

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



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

¿Puede ser la vida objeto de ingeniería?

Laura Nuño de la Rosa

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

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

cas dedicadas a ensamblar partes orgánicas presintetizadas. Las plantas farmacéuticas cultivarán hordas de bacterias sintéticas para producir medicamentos, diagnosticar enfermedades o colonizar tumores cancerígenos. Remedando los desastres naturales producidos por las generaciones de nuevas tecnologías anteriores, el biocombustible compuesto de algas genéticamente modificadas habrá puesto fin a la crisis energética y artefactos microbianos limpiarán los suelos contaminados de productos químicos tóxicos y residuos nucleares. La biotecnología, al fin domesticada, se convertirá en un divertimento al alcance de todos (Dyson, 2005): los balcones estarán poblados de flores raras, genéticamente rediseñadas por los aficionados a la jardinería, los niños habrán abandonado la virtualidad de la vida electrónica para jugar con huevos y semillas reales y el diseño de genomas se habrá convertido en una nueva forma de arte.

En la era del I+D, las promesas futuristas ligadas a la cura del cáncer y la solución definitiva de la crisis energética se han convertido en una constante en la literatura de los científicos, fustigados por la presión de las agencias de financiación, que solo apuestan por proyectos destinados a desarrollar aplicaciones útiles en economía y medicina. En el caso de la biología sintética, sin embargo, el augurio de ese otro mundo pretendidamente feliz que acabamos de describir no es un mero instrumento retórico para obtener fondos. La biología sintética aspira a construir nuevas entidades biológicas o a modificar organismos o partes orgánicas ya existentes basándose en los principios del diseño racional utilizados en ingeniería. La voluntad de convertir la vida en objeto de ingeniería define a la biología sintética y, en ese sentido, sus promesas son parte integral de la metodología y los objetivos de una comunidad científica en plena expansión (Bensaude Vincent, 2013).

En realidad, la rúbrica *biología sintética* abarca actividades muy heterogéneas que difícilmente pueden agruparse bajo una definición unitaria (O'Malley *et al.*, 2008)^{1/}, pero aquí vamos a limitarnos a examinar los presupuestos teóricos de los dos grandes programas de investigación más conocidos y financiados.

El primer gran programa de investigación ligado a la síntesis de vida artificial se propone construir artefactos orgánicos (entidades biológicas fabricadas para desempeñar ciertas funciones) a partir de partes biológicas presintetizadas. Con este objetivo, se ha creado una especie de librería biológica, el *Registro de partes biológicas estándares*, donde se catalogan los llamados “biobricks”, fragmentos de ADN asociados a ciertas funciones. Estos “ladri-

^{1/} Tanto las concepciones de la naturaleza orgánica como las implicaciones ético-políticas de los diversos programas de investigación que se autodenominan biología sintética son muy distintas. Aquí vamos a limitarnos a examinar las dos escuelas más publicitadas, excluyendo aquella que, en el campo del origen de la vida, aspira a construir protocélulas, sistemas celulares mínimos capaces de autoreplicarse. La caracterización del fenómeno de la vida que suele guiar este programa de investigación es muy distinta (Ettxeberria y Ruiz-Mirazo, 2009) y, por lo tanto, no se le aplica el análisis que hacemos aquí.

llos vivientes” podrían ensamblarse para formar artefactos más complicados, circuitos genéticos que operarían en células modificadas, regulando reacciones metabólicas para la producción de ciertas sustancias.

Por su parte, el programa más aireado en la prensa no especializada aspira a desarrollar una ingeniería celular basada en el control del genoma. Su objetivo es crear una célula huésped simple y estandarizada (con un genoma sintetizado reducido a su mínima expresión) que funcionaría como un chasis donde implantar artefactos genéticos que operarían de un modo predecible y efectivo. Estos nuevos autómatas microbianos — vaticinan los gurús de la nueva bioeconomía — se convertirán en las minúsculas factorías bioquímicas que salvarán al planeta.

La culminación del sueño ilustrado por domeñar la naturaleza imaginado por la biología sintética puede analizarse desde perspectivas críticas (éticas, morales y políticas) muy distintas, pero en este artículo vamos a limitarnos a escudriñar la utopía sintética desde una perspectiva previa, cuestionando los propios fundamentos epistemológicos y ontológicos de la disciplina: ¿qué presupuestos epistemológicos orientan la voluntad constructora de la biología sintética?, ¿qué noción de vida inspira el diseño de los artefactos microbianos imaginados por la bioingeniería? A la luz del estado del conocimiento biológico actual, ¿son o pueden ser las promesas de la biología sintética algo más que promesas?

