

# La biología sintética y sus promesas por cumplir

## Synthetic biology and its promises

JOSÉ MANUEL DE CÓZAR ESCALANTE

Universidad de La Laguna

**RESUMEN.** La biología sintética es una ciencia y tecnología emergente, o mejor, una tecnociencia, que converge con otras como la nanotecnología, las tecnologías de la información y de la comunicación, la robótica, la inteligencia artificial o la neurociencia. Todas ellas poseen rasgos comunes que apuntan a unas repercusiones sociales y ambientales de lo más preocupantes. Con sus ambiciosos fines de control de la complejidad, rediseño y creación de nuevas entidades vivientes, la biología sintética ejemplifica a la perfección una nueva realidad bioeconómica, que exige ampliar el foco de la discusión más allá de los limitados análisis comparativos de riesgos y beneficios, para encarar las incertidumbres, reasignar responsabilidades y plantear a fondo una evaluación social de todo lo que está en juego.

*Palabras clave:* biología sintética; tecnociencia; control; repercusiones sociales; evaluación; riesgo; incertidumbre; responsabilidad.

**ABSTRACT.** Synthetic biology is a new science and emerging technology, or rather a technoscience, which converges with others such as nanotechnology, information technology, robotics, artificial intelligence and neurosciences. All have common features that could have highly concerning social and environmental impacts. With its ambitious goals of controlling complexity, redesigning and creating new living entities, synthetic biology perfectly exemplifies the new bioeconomic reality. This requires expanding the focus of the discussion beyond the limited comparative analysis of risks and benefits, to address uncertainties, reassign responsibilities and initiate a thorough social assessment of what is at stake.

*Key words:* synthetic biology; technoscience; control; social impact; assessment; risk; uncertainty; responsibility.

### INTRODUCCIÓN

Ciertas discusiones sobre la biología sintética y otras disciplinas emergentes, que en apariencia revisten un carácter exclusivamente técnico, abstracto, o que poseerían a lo sumo un interés “meramente filosófico” resultan ser, sin embargo,

de gran relevancia social atendiendo a sus consecuencias prácticas, reales o potenciales. Los ciudadanos, que en su mayor parte solo se interesan por el desarrollo científico y tecnológico en tanto da lugar a nuevos productos, más o menos útiles, o por su capacidad para resolver problemas claramente identificables, precisan conocer al menos los rasgos esenciales de las transformaciones que desde tiempos recientes se están produciendo en lo que se entiende por conocimiento científico y por la producción del mismo.

La ciencia ha desempeñado desde hace ya siglos el rol de garante, con su autoridad epistémica, de los conocimientos que permiten a la sociedad organizarse mejor y hacer frente a las dificultades que se le presentan. Cabe argüir, simplifícadamente, que el conocimiento científico llevaba implícita la promesa de control del entorno natural y social. El conocimiento biológico, expresado mediante representaciones simbólicas y teorías, podía conducir al control de los seres vivientes para provecho del ser humano, ya fuera erradicando enfermedades o manipulando las entidades biológicas para obtener nuevas variedades y productos.

La biología sintética no responde exactamente a este esquema tradicional de elaboración de teorías y posterior aplicación de las mismas, pues se basa en conocimientos orientados prácticamente, que hacen que las síntesis y modelos que diseña “funcionen aceptablemente bien”, aunque sin eliminar un importante grado de ignorancia sobre lo que hace que funcionen bien desde un punto de vista ingenieril. De acuerdo con la revisión del Grupo Europeo de Ética de la Ciencia y de las Nuevas Tecnologías, toda definición de la biología sintética debe incluir el diseño de células/organismos mínimos (incluidos genomas mínimos); la identificación y uso de ‘partes’ biológicas (caja de herramientas); y la construcción total o parcial de sistemas biológicos artificiales (European Group on Ethics in Science and New Technologies, 2010, p. 14). Ello muestra con claridad el énfasis puesto por la biología sintética en los elementos de diseño y de producción de entidades, más que en la búsqueda del conocimiento por sí mismo. Hay otras definiciones que, si bien con diferentes matices, van en la misma línea<sup>1</sup>:

- La biología sintética es la aplicación del enfoque de la ingeniería a la biología para diseñar y sintetizar sistemas biológicos de una manera racional y sistemática.

- La biología sintética se orienta a la construcción de bio-objetos inexistentes en la naturaleza (ie., a la producción de entes artificiales).

- La biología sintética es la expansión (principalmente cuantitativa) de los métodos y técnicas de la biotecnología e ingeniería genética.

---

<sup>1</sup> Estas definiciones se encuentran en Schmidt (2015).

- La biología sintética tiene por objeto el aprovechamiento (“harnessing”) de la capacidad de auto-organización de la naturaleza con propósitos tecnológicos (controlar la caja de herramientas de la naturaleza para diseñar sistemas biológicos).

