la vergüenza. La culpa es de la técnica, del desarrollo técnico. Este, en efecto, ha ido tan lejos que nos avergonzamos de no aplicarnos a nosotros mismos lo que hacemos con las máquinas o materiales. Constatamos para nuestra desgracia que vale más lo que hace el sujeto que el sujeto que lo hace. Podemos hacer maravillas pero el hombre, incluso el que las hace, nunca será maravilloso. Lo expresa bien esa leyenda molúsica que habla de la vergüenza que sintió el dios Bamba al crear las preciosas montañas molúsicas: "*se avergonzó de no ser como ellas*". El hombre actual se avergüenza por no estar a la altura de sus productos. Hubo un tiempo en que el hombre de la cultura denunciaba la cosificación del hombre, el ponerse a la altura de la cosas; ahora lo que resulta insoponible es no cosificarse, no ser tan acabado como muchas de las cosas que sabe y puede crear.

2. Quizá resulta excesivo decir que nuestros contemporáneos viven bajo el síndrome de la "vergüenza prometeica". Digamos más bien que estamos a medio camino porque junto a esta pretensión de estar a la altura de las máquinas que podemos fabricar, se detecta cierta añoranza de la naturaleza. Podíamos referirnos a la proliferación en dietas, cosméticos y los productos naturales, pero es en el deporte donde mejor se

observan esa tensión entre lo técnico o lo natural.

Pensemos en el dopaje deportivo; por ejemplo, en el ciclismo. Hay una especie de cruzada mundial contra el uso de estimulantes artificiales que, además de dañar la salud, truncan la competición deportiva. Se multiplican los controles *antidoping* y se castiga con severidad creciente las infracciones, todo en nombre de un deporte limpio.

Esta esforzada y benemérita actitud, que predicán las instancias deportivas responsables y respalda la sociedad sin reservas, tiene un punto de hipócrita. Resulta, en efecto, que el consumidor de deporte, que es legión, exige, para disfrutarlo realmente, que sea agónico, lo que no es posible en muchos casos sin ayudas. El consumidor necesita, para superar su sopor vital o aburrimiento existencial, que el deportista se exprima hasta la extenuación y llegue al límite. Y esa es su contradicción: el consumidor de deporte exige, por un lado, emociones fuertes -lo que sólo se logra poniendo al deportista al límite de su vida- y, por otro, pide, para acallar su mala conciencia, que haya juego limpio. Pero pedir al tiempo esfuerzo agónico para superar constantemente los límites conocidos del cuerpo humano, y juego limpio es pura hipocresía.

Este problema no sólo lo tenemos en el deporte de alta competición sino que está marcado en el ideario mismo del olimpismo -*citius, altius, fortius*- que no es una invitación a disfrutar de la práctica deportiva por aquello de que lo "importante es participar", sino a superar marcas y límites por mor mismo de la superación, como si el sentido del deporte estuviera en la mera competitividad.

Hay, pues, en el deporte de alta competición una tensión entre lo que la sociedad demanda y la razón aconseja. Es, en el fondo, la misma que observamos en el mundo de la investigación científica y técnica, entre el desarrollo de la biología sintética y la razón filosófica. Si la biología reivindica la evolución, es decir, el principio del desarrollo ilimitado de las posibilidades del ser vivo, la filosofía aconseja que la susodicha evolución no sea al precio de acabar con la libertad que la sustenta.

3. No es difícil imaginar de qué lado va a caer la moneda. El mercado es más fuerte que la moralidad y el poderío de la técnica está muy por encima del de la naturaleza.

Para hacer frente a esta deriva se han multiplicado los frentes bioéticos y los códigos éticos que, a lo sumo, sirven de resignado taller de reparaciones: se da por hecho que el desarrollo técnico es imparable y lo que cabe es marcar algunas líneas rojas que acaban siendo sistemáticamente desbordadas.

Quizá habría que plantearse las cosas de otra manera, haciendo ver que el problema de la técnica no es la ética sino la antropología, es decir, que no se trata de salvar unos determinados "valores" sobre la vida o la muerte, que serían el patrimonio de la ética, sino de salvar las condiciones de posibilidad del ser humano.