1. ¿Hacer es saber?

Haciéndose eco de la célebre sentencia de Marx según la cual la filosofía había de aspirar a transformar el mundo más allá de interpretarlo, la socióloga de la ciencia Jane Calvert ha descrito a la biología sintética como una disciplina científica epistemológicamente revolucionaria: “*La biología sintética no pretende simplemente describir o representar la vida; pretende crearla*” (Calvert, 2008). En realidad, la filosofía de la ciencia materialista hace ya tiempo que ha desmontado el mito de la ciencia como representación. Al margen de lo que crean sus practicantes, la actividad científica revela una intrincación dialéctica entre teoría y práctica: la ciencia no consiste en representar, sino en construir la realidad (Bueno, 1995).

En particular, la manipulación de las entidades orgánicas con el fin de reproducir los fenómenos a explicar ha sido el método clásico de la biología experimental desde finales del siglo XIX. Lo que resulta problemático en el caso de la biología sintética no es tanto que aspire explícitamente a reproducir la realidad biológica, sino que fusiona en una unidad indistinguible la comprensión y la construcción de la naturaleza, negando la distinción entre ciencia e ingeniería. Y es que si bien la biología sintética no se propone comprender la naturaleza orgánica, sino desarrollar biotecnología, sus practicantes insisten en reivindicar el carácter teórico y no meramente aplicado de la disciplina. Aludiendo a la célebre y última frase que el físico Richard Feynman dejara escrita en su pizarra (“*Sólo puedo comprender aquello que puedo crear*”), los biólo-

gos sintéticos han convertido el lema *Making is knowing*, “hacer es conocer”, en su gran motor epistemológico. Desde esta perspectiva, la construcción de una máquina (y, por extensión, de un ser vivo) no solo tiene utilidad práctica, sino que posee en sí misma el camino para su comprensión. En este sentido, la biología sintética se propone definir la vida creándola. Como rezaba la portada de un número especial de la revista *Nature* dedicado a la biotecnología, *Life is what you make it*, [“La vida es lo que haces”] (Editorial, 2005).

Como se ha señalado en muchos de los ensayos críticos en torno a la biología sintética, la disolución de la diferencia entre comprensión y construcción implica una visión bastante ingenua de la técnica (Newman, 2012). La industria del bronce y el hierro florecieron sin necesidad de la teoría atómica, la domesticación neolítica de animales y plantas se llevó a cabo en ausencia de una teoría de la herencia, y las pirámides se construyeron ignorando las leyes que gobiernan las cargas y las tensiones... Algunos de los adalides de la biología sintética consideran una virtud la ausencia de teoría, alegando que el espíritu práctico logrará avances semejantes en el reino orgánico. Otros autores han articulado una relación más precisa entre el estado actual del conocimiento biológico y el modo sintético de intervenirlo: si hasta ahora solo podíamos manipular las células imaginando lo que estaba sucediendo en su interior, la nueva tecnología del ADN recombinante hace posible la representación intracelular de proyectos pensados fuera de la célula (Rheinberger 2000).

¿Es eso cierto? ¿Revelan las “creaciones” de los biólogos sintéticos una visión clarividente de la vida interna de la célula? ¿Cuál es la concepción de la naturaleza orgánica que guía las prácticas de la nueva ingeniería biológica?

2. La naturaleza de la vida según la biología sintética

Los “transientes” imaginados por la biología sintética, híbridos entre máquinas y seres vivos, están llamados a convertirse en los nuevos monstruos del siglo XXI pues, como todas las criaturas teratológicas, amenazan muchas de las dicotomías que conforman el orden simbólico de la modernidad, difuminando las fronteras entre lo vivo y lo inerte, lo natural y lo artificial, lo evolucionado y lo diseñado... Los autómatas microbianos anunciados por los biólogos sintéticos—leemos en un artículo reciente—poseerían características clásicamente asociadas a los seres vivos (compuestos por los mismos materiales de construcción, estarían regulados por mecanismos fisiológicos homeostáticos y serían capaces de reproducirse), pero también muchos de los rasgos propios de las máquinas, pues habrían sido construidos a partir de componentes modulares en base a principios de diseño racional y con aplicaciones específicas en mente (Douglas y Savulescu, 2010).