La biología sintética se encuentra en un ámbito común con otras nuevas disciplinas a caballo entre la ciencia y la tecnología, o “tecnociencias”, como son las diversas nanotecnologías, las tecnologías de la información y de la comunicación, la Inteligencia Artificial (IA) y la robótica, sin olvidar el campo de la neurociencia y de la neurotecnología. Todas estas tecnociencias comparten importantes características. Lo que a primera vista destaca es, a menudo, su ambición de control, con fines prácticos, de la materia en la nanoescala: ya sea viva o inanimada, ya un híbrido entre ambas; ya se trate, pues, de átomos, genes, bits o neuronas.

Otro elemento fundamental de las tecnociencias es el contexto económico en el que se desarrollan. Para ser más exactos, no se trata tanto de que se desarrollen en un contexto económico como de que la realidad tecnocientífica y la nueva realidad económica, aludida como “economía del conocimiento” o más concretamente, como “bioeconomía”, se coproducen.

En este artículo nos proponemos justificar, a grandes líneas, la relevancia social de la discusión académica sobre el estatus científico y técnico de la biología sintética y resto de tecnologías emergentes o tecnociencias, así como el preocupante refuerzo mutuo que supone su despliegue de la mano de los nuevos planteamientos bioeconómicos. Comenzaremos describiendo los elementos más significativos de dichas tecnociencias en general y de la biología sintética en particular. A continuación discutiremos el sentido de las promesas que han hecho a la sociedad, y de sus dificultades para cumplirlas. Tras ello distinguiremos entre un enfoque estrecho y uno amplio de la evaluación tecnológica, mostrando la insuficiencia del primero y abogando, así pues, por la necesidad de ensayar el segundo. La evaluación amplia de la biología sintética incluye la discusión de sus planteamientos epistémicos, metodológicos y prácticos. Concluiremos el ensayo con un breve resumen de lo tratado e insistiendo en los aspectos oscuros de la conjunción del enfoque ingenieril de la biología sintética con la nueva bioeconomía. Abogaremos por el inicio inmediato de la evaluación social, a fondo y continuada, de las implicaciones prácticas de unas “aplicaciones prometedoras” que resultan ser el ensamblaje de conocimiento científico bajo presión, un creciente poder tecnológico y unas prácticas económicas dudosas.

### *LA BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO TECNOCIENCIA*

Mediante la expresión “tecnologías emergentes” (“emerging technologies” en inglés), se suele aludir de manera un tanto imprecisa a un conjunto de innovaciones tecnológicas que exploran nuevos territorios con conceptos y métodos

también novedosos, por contraste con las tecnologías ya consolidadas, cuyas mejoras suelen ser de carácter principalmente incremental. Entre dichas tecnologías se encontrarían la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías de la información, la Inteligencia Artificial, la robótica o las neurotecnologías, pero el listado puede ampliarse si se usan criterios generosos a la hora de evaluar la novedad y “radicalidad” de las aplicaciones en desarrollo o comercializadas. Ejemplo de la seriedad con la que se toma esta denominación es la existencia en Horizonte 2020 (el programa marco de investigación e innovación de la Unión Europea ) de la temática de “Tecnologías Futuras y Emergentes”, perteneciente al pilar Ciencia Excelente<sup>2</sup>.

Sea como fuere, un fenómeno frecuente en estos ámbitos es el de la convergencia tecnológica. Puede producirse porque un nuevo territorio que recorrer surja de forma inesperada, porque se exploren espacios limítrofes entre tecnologías asentadas, porque una tecnología (destacadamente la tecnología informática) cumpla la función de herramienta de otras, por la escala en la que se opera, o por otras razones. El caso es que muchas de las investigaciones y aplicaciones en los mencionados campos se hallan en pleno proceso de convergencia, como lo muestran, entre otros ejemplos, el desarrollo de la nanobiotecnología, el impacto del aumento de las capacidades computacionales en el avance de la biología sintética, el papel de las nuevas tecnologías de imagen, nanomateriales y sistemas informáticos en el estudio y acción sobre los procesos cerebrales o la incidencia de la mejora en el conocimiento del sistema nervioso humano en las expectativas de la IA de cumplir sus objetivos en un futuro no muy lejano. La convergencia más celebrada es la convergencia NBIC (Nanotecnología, Biotecnología, Informática y Ciencia Cognitiva). Es una oportunidad de oro para aumentar la potencia de esas tecnologías tomadas por separado así como para dar con aplicaciones originales, pero también tiene un componente disruptivo preocupante<sup>3</sup>.