Deberíamos entender que la evolución posible del ser humano puede minar el *sub-jectum*, el sustrato subjetivo que actualmente lo soporta, siendo sustituido por un ente que puede ser humano pero no natural, aunque también ni natural ni humano. Cuando la biología sintética habla de *transhumanos* o de *transrobots* o *transcyborgs* o *transcibermundos*, es de esto de lo que hablan.

Esta es la preocupación de los filósofos que se han enfrentado al desafío del desarrollo de la técnica, en general, y de la biología, en particular. Cuando Ortega dice que "*la técnica no es en rigor lo primero*" sino que lo primero es el proyecto humano al que se debe, está planteando un límite y un sentido a la investigación técnica; cuando Habermas plantea algo así como una "*estructura ética de la especie*", como condición de posibilidad de la moral individual, está apelando a un supuesto indisponible del ser humano que no puede ser alterado pues eso supondría un atentado a la posibilidad de la libertad; cuando Hanna Arendt habla de la "*natalidad*" como condición de posibilidad de la libertad, expresa la misma preocupación. Y cuando Heidegger denuncia tan machaconamente el "*olvido del ser de la técnica*" está queriendo salvar al mundo de la autodestrucción ya que si reducimos la realidad del mundo a los productos técnicos, matamos su capacidad creativa.

4. Al principio establecía una relación entre el mundo del deporte y el de la investigación científica, uno y otro atravesados por una indiscutible tensión interna. En el deporte se da una

clara contradicción entre la necesidad que impone su consumo masivo, que exige superación indefinida de los límites naturales, y la proclamación de juego limpio, expresión de la mala conciencia de esa misma sociedad. Otro tanto ocurre con el desarrollo técnico. El científico exige, desde el "principio evolutivo de los seres vivos" que se vaya tan lejos como dé de sí el conocimiento sobre el ser humano, un principio que entra en contradicción con la preocupación del filósofo que liga la figura del ser humano a la salvaguarda de las condiciones de posibilidad de su libertad, condiciones que pueden ser eliminadas por el propio principio evolutivo acelerado por la técnica.

¿Cómo se va a resolver este nudo? Si el desarrollo científico se va a determinar en el futuro como se hizo en el pasado, las perspectivas son más bien poco halagüeñas. No olvidemos, en efecto, que el motor de la investigación ha sido, hasta ahora, la guerra y el mercado.

En el caso de que la evolución de la técnica esté dictada por el mercado o la guerra habría que mirar el dopaje deportivo con otros ojos. Habría que asumir, en efecto, que el recurso a ayudas no naturales sería una forma de compensar las desigualdades naturales. Deberíamos superar la vergüenza prometeica y recurrir sin complejos a todo lo que somos capaces de hacer.

Esta superación no ya de los límites naturales sino del ser humano que hemos querido ser hasta ahora, supondría la entronización de un principio que no nos es desconocido, a saber, que "todo lo que es posible, es necesario". Sería nuestro deber activar todas las posibilidades del ser humano. Nada de lo que podamos hacer o conocer o descubrir debe sernos prohibido. No estaría de más recordar que este mismo principio, según Hanna Arendt, llevó a la humanidad a la peor de sus barbaries. Ortega y Gasset que no excedió en la crítica al nazismo, sí vio empero la inhumanidad latente en ese principio; por eso planteó la necesidad de un límite que él llamó "*el pasado*", y Heidegger "*el ser de la técnica*", y Arendt "*natalidad*" y Habermas "*principio ético de la especie*"... Esa diversidad de nombres denota que no es fácil identificar al límite pero que estamos obligados a plantearlo.





APÉNDICE: PERFIL DE LOS AUTORES QUE HAN COLABORADO EN EL MONOGRÁFICO BIOLOGÍA SINTÉTICA

27

Andrés Moya Simarro es doctor en Biología y en Filosofía, es Catedrático de Genética en la Universitat de València. Ha sido promotor del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de esa misma Universidad, promotor del Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) y del Centro Superior de Investigación en Salud Pública (FISABIO-Salud Pública) del que es su director científico. Su actividad científica e intelectual se sitúa en los campos de la Genética, la Evolución y la Filosofía. La evolución experimental y la genómica evolutiva son las áreas donde ha hecho contribuciones más significativas. Ha realizado una amplia labor de divulgación y reflexión sobre la ciencia y publicado varios libros, siendo la teoría evolutiva y el alcance del pensamiento evolutivo el núcleo central de toda esa actividad. Es presidente de la Sociedad Española de Biología Evolutiva.