En realidad, los vástagos que hasta ahora ha dado a luz la biología sintética se revelan invenciones bastante menos creativas de lo que permiten suponer las

portadas de las revistas científicas más cotizadas. La célebre bacteria artificial de Craig Venter y su equipo requirió, en realidad, una célula ya existente a la que se extrajo su ADN para sustituirlo por un genoma sintetizado prácticamente copiado (y no diseñado de cero) a partir de la secuencia del genoma original.

El empeño de los biólogos sintéticos por considerar a este y otros artefactos biosintéticos como verdaderos autómatas celulares responde, como veremos, a intereses económicos profundamente imbricados con la noción de vida que articula los proyectos de la ingeniería biológica.

2.1 La “modularización” de la complejidad biológica. El gran reto de la visión ingenieril de la naturaleza orgánica radica en reducir la complejidad característica de los sistemas vivos. Precisamente porque la biología sintética tiene por objetivo la creación de nuevas entidades biológicas, la complejidad biológica no se percibe como un fenómeno a explicar, sino como un obstáculo a reducir con el fin de facilitar su construcción. En este contexto, la modularidad de los organismos es uno de los presupuestos fundacionales de la biología sintética y, en particular, del programa Biobricks. En ingeniería, los módulos se definen como unidades funcionales capaces de mantener sus propiedades intrínsecas al margen de aquello a lo que estén conectados, lo que permite extraerlas de un sistema e insertarlas en otro sin que sus funciones se vean alteradas. Las partes catalogadas en el Registro de partes estándares habrán de comportarse del mismo modo: como las piezas de un lego, deben ser intercambiables, funcionalmente discretas y combinables de un modo modular:

Al igual que los ingenieros eléctricos dependen de condensadores y resistores estándares o los programadores dependen de bloques modulares de código, los biólogos sintéticos se proponen crear un conjunto de partes biológicas modulares que puedan sintetizarse de inmediato y mezclarse en diferentes combinaciones. (Rai y Boyle 2007)

Como ha subrayado Calvert, la ontología de los biólogos sintéticos está intrínsecamente orientada por las necesidades asociadas a la patentización de sus productos. En general, la insistencia en diluir las fronteras entre lo natural y lo artificial está profundamente ligada a la necesidad de someter sus productos a la legislación reguladora de la propiedad intelectual: en 2007, tres años antes de que se anunciara en *Science* la “creación” de la primera bacteria sintética (Gibson *et al.*, 2010), el Instituto Craig Venter había cursado ya la primera solicitud registrada en la Oficina de Marcas y Patentes de EE UU para patentar una nueva forma de vida llamada *Mycoplasma laboratorium* y sus múltiples posibles aplicaciones. En particular, la modularización de la vida permite encajar los artefactos sintéticos en los regímenes de propiedad intelectual, extendiendo el reino de la mercancía a escala molecular (Calvert, 2008). Si una entidad biológica se convierte en una entidad discreta, se vuelve susceptible de ser patentada; en concreto, si los genes se definen como objetos unitarios con

propiedades estables y predecibles, los constructos genéticos podrán tratarse como bienes sujetos al intercambio de mercado. Y es que si bien los *biobricks* son de libre disposición, los artefactos genéticos que funcionan en contextos celulares se han patentado como métodos y los mismos gurús de la “biología de código abierto” (como Drew Endy) han fundado compañías con estrictas políticas de protección de la propiedad intelectual para comercializar artefactos genéticos y su productos.

2.2 La computación de la vida. La reducción de los sistemas orgánicos a la articulación mecánica de sus partes es el pilar fundacional de la tradición mecanicista en biología, pero la biología sintética va más allá, incorporando la reconceptuación de la vida en términos de información que ha dominado la biología molecular desde que Watson y Crick desentrañaran la estructura del ADN en 1953. La voluntad de sintetizar la vida característica de la química sintética se lleva a la práctica con la tecnología moderna de la información, y el dictum de Feynman se convierte en la también célebre sentencia de Von Neumann: “*Si no puedes computarlo, no lo entiendes*” (Van Den Belt, 2009). Las promesas de la biología sintética se fundan en esta reformulación de la vida en términos de computación; en el futuro biotecnológico, los nuevos diseñadores de software biológico podrán reprogramar los organismos a su antojo:

(...) un día un biólogo en frente de un ordenador podría juntar los genes virtuales de un organismo virtual, programarlo y ponerlo a prueba en un modelo computacional, y después darle a imprimir. A partir de ahí, máquinas automatizadas podrían producir el organismo actual, que se comportaría exactamente como predijera el ordenador. (Grushkin, 2012)