Así pues, la biología sintética —junto con gran parte de la investigación llevada al amparo de las tecnologías de la convergencia NBIC—, puede en principio ser entendida como una disciplina científica, como una tecnología (emergente o convergente) o como una tecnociencia. Depende del enfoque conceptual y metodológico que se adopte en cada caso. No obstante, parece más exacto hablar de “tecnociencia” que de “ciencia” o “tecnología” a secas, puesto que lo que observamos es una combinación tanto de elementos científicos como tec-

---

<sup>2</sup> Véase por ejemplo el sitio web <http://eshorizonte2020.es/ciencia-excelente/tecnologias-futuras-y-emergentes-fet>

<sup>3</sup> Para una puesta al día de los argumentos a favor de la convergencia, véase Roco *et al.* (2013). Una visión más crítica se encontrará en de Cózar (2013).

nológicos, de conocimientos teóricos y de métodos prácticos. Ahora bien, las tecnociencias no responden a las concepciones tradicionales sobre las características y objetivos de las disciplinas científicas, tecnológicas e ingenieriles. En cuanto a la ciencia, más que reducir la complejidad de su objeto de estudio mediante la teoría, buscan comprender mediante la producción o transformación del mismo (Hacking, 1983). Yendo un paso más allá, se acercan a lo ingenieril en tanto persiguen el control, aunque sea desprovisto de comprensión, de la complejidad natural mediante el diseño, pero difieren de los enfoques clásicos de la ingeniería y de la tecnología en que para ello no necesariamente deben simplificar la complejidad de su objeto convirtiéndolo en un conjunto de partes más simples (Nordmann, 2015). En cualquier caso, causa desasosiego que, a fin de obtener ese control se siga persiguiendo el viejo sueño reduccionista y determinista de la ciencia moderna de domesticación de la naturaleza. Eso sí, ahora se hace por otros medios, más tecnológicos que teóricos, y con un ropaje más “biologicista”, “naturalizado” o “biomimético” que mecanicista. La maniobra se confía a simulaciones informáticas y a otros métodos de ingeniería que buscan el control absoluto de su objeto, construyéndolo desde la nanoescala (átomo a átomo, molécula a molécula), explotando la capacidad natural de auto-organización de los sistemas vivos, equiparando la complejidad del modelo o sistema tecnológico al sistema natural que quiere reproducir o recurriendo a otras estrategias<sup>4</sup>.

¿Qué problema queremos sacar a la luz con las observaciones precedentes? Es éste: el “mundo real” sobre el que buscan operar las tecnociencias, con sus optimistas planteamientos, rebosa de riesgos, inestabilidades e incertidumbres de todo tipo; es, por usar la ya clásica terminología de S. Funtowicz y J. Ravetz (1993), un contexto de aplicación de ciencia postnormal. Estamos lejos de la vieja ciencia normal, kuhniana, con su nítida separación entre ciencia básica, aplicada y tecnología. Por tanto, y por mucho que se haya cambiado el enfoque racional, por mucho que se haya elevado la sofisticación y complejidad de los modelos, por mucho que haya aumentado el poder de procesamiento de datos y la precisión de los instrumentos de medida, es dudoso pensar que se alcance un control suficiente como para evitar efectos adversos, inesperados y de enorme gravedad. La historia está repleta de tecnologías de (supuesto) éxito, que dieron lugar a repercusiones negativas que a duras penas se tuvieron en cuenta, o que se desestimaron como productos de un temor irracional: accidentes nucleares, destrucción de la capa de ozono, alta toxicidad (mercurio, plomo, amianto), malformaciones, efecto invernadero, contaminación por

---

<sup>4</sup> Para una revisión reciente del campo, es útil consultar Giese *et al.* (2015). Aborda tanto los conceptos y métodos como la evaluación de la biología sintética.

transgénicos, disruptores endocrinos y un largo etcétera (European Environment Agency, 2013).

Por si esto no fuera suficiente para alarmarse, otro rasgo común de las nuevas tecnociencias —o cuando menos de un número de ellas, entre las que se encuentra la biología sintética— es que se despliegan en el marco de la “economía del conocimiento”, y más en concreto de la “bioeconomía”. Este término no lo traemos aquí como sinónimo de “economía ecológica”, que, por decirlo en dos palabras, sería el intento, desde la preocupación ecológica, de cambiar el paradigma del pensamiento económico tradicional para reconducirlo según parámetros más “sostenibles”. Por el contrario, hablamos de la apropiación de la bioeconomía por la narrativa neoliberal del crecimiento económico y de la competitividad, desde un discurso más o menos ecologista o ambientalista, para explotar sistemáticamente y hasta niveles nunca antes sospechados la materia viviente (Pavone, 2012). Así pues, esta bioeconomía, en lugar de situar la actividad económica dentro del sistema más amplio de la vida en el planeta, intenta situar la vida bajo el dominio de la economía de mercado. Se trataría así de una economía de base biológica, ciertamente, pero para el acaparamiento de la biomasa (ETC Group, 2013).