Antonio Diéguez es Catedrático de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Málaga desde 2010. Ha sido *visiting scholar* en las universidades de Helsinki, de Harvard y de Oxford. Es presidente electo de la Asociación Iberoamericana de Filosofía de la Biología. Una de sus líneas de investigación principales ha sido el debate sobre el realismo científico. Acerca de esta cuestión publicó el libro *Realismo científico* (Málaga: Universidad de Málaga, 1998). Ha mantenido asimismo una línea de investigación sobre aspectos centrales de la Filosofía de la Tecnología, con atención a las tesis del determinismo tecnológico. En los últimos años se dedica especialmente a la Filosofía de la Biología, indagando sobre cuestiones de epistemología evolucionista y sobre aspectos sociales y políticos de las biotecnologías. Sobre estos temas ha publicado diversos artículos, así como los libros *La evolución del conocimiento. De la mente animal a la mente humana* (Madrid: Biblioteca Nueva, 2011) y *La vida bajo escrutinio. Una introducción a la filosofía de la biología* (Barcelona: Biblioteca Buridán, 2012).

Carlos Rodríguez-Caso es de formación biólogo, investigador contratado y profesor a tiempo parcial de la Universitat Pompeu Fabra. Doctorado por la Universidad de Málaga en 2005, sus líneas de trabajo tienen en común el estudio de los principios de organización biológica a nivel molecular y celular desde la perspectiva de ciencias de la complejidad desde el enfoque de la Biología de Sistemas y Biología Sintética. Sus trabajos versan sobre la aplicación de teorías de redes para el estudio de la organización jerárquica y modular del metabolismo, regulación génica e interacción de proteínas, progresión del cáncer como sistema evolutivo y estudios de los principios básicos de la regulación genética, desde una perspectiva ingenieril para la construcción de circuitos genéticos sintéticos.

Enrique Viguera Mínguez es Licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Málaga. Desarrolló su Tesis Doctoral en el Centro de Investigaciones Biológicas (CSIC) donde se especializó en el campo de la replicación del DNA. Es Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Madrid. Realizó una estancia postdoctoral (1997-2001) en el Laboratorio de Genética Microbiana (INRA) en París donde estudió las bases moleculares de la inestabilidad de secuencias de DNA de tipo microsatélite utilizando abordajes experimentales bioquímicos y genéticos. Investigador Ramón y Cajal en el Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) donde participó en la secuenciación del primer genoma bacteriano secuenciado íntegramente en España. Desde 2003 es Profesor Titular de Genética en el Departamento de Biología Celular, Genética y Fisiología en la Universidad de Málaga. Es coordinador de la Plataforma de Genotipado de la Universidad de Málaga (Edificio de Bioinnovación, Parque Tecnológico de Andalucía) orientada a la identificación de cambios en el DNA de muestras biológicas. Es el coordinador principal desde 2004 de la actividad de divulgación científica "*Encuentros con la Ciencia*" www.encuentrosconlaciencia.es realizada en la ciudad de Málaga con el objetivo de fomentar y promover la ciencia. Forma parte del grupo de divulgación científica de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular, donde coordina el bloque "Acércate a nuestros científicos".

Jordi Maiso es investigador contratado en el Instituto de Filosofía del CSIC. Se doctoró en Filosofía por la Universidad de Salamanca (Premio Extraordinario de Doctorado 2009-2010) y ha realizado estancias postdoctorales en la Universidad Libre de Berlín, la Universidad Leibniz de Hannover y la Universidad Politécnica de Berlín. Sus líneas de trabajo abarcan filosofía social, teoría de la sociedad y análisis filosófico-político de la biología sintética. Actualmente coordina el seminario de investigación permanente "Retos ético-políticos de la biología sintética" en el marco del proyecto europeo FP 7 St-Flow. Sus esfuerzos en este terreno se dirigen a abrir la discusión sobre las biotecnologías más allá de la aproximación "clásica" de la ética, enfatizando en los presupuestos filosóficos y epistemológicos de la investigación biotecnológica, pero también en su dimensión social y política. Es miembro del comité editor de *Constelaciones. Revista de Teoría Crítica* y miembro fundador de la Sociedad de Estudios de Teoría Crítica.