La codificación de la vida se funda en el dualismo ontológico inherente a la analogía entre células y ordenadores: al igual que el hardware se separa del software, los biólogos sintéticos asumen una distancia radical entre el genoma y la maquinaria celular, que queda reducida al papel de un mero receptáculo, un chasis que puede acomodar cualquier artefacto genético y producir los productos esperados. En este sentido, como ha señalado el biofísico marxista Stuart Newman, la biología sintética trata la célula como una caja negra programable en la que pueden construirse ingeniosas funcionalidades, al estilo del iPhone y otros productos de la compañía *Apple*, cuyo software es de código cerrado, pero al mismo tiempo flexible al desarrollo de “apps” (Newman, 2012).

2. 3 Jugando a dioses. Por último, la concepción sintética de la naturaleza orgánica se sustenta en una singular relación con la teoría evolutiva. La ambición por “diseñar” la vida encaja con la narrativa adaptacionista del neodarwinismo, donde los organismos (atomizados en rasgos diseñados por la selección natural para acometer óptimamente sus funciones) aparecen como

“Cada vez que la ciencia amenaza con traspasar alguna de las fronteras culturalmente sancionadas como la que divide el mundo en las categorías de lo natural y lo artificial, se multiplican las voces que acusan a los científicos de jugar a ser dioses”

el mejor compromiso posible entre las distintas exigencias ambientales a las que están sujetos (Gould y Lewontin, 1979) Pero la biología sintética pretende ir más allá en la consecución de la perfección adaptativa y, para ello, aspira a deshacerse de la evolución: en la “era posdarwiniana” los nuevos sistemas vivos se construirán de cero, liberados del “detritus innecesario” acumulado a lo largo del tiempo evolutivo, y la biodiversidad resultante “*no será ya el producto de las presiones evolutivas, sino de elecciones de diseño e imperativos industriales y políticos*” (Dyson, 2005).

Cada vez que la ciencia amenaza con traspasar alguna de las fronteras culturalmente sancionadas como la que divide el mundo en las categorías de lo natural y lo artificial, se multiplican las voces que acusan a los científicos de jugar a ser dioses (Van Den Belt, 2009). Aparentemente, los biólogos sintéticos encarnan este rol con particular dramatismo, pues amenazan con profanar el misterio de la vida, el último refugio de la fe. Sin embargo, la concepción sintética de la creación de la vida en términos de ingeniería contribuye a refrendar el argumento clásico del diseño inteligente: el diseño implica un diseñador.

3. De las promesas a la realidad de la biología sintética

A pesar de las promesas, la fabricación de partes estándares y su ensamblaje en autómatas microbianos continúa siendo una visión muy alejada de las prácticas actuales de los biólogos sintéticos. De hecho, la mayor parte de los *biobricks* disponibles no funcionan, y las dos grandes empresas fundadas con el fin de comercializar los artefactos de la biología sintética y sus productos (*Codon Devices* y *Amyris*) han fracasado estrepitosamente precisamente por no disponer de ninguna mercancía sintética que poner en circulación.

El problema radica en que los módulos biológicos no son equiparables a las piezas de lego con las que opera la ingeniería (O’Malley *et al.*, 2008). A diferencia de las partes ensambladas en la ingeniería mecánica, los bloques de construcción orgánicos son entidades intrínsecamente interactivas, de modo que tanto su identidad como su comportamiento están determinados por tales interacciones: muchas proteínas cambian tanto su estructura como su función dependiendo del contexto, y el mismo conjunto de genes regulatorios puede dar lugar a distintos resultados morfológicos en función del tiempo y lugar en el que se exprese.

A lo largo de las últimas décadas, la importancia del contexto celular se ha revelado cada vez más compleja, cuestionando el sentido único (genes →

proteínas → fenotipo) en el que—según el dogma central de la biología molecular—circula la causalidad: los patrones de metilación, la estructura de la cromatina y la propia secuencia de nucleótidos se modifica en el transcurso de la ontogenia. A la luz de los avances de la epigenética, el genoma no puede concebirse ya como “el plano del arquitecto y la destreza del constructor a la vez” (Schrödinger, 1946); más bien, utilizando una metáfora musical, el genotipo se comporta como una partitura interpretada por la célula que, a su vez, se modifica en el propio curso de la interpretación (Robert, 2004). Es más, muchas de estas modificaciones son heredables (Jablonka y Lamb, 1995). Y es que la investigación molecular de los mecanismos de ‘codificación’ de la información revela diferencias esenciales entre la replicación genética y los procesos de copia: los programas informáticos se replican; las células se reproducen. Como demostraron los célebres experimentos de Spielgman²—no es el genoma, sino el sistema celular en su totalidad el que se comporta como una unidad reproductora.