Las tecnociencias tienen también en común que prometen mucho, que generan grandes expectativas. Son unas promesas y expectativas que a día de hoy no se han visto cumplidas en su mayor parte. Pero es que, en ciertos casos, el mismo hecho de que tengan éxito, según los parámetros habituales, puede resultar peor que el escenario en el que fracasan. Sabemos, a tenor de la historia pasada, que el desarrollo con éxito de una tecnología no necesariamente va a suponer una mejora de las condiciones de vida de la mayoría. En algunos casos, el éxito no se traduce en un producto lo bastante logrado como para que suponga un cambio significativo a mejor. Hay toda una gama de aplicaciones más o menos chapuceras que se encuentran en el mercado y se defienden razonablemente bien en términos de ventas (a veces su funcionamiento defectuoso o no perdurable puede ser deliberado, como sabemos por el escándalo de la obsolescencia programada). Cuando se busca el beneficio económico ante todo, un éxito según los criterios técnicos y económicos reconocidos puede acabar acarreando consecuencias más negativas que otra cosa para importantes sectores de la población o incluso para el conjunto de los seres humanos. Por ejemplo, la producción con éxito de combustibles sintéticos para sustituir a los combustibles fósiles puede hacer que se destinen grandes extensiones y recursos a la plantación de biomasa para ser transformada. Se acaparan terrenos y cultivos que se sustraen a sus usos para alimentación con el consiguiente impacto en las poblaciones y en el precio de los alimentos (ETC Group 2013). Sin mencionar que con esta tecnología continúan emitiéndose masivamente gases a la

atmósfera que aumentan el efecto invernadero, lo cual afecta potencialmente a toda la humanidad. Por supuesto, otra cuestión es la del coste. ¿Quiénes contarán con recursos suficientes para poder adquirir estos productos?

### *PROMESAS QUE CUESTA CUMPLIR*

Vivimos tiempos en los que resulta palmario que la “mano invisible” del mercado no suele coincidir con las conductas éticas, al menos tal y como las entendemos la mayoría de los ciudadanos. Sin negar en ningún momento que diversas aplicaciones de la biología sintética puedan ser altamente beneficiosas para la salud y la calidad de vida de las personas y el buen estado del medio ambiente, es evidente que los intereses comerciales tras el desarrollo de las mismas son formidables, lo que puede dar al traste con expectativas bien fundadas.

Así pues, por un lado, es indudable el potencial transformador de estas tecnologías, ya sea operando solas o en combinación. La convergencia de las biotecnologías con las nanotecnologías, por ejemplo, supone un proceso de gran significado científico, técnico y social, dada la capacidad transformadora de lo real de la combinación nano-bio. Es de prever un gran número de repercusiones sociales y ambientales, desde pequeñas mejoras incrementales en tecnologías ya bien asentadas (como filtros, sensores, producción de energía, materiales para prótesis, medicamentos, etc.) hasta innovaciones inimaginables hoy en día pero no descartables a largo plazo. Desde la perspectiva filosófica, se plantean interrogantes perturbadores sobre el desvanecimiento de las separaciones conocidas entre un ser vivo y uno inerte, lo natural y lo artificial, una entidad biológica y su entorno, e incluso, a más largo plazo, entre un ser humano y un ser “post” o “trans-humano”

Los límites de extensión de este trabajo impiden por desgracia abordar, siquiera someramente, tantos y tan graves interrogantes. Al catálogo habría que añadir la ambición de la biología sintética de tomar en nuestras manos la evolución biológica, de reconducirla intencionadamente y a nuestra conveniencia, con la finalidad de “mejorarla” tanto en lo que se refiere a los seres humanos como a otros seres vivos. Por ésta y otras razones, en algunos listados “catastrofistas” la biología sintética aparece, junto a la nanotecnología y a la Inteligencia Artificial, como una de las posibles causantes de un colapso civilizatorio (Pamlin y Armstrong, 2015). Este tipo de predicciones, por más se ensayen con seriedad, son apenas algo más que puramente especulativas. Que a pesar de ello no carecen de interés: sugieren que hay que tener en cuenta las “visiones”, representaciones, imágenes e imaginarios que orientan la práctica investigadora actual, los miedos y anhelos a ellas asociados y, en definitiva, los presentes procesos de aceptación (o rechazo) social de las tecnociencias.

Por otra parte, deberíamos mostrarnos reacios a creernos todas las promesas de mejoras que se hacen únicamente con el fin de que la biología sintética y el resto de tecnologías convergentes encuentren un amplio respaldo social. Para ello no hay mejor antídoto que echar un vistazo a los archivos de la historia reciente. Sin entrar en detalles, recordemos las promesas, en su momento y todavía hoy, de la energía atómica, el proyecto genoma humano, la terapia génica, los organismos modificados genéticamente y la industria química, con el creciente listado de sustancias químicas peligrosas, o los combustibles fósiles.