José A. Zamora se doctoró en la *Wilhelms-Universität* de Münster (Alemania) con un trabajo sobre el pensamiento de Th. W. Adorno. Es Científico Titular y Jefe del Departamento de Filosofía Teórica y Filosofía Práctica del Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid). Su líneas de investigación fundamentales son la filosofía social y política contemporánea, filosofía después de Auschwitz, teoría crítica de la sociedad y de la cultura, filosofía política de las migraciones y retos éticos y políticos del biocapitalismo. Su publicaciones giran alrededor de estos temas, especialmente en torno a los autores de la Teoría Crítica y sus aportaciones para desentrañar e interpretar los procesos de modernización capitalista y las crisis que los acompañan, con atención expresa a la mutua constitución de lo "científico" y lo "social". Forma parte del seminario "Retos ético-políticos de la biología sintética: reflexión filosófica", que se desarrolla en el Instituto de Filosofía del CSIC.

Juli Peretó se doctoró en Química por la Universitat de València y realizó estudios postdoctorales en la Universidad de Pennsylvania. Profesor Titular de Bioquímica y Biología Molecular, investigó en bioquímica vegetal y, tras un paréntesis dedicado a la gestión universitaria, desplegó todo su interés sobre la evolución metabólica en el Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva al que se incorporó en 2003. Actualmente trata de enseñar metabolismo a futuros biotecnólogos y cree que un día tendremos una explicación más que razonable de cómo la geoquímica dio paso a la bioquímica en la Tierra primitiva. De siempre ha pensado que la divulgación de la ciencia le ayuda a saldar su deuda con la sociedad: ha organizado más de 60 ciclos de debates y conferencias e impartido más de 150 charlas de temática científica para el público general, profesorado o estudiantes desde educación primaria hasta la universidad.

Reyes Mate (Pedrajas de San Esteban, Valladolid, 1942). Doctor en Filosofía por la Universidad Autónoma de Madrid y por la *Wilhelms-Universität* de Münster (Renania del Norte-Westfalia). Profesor visitante en universidades europeas y americanas, ha impartido conferencias y publicado un gran número de artículos en revistas especializadas. Es profesor de Investigación del Centro Superior de Investigaciones Científicas en el Instituto de Filosofía, del que fue miembro fundador. Es director del proyecto de la *Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía* (comenzado en 1987 y que ya lleva una treintena de títulos publicados y participación de unos 500 autores). Fue director del Gabinete Técnico del Ministerio de Educación y Ciencia entre 1982 y 1986, miembro fundador del Instituto de Filosofía y su director desde 1990 a 1998. También ha sido miembro del *Conseil Scientifique du Collège International de Philosophie* (París) y uno de los principales impulsores de la Universidad Europea de la Cultura. Colabora habitualmente en las páginas de opinión de medios como *El País* (desde su fundación) o *El Periódico de Cataluña*. Es autor de una veintena de ensayos centrados fundamentalmente en los conceptos de razón, historia y religión. Una de sus líneas de investigación es el estudio de la relación entre política y fe con obras como *El ateísmo, ¿un problema político?* (1973), o *Mística y política* (1990). También ha analizado en profundidad la significación de la barbarie y la relación entre la verdad y la historia del sufrimiento, un asunto que centra obras como *La razón de los vencidos* (1991), *Memoria de Occidente* (1997), *Memoria de Auschwitz* (2003) o *A contraluz de las ideas políticamente correctas* (2005). En 2009 obtuvo el Premio Nacional de Literatura en la modalidad de ensayo por su obra *La herencia del olvido* (2008) que analiza el lugar que ocupa la memoria en la sociedad actual. En *Tratado de la injusticia* (2011) estudia considerar a la experiencia de la injusticia como el lugar filosófico de una teoría posible de la justicia.