La dependencia contextual de las partes biológicas ha obligado a ciertos biólogos sintéticos a reconocer que la uniformidad y la reproducibilidad de una función biológica es una expectativa quimérica, incluso en sistemas rediseñados extremadamente simplificados (Andrianantoandro *et al.*, 2006). En consecuencia, la mayoría de las biopartes catalogadas en el *Registro de partes biológicas estándares* no mostrará la misma actividad en diferentes ensamblajes, pues su comportamiento dependerá de la red de interacciones en la que estén insertas. La constatación de la inevitable complejidad de los sistemas biológicos ha llevado a algunos biólogos sintéticos a sugerir vías de comercialización alternativas que constatan el fracaso de la perspectiva ingenieril de los seres vivos: unos apuestan por desarrollar una nueva generación de circuitos sintéticos integrados con procesos celulares; otros apuestan por abandonar el proyecto de fabricar partes estándares para dedicarse a la *customización* a demanda de artefactos biológicos adaptados a distintos contextos orgánicos.

Por último, queremos apuntar dos grandes sentidos en los que el estado actual de la biología evolucionista mina las expectativas de la biología sintética y los aspirantes a dioses que la gobiernan.

Por un lado, la evolución de las funciones biológicas no tiene nada que ver con el diseño racional. Como insistiera Stephen Jay Gould, a lo largo del tiempo evolutivo, las partes que en su origen fueron seleccionadas para desempeñar ciertas funciones se reutilizan y modifican para adaptarse a nuevos contextos ecológicos. Las plumas de los pájaros, por ejemplo, sirvieron al principio para la termorregulación, y solo mucho más tarde se reutilizaron para el vuelo. La evolución, lejos de poder analogarse a un proceso de optimización ingenieril, habría de describirse, más bien, como una “historia de parches” mediante los

² En varios experimentos, Spielgman y sus colaboradores demostraron que el ADN aislado del contexto celular conduce a la evolución de este último hacia la simplicidad.

cuales se logra alcanzar una función (Gould y Lewontin, 1979). De hecho, el modo en el que se han obtenido los contados logros de la biología sintética se parece más al arte creativo que al diseño racional de propiedades predecibles (O'Malley, 2009).

Por otro lado, ninguna ingeniería que opere con seres vivos puede aspirar, por principio, a “liberarse” de la evolución. Los mecanismos celulares básicos no pueden descifrarse mediante la lectura de las secuencias de nucleótidos de ningún organismo moderno, pues los genomas basados en ADN no existían en los primeros organismos que poblaron la Tierra, y los genomas actuales registran los billones de años de evolución transcurridos desde que apareciera el ADN (Newman, 2012). En cualquier caso, las imaginarias formas de vida que poblarían la bioeconomía del futuro no podrían escapar a las contingencias de la evolución y, por lo tanto, al control humano.

Como no se cansara de repetir Aristóteles, “*el arte imita a la naturaleza*”, y no a la inversa. Los seres vivos no son máquinas modulares genéticamente programadas para desempeñar sus funciones y, en ese sentido, la *tecnomimesis*, la imitación de los principios de diseño racional utilizados en ingeniería para construir artefactos orgánicos, está destinada al fracaso. A algunos bioingenieros esto les trae sin cuidado, y anuncian que si sus modelos no funcionan, diseñarán las partes biológicas para que encajen con ellos. Pero ya hemos denunciado el idealismo de semejante desafío: si quiere construirse vida con materiales orgánicos, habrán de tenerse en cuenta las propiedades de esa materia a la luz del conocimiento arrojado por las ciencias biológicas del presente. Como empiezan a reconocer algunos de sus practicantes, si la biología sintética aspira a ofrecer algo más que modestas adendas a la biología “analítica”, tendrá que flexibilizar sus principios ingenieriles para dejar de imitar a las máquinas (O'Malley *et al.*, 2008) y recuperar la estrategia *biomimética*³ que caracteriza, de hecho, otros esfuerzos menos publicitados de comprender y recrear la vida.