Si nos centramos ahora únicamente en la biología sintética, los mayores campos de investigación son el suministro de energía (fotosíntesis, biocombustibles), los nuevos materiales biológicos, los compuestos químicos, las aplicaciones ambientales (control de la polución), así como productos botánicos para aditivos alimentarios, fragancias y aplicaciones biomédicas (terapias, vacunas, órganos sintéticos). Concretando los resultados que se pueden poner sobre la mesa, observamos que se están produciendo mejoras en un número reducido de productos de indudable valor comercial. El grupo ETC identificó alrededor de veinte productos diferentes que ya se comercializan, entre los cuales se encuentran dos bioplásticos derivados del maíz, el sabor a pomelo “natural”, el ácido shikímico o siquimato, derivado sintéticamente (e ingrediente clave en el antiviral tamiflu), un suavizante cosmético, y un biodiesel derivado del azúcar (ETC Group 2013)<sup>5</sup>.

Hace ya varios años, en un artículo publicado en *Nature* se advertía del abismo que existía entre las promesas de la biología sintética y las dificultades efectivas en el día a día de la investigación para hacerlas realidad (Kwok, 2010)<sup>6</sup>. La situación no ha variado sustancialmente desde entonces. Desde sus inicios, se ha insistido en la utilidad de la biología sintética para hallar soluciones en el campo biomédico, energético y ambiental. Por ejemplo, programar células para producir grandes cantidades de biocombustible, detectar toxinas en el ambiente, administrar cantidades precisas de un medicamento, etc. El enfoque, resumidamente, consiste en caracterizar las secuencias genéticas que codificarían las funciones deseadas; tras esta identificación de “partes”, “ladrillos” o “bloques”, se procede a combinarlas en dispositivos que realicen funciones más complejas; a continuación se insertan los dispositivos en las células. Se ten-

---

<sup>5</sup> A esta lista habría que añadir, más recientemente, la vainilla sintética y otros aditivos alimentarios, o la semisíntesis de la artemisina, ingrediente esencial en la lucha contra la malaria. Para un seguimiento documentado y crítico de las nuevas aplicaciones puede consultarse el sitio web del Grupo ETC, en su sección dedicada a la biología sintética: <http://www.etcgroup.org/es/issues/synthetic-biology>

<sup>6</sup> Los comentarios que siguen a continuación se basan fundamentalmente en el contenido de dicho artículo.



dría así una especie de “caja de herramientas” con componentes genéticos reusables para diversas aplicaciones.

Sin embargo, las analogías con tecnologías ya asentadas, como la electrónica (con sus circuitos, transistores, interruptores, y demás) son engañosas, porque no reflejan el enorme déficit de conocimientos sobre el funcionamiento real de los seres vivos. No se pueden entender las operaciones moleculares como un destornillador o un transistor.

El artículo identifica cinco grandes campos de problemas. El primero es la indefinición de los elementos biológicos. Muchas de las “partes” identificadas no son bien caracterizadas ni comprobadas experimentalmente. El segundo es que los bloques no tienen por qué funcionar como se espera cuando se juntan, aunque se conozca cómo actúan por separado. Para reducir el trabajo de ensayo y error, que es lento y arduo, se recurre a los modelos de ordenador y a la “evolución dirigida”, que se basa en la mutación de secuencias de ADN, la evaluación de su rendimiento, la selección de los candidatos y la repetición del proceso hasta que el sistema es “optimizado”. Estos dos enfoques (modelización y evolución dirigida) presentan sus propios problemas. La tercera dificultad es el aumento de la complejidad a medida que crece el tamaño de los ensamblajes de los elementos básicos, lo que dificulta el éxito por la incertidumbre, el tiempo requerido para obtener resultados, el encarecimiento de la investigación y los recursos que se precisan para llevarla a buen término. En cuarto lugar, hay que tener en cuenta que muchos de los ladrillos que se intentan combinar entre sí resultan ser incompatibles. A fin de reducir las interacciones inesperadas, los investigadores confían en la “ortogonalización”, es decir, en crear sistemas que operen independientemente del funcionamiento natural de una célula y puedan ser así usados en distintos contextos. En quinto y último lugar, la variabilidad, las fluctuaciones aleatorias o “ruido” afectan al funcionamiento deseado de los sistemas diseñados.

Por supuesto, este considerable conjunto de dificultades ha hecho que los investigadores sean menos “ingenuos” respecto a los resultados que pueden obtener a corto plazo, pero no les ha conducido al desaliento, ya que cuentan con estrategias como las ya indicadas —simulaciones informáticas, evolución dirigida, ortogonalización, entre otras— para encararlas. Ahora bien, desde el punto de vista social los plazos que se manejan para cumplir determinadas expectativas no son un asunto menor. Cabe argüir que los mismos investigadores se encuentran bajo presión, debido a la competencia y a la asignación de recursos limitados, para obtener resultados prácticos en un tiempo relativamente breve, pero que, al fin y al cabo, la empresa investigadora científica desde siempre cuenta con la posibilidad del fracaso y la necesidad de hacerse con unas buenas dosis de paciencia. Sin embargo, resulta una irresponsabilidad, por decirlo

suavemente, crear una situación de expectativas desmesuradas (lo que en inglés se conoce como “hype”, algo entre la hipérbole, el entusiasmo y el despliegue publicitario), cosa que la biología sintética ha impulsado, junto con el resto de tecnociencias ya citadas. A pesar de los progresos realizados, la biología sintética no acaba de “entregar” aplicaciones de utilidad en el mundo real. Como señalaba un investigador citado por Kwok (2010), “el campo ya ha pasado su fase de entusiasmo desmedido y ahora necesita entregar (aplicaciones útiles)”. Para los pacientes y allegados, y para otras personas que sufren diversas adversidades en sus vidas, las promesas incumplidas de la biología sintética y del resto de tecnociencias no son algo para tomar a la ligera.

### *EL ENFOQUE ESTRECHO DE LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS*

Tras presentar las nuevas tecnologías o tecnociencias y caracterizar la biología sintética como una de ellas, así como revisar los obstáculos para cumplir las promesas realizadas, vamos a plantear ahora, según nuestro criterio, los términos adecuados del debate social y ambiental sobre el desarrollo de tales disciplinas.

Además de incumplir con cierto descaro lo que se prometió y aun así seguir prometiéndolo para un futuro cada vez más elusivo, a nuestro juicio el principal problema de la biología sintética, la nanotecnología o cualquier otra tecnología convergente, desde un prisma social, son los términos estrechos mediante los que se quiere establecer su evaluación (Miller y Scrinis, 2010). La mayoría de quienes promueven estas tecnologías, ya sean investigadores, empresarios o responsables públicos, lo hacen mediante un encuadre o enmarcado (lo que se conoce en inglés como “framing”) muy restrictivo, que esencialmente se reduce a comparar los posibles riesgos con los beneficios previstos. E incluso esta categorización suele recoger solo riesgos muy delimitados, como los relativos a la seguridad de los investigadores y trabajadores, la toxicidad para el consumidor o la ecotoxicidad; y en general cuestiones de bioseguridad relacionadas con la investigación, la liberación accidental de organismos que se puedan autoreplicar, los efectos indeseados de la introducción de organismos modificados en el organismo humano, la explotación de los productos obtenidos y los usos militares y terroristas. En cambio, en lo que se refiere a los beneficios encontramos caracterizaciones muy específicas mezcladas con otras más vagas. Como muestra de las primeras tenemos las mejoras en la producción industrial, con la fabricación de productos más baratos, fuertes, resistentes, ligeros, potentes, eficaces, seguros, etc. Ejemplo de las segundas serían las mejoras, no tan netamente precisadas, en la situación de los habitantes de los países pobres, o del estado físico y mental de los habitantes de los países desarrollados.

El enfoque de riesgos y beneficios, que busca expresar en términos cuantitativos el balance o compromiso idóneo (“óptimo”) entre unos y otros, se basa en la suposición, bastante problemática, de que la ciencia tiene una fuerte capacidad para controlar y predecir dichos riesgos, pasando por alto la incertidumbre e ignorancia de tipo sistémico, que se resisten a los cálculos de probabilidades bien fundamentados (el riesgo debe ser siempre expresable como una probabilidad de que se produzca algún daño). Como se advirtió hace ya décadas, no vivimos tiempos de ciencia kuhniana o normal, basada en paradigmas firmemente implantados, sino en tiempos de ciencia postnormal, con una confusa proliferación de enfoques epistémicos, “apuestas” e incertidumbres altas, y urgencia en la toma de decisiones (Funtowicz y Ravetz, 1993).

La estrategia del discurso público de la biología sintética no es diferente de la que adoptan otras tecnociencias: consiste en ofrecer grandes cambios positivos, “radicales”, “revolucionarios”, para un futuro no muy lejano pero que se aleja siempre un poco más, mientras se van realizando mejoras incrementales más tangibles y medibles, que no generan tanto entusiasmo pero que sirven para demostrar que estas tecnociencias son útiles (y rentables) ya en el presente. Como exponen con claridad Joly y Raimbault (2014, p. 64) “la biología sintética se constituye en torno a las promesas de sus aplicaciones para resolver grandes problemas (de energía, de salud, ambientales, etcétera). La construcción de la credibilidad y de la legitimidad de las promesas condiciona la movilización de recursos y, por tanto, la propia emergencia de la biología sintética.” Pero inmediatamente antes de estas palabras los mismos autores han destacado algo decisivo: los expertos de la biología sintética participan tanto en la definición de los temas de investigación como en la propia estructuración social del entorno de su disciplina (por ejemplo en cuestiones de propiedad intelectual o de gestión del riesgo mediante medidas de seguridad en el diseño). Un problema central del enfoque de riesgos (o costes) versus beneficios es que se centra en los “impactos” de las tecnologías en la sociedad, excluyendo una discusión más amplia de las interacciones complejas entre las tecnologías, la ciencia y la sociedad (Miller y Scrinis, 2010, p. 410). Ciencia y tecnología no son fenómenos externos a la sociedad, sino que constituyen un conjunto de procesos sociales. La jerga de los impactos, típica de estos enfoques, se basa en la suposición de la autonomía de la tecnología y en su carácter determinista. Por contra, lo que está en cuestión es el alcance, dirección y propósito de la I+D+I de las tecnologías emergentes, los programas de investigación, las trayectorias concretas que han de fomentarse y las que hay que evitar, los valores e intereses subyacentes, así como el tipo de metodología que debe imperar en la evaluación y toma de decisiones sobre estas cuestiones. Las nuevas tecnologías transforman las relaciones sociales, económicas y ecológicas, alterando signi-