Gould ya advirtió que la gran moraleja del mito de Frankenstein no apela a la osadía de su creador sino a las consecuencias que se derivan de no hacerse cargo de sus creaciones (Van Den Belt, 2009). El peligro de una disciplina que quiere cambiar la vida sin necesidad de comprenderla, ignorando deliberadamente lo que ya sabemos, radica precisamente en eso: una ciencia que no sabe lo que crea, difícilmente podrá prever cómo se comportarán sus promesas.

Laura Nuño de la Rosa es investigadora postdoctoral en filosofía de la biología en el Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research (Viena, Austria).

³/ El principio de biomimesis ha sido desarrollado en un sentido político más amplio: “*se trata—en palabras de Riechmann—de comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles (y en particular en el nivel ecosistémico) con el objetivo de reconstruir los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales.*” (Riechmann, 2006).

Bibliografía citada

- Andrianantoandro, E., Basu, S. D., Karig, K. y Weiss, R. (2006) "Synthetic Biology: New Engineering Rules for an Emerging Discipline". *Molecular Systems Biology*, 2 (1).
- Bensaude Vincent, B. (2013) "Between the possible and the actual: Philosophical perspectives on the design of synthetic organisms". *Futures*, 48, 23-31.
- Bueno, G. (1995) *¿Qué es la ciencia?* Oviedo: Pentalfa Ediciones.
- Calvert, J. (2008) "The Commodification of Emergence: Systems Biology, Synthetic Biology and Intellectual Property". *BioSocieties*, 3 (4), 383-398.
- Douglas, T. y Savulescu, J. (2010) "Synthetic biology and the ethics of knowledge". *Journal of medical ethics*, 36 (11), 687-693.
- Dyson, F. (2005) "The darwinian interlude". *Technology Review*, March 5. Disponible en <http://carefreecomputing.org/CC/GP/G101.pdf>
- Editorial (2005) "Life Is What You Make It". *Nature*, 438 (7067), 396-396.
- Ettxeberria, A. y Ruiz-Mirazo, K. (2009) "The challenging biology of transients. A view from the perspective of autonomy". *EMBO Reports* 10 (Suppl 1) (agosto): S33-S36. doi:10.1038/embor.2009.154.
- Gibson, D. G., Glass, J. I., Lartigue, C., Noskov, V. N., Chuang, R.-Y., Algire, M. A., Benders, G. A. et al. (2010) "Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome". *Science*, 329 (5987), 52-56.
- Gould, S. J. y Lewontin, R. C. (1979) "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme". *Proceedings of the Royal Society of London* 205 (1161). *Biological Sciences*, 581-598.
- Grushkin, D. (2012) "The Rise And Fall Of The Company That Was Going To Have Us All Using Biofuels". *Fast Company*. Disponible en <http://www.fastcompany.com/3000040/rise-and-fall-company-was-going-have-us-all-using-biofuels>.
- Jablonka, E. y Lamb, M. J. (1995) *Epigenetic inheritance and evolution*. Oxford University Press.
- Newman, S. A. (2012) "Synthetic Biology: Life as App Store". *Capitalism Nature Socialism*, 23 (1), 6-18.
- O'Malley, M. A. (2009) "Making knowledge in synthetic biology: Design meets kludge". *Biological Theory*, 4 (4), 378.
- O'Malley, M.A., Powell, A., Davies, J.F. y Calvert, J. (2008) "Knowledge-Making Distinctions in Synthetic Biology". *BioEssays*, 30 (1), 57-65.
- Rai, A. y Boyle, J. (2007) "Synthetic Biology: Caught between Property Rights, the Public Domain, and the Commons". *PLoS Biol*, 5 (3), e58.
- Rheinberger, H. J. (2000) "Beyond nature and culture: modes of reasoning in the age of molecular biology and medicine". *Living and working with the new medical technologies: intersections of inquiry*, 19.
- Riechmann, J. (2006) "Biomimesis: Respuesta a algunas objeciones". *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, (9), 1.
- Robert, J. S. (2004) *Embryology, epigenesis, and evolution*. Cambridge University Press.
- Schrödinger, E. (1946) *What's Life*. Nueva York: McMillan.
- Van Den Belt, H. (2009) "Playing god in Frankenstein's footsteps: synthetic biology and the meaning of life". *NanoEthics*, 3 (3), 257-268.
- Woese, C. R. (2004) "A New Biology for a New Century". *Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR*, 68 (2), 173-186.