ficativamente los términos de la supuesta comparación técnica, cuantitativa, de unos aspectos con otros. El carácter disruptivo de estas tecnologías exige ya por sí solo una ampliación de los marcos en los que son evaluadas.

### *EL ENFOQUE AMPLIO DE LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS*

Nos encontramos, en efecto, ante un “cóctel” peligroso: ciencia tradicional transformándose a grandes pasos en ingeniería, convergencia de tecnologías, con posibles efectos disruptivos, reforzamiento de las aspiraciones de dominio absoluto sobre la naturaleza, aumento constante del grado de control de la materia (al menos por sectores específicos), que puede no ir en la línea del bien común; todo ello aparejado a niveles altos de inestabilidad e incertidumbre, y produciéndose en un escenario de prácticas capitalistas más o menos descontroladas. Hay que insistir en que la evaluación estrecha puede arrojar un resultado de éxito desde el punto de vista técnico y económico que sin embargo tenga repercusiones desastrosas para las personas o la naturaleza (piénsese en las tecnologías militares o las tecnologías basadas en los combustibles fósiles).

Por lo que se refiere específicamente a la biología sintética, la perspectiva de crear y usar nuevos organismos a gran escala despierta una indudable aprensión, con preocupaciones sustanciales sobre los efectos indeseables de los programas en marcha. Además del potencial daño a las personas o al medio ya conocidos por la química sintética o la ingeniería genética, pueden surgir otros riesgos debido a las nuevas propiedades y sus combinaciones inesperadas. Asimismo, como indicamos anteriormente, se producirían otras consecuencias indirectas negativas, como el exceso de consumo de materias primas alimentarias a fin de crear biomasa para la generación de energía o la ruina de los productores de materias primas valiosas en los países pobres si son sustituidas por productos sintéticos.

Más allá de la necesaria discusión democrática sobre los efectos potenciales específicos de cada una de las aplicaciones que finalmente vean la luz (cómo puedan cambiar el mundo las aplicaciones con “éxito” o incluso las que fracasen), se trata de ampliar el foco y replantearse a fondo todo el marco de discusión, no solo con la evaluación de los aspectos técnicos, sino también con todo el entramado epistemológico, ético, social, económico y político de la realidad actual (Maiso Blasco, 2013). La distribución de roles por la cual la ciencia contaba con una autoridad epistémica incuestionable ante las autoridades políticas y los ciudadanos queda en entredicho en la medida en la que cada vez sirva menos de soporte teórico y explicativo de los fenómenos que se producen y reproducen con éxito desde criterios provenientes de la ingeniería. En esta nueva dinámica, se corre el riesgo de que el aumento del control no esté respaldado

más que por el éxito en la aplicación de criterios oportunistas y pragmáticos en el sentido más estrecho de estos términos. Por tanto, el discurso que la sociedad debe escuchar con fuerza es el que exprese sinceramente que el control se produce, si es que lo hace, de momento, y que no se sabe bien cómo, debido a la cantidad de cosas que se ignoran. En el mundo hay urgencia por resolver problemas acuciantes, cierto, pero sería exigible que dicha resolución se basase en un conocimiento sólido, firmemente establecido —aunque tengamos siempre presente su falibilidad—, ya que nos jugamos muchísimo: los riesgos y la incertidumbres pueden ser literalmente insoportables, y muchos de ellos pueden provenir precisamente de las tecnociencias, como la biología sintética, que se proponen como las mejores generadoras de soluciones.

Las implicaciones que comportan estas transformaciones en la distribución de la responsabilidad comienzan a ser analizadas con cierto detalle (Grunwald, 2015). En la investigación básica tradicionalmente se ha asumido que los investigadores son responsables solo de lo que investigan (por ejemplo, una fuga fuera del laboratorio de una entidad biológica) pero no de las aplicaciones y usos de lo que investigan. En la tecnociencia, que está orientada a la consecución de fines prácticos, ya no cabe hacer una separación tan tajante. Y no solo los investigadores; hay que replantearse toda la distribución de la responsabilidad entre los diferentes actores (empresarios, responsables públicos, activistas, consumidores, etc.).

Los ciudadanos debemos ir familiarizándonos con una manera distinta de plantear la investigación, ya no mediante la comprensión teórica, sino mediante la simulación y la producción del objeto de estudio<sup>7</sup>, gracias sobre todo a la obtención de información masiva para tratar la complejidad y gracias también a la creación de “cajas negras”, que no se entienden del todo pero de las que se conoce su funcionamiento, su “output”, y la forma de acoplarlas a otros elementos del sistema para obtener los fines deseados. Entonces, los riesgos asociados a la biología sintética, en un grado significativo, “concernen a las expectativas sociales sobre la clase de conocimiento y experiencia que se necesita para la adopción, evaluación y regulación de tecnologías; por tanto conciernen a nuestra tolerancia a los procesos ‘cajanegrizados’” (Nordman, 2015, 54). En otras palabras, lo interesante de este planteamiento es que apunta a que de lo que verdaderamente se trata aquí es de la evaluación de tecnologías, más que de la aceptación de la investigación científica tradicional, y, sobre todo, de si estamos o no dispuestos a tolerar un número creciente de cajas negras cuyo interior no se comprende. Puede parecer un planteamiento demasiado sutil para

---

<sup>7</sup> La biología sintética nos cuenta la historia de un “oportunisto técnico para construir una complejidad no teorizada” (Nordmann, 2015, p. 45).

la mayoría de la población, más preocupada por beneficios concretos, por riesgos medibles y, acaso, por futuras catástrofes. Aun así, habría que hacer el esfuerzo de sacar esta discusión de los medios académicos y llevarla a foros más amplios, ya que las repercusiones de estos nuevos modos de investigar distarían de ser meramente teóricas, abstractas.

No es que las evaluaciones de las repercusiones concretas de cada desarrollo de la biología sintética puedan ser descartadas como irrelevantes o como especulaciones desprovistas de fundamento. Lo que sucede es que para valorarlas con más probabilidades de acierto debemos entender mejor qué diferencia supone en la práctica el que la biología sintética, junto con otras disciplinas de reciente aparición, no sea una ciencia tradicional, sino una “tecnociencia”. Los estudios sociales de la ciencia y de la tecnología llevan décadas abriendo, conceptualmente hablando, la “caja negra de la ciencia”<sup>8</sup>. Gracias a ello, han mostrado los entresijos del funcionamiento de la actividad científica, sus dinámicas, valores, prácticas, ambiciones, intereses, compromisos y obligaciones, así como sus limitaciones epistémicas e institucionales (Stengers, 2003). Ahora nos encontramos con la ironía de que las cajas negras vuelven a cerrarse, que los procedimientos de las nuevas disciplinas se van tornando opacos, en tanto se extiende la decisión metodológica de sacrificar la clarificación conceptual a la operatividad. Asistimos a un aumento de la tensión entre los compromisos epistémicos científicos y los tecnocientíficos, entre diferentes objetivos, valores, normas e ideales. Se está yendo más allá de nuestra capacidad para entender verdaderamente cómo funcionan nuestras creaciones. El hecho de que se sepa cómo producir algo no significa que se entienda realmente lo que permite que ese algo funcione. La opción no es necesariamente la de refrenarse por completo de obrar<sup>9</sup>, pero sí poner en cuestión por enésima vez el imperativo tecnológico (“todo lo que puede hacerse debe hacerse”) apelando a la ralentización en las decisiones, a la prudencia o incluso a la resistencia (Stengers, 2003). Pero justamente esto es lo más difícil en el escenario económico actual, donde la carrera por ser los primeros en la obtención de nuevos productos de valor comercial o estratégico va más allá de lo estrictamente empresarial, para convertirse en un absoluto de todo programa geopolítico.

### *CONCLUSIÓN*

La biología sintética es una ciencia y también una tecnología emergente, o, dicho quizás con más precisión, una tecnociencia, que converge con otras como la nanotecnología, las tecnologías de la información y de la comunicación, la

---

<sup>8</sup> Entre otros muchos textos, sirva de ejemplo Woolgar (1991).

<sup>9</sup> Como proponía Jacques Ellul con su “ética del no-poder” (Ellul, 1980).

robótica o las neurociencias. Todas ellas poseen unos rasgos comunes que, entre otras cosas, implican una nueva concepción del conocimiento científico y del control de la realidad natural y humana. Lo que a primera vista aparenta ser una discusión meramente técnica o “filosófica” sobre este nuevo escenario tecnocientífico, en realidad apunta a unas repercusiones sociales de lo más preocupantes. Asistimos a la conjunción de varios elementos que se refuerzan mutuamente: el paso de la ciencia tradicional a la última generación de la ingeniería, con el reverdecimiento de las viejas aspiraciones de control absoluto de la naturaleza debido al aumento de las capacidades técnicas en campos específicos, paradójicamente situados en un contexto de graves incertidumbres sistémicas que afectan a todos los órdenes de la existencia humana sobre el planeta, mientras las nuevas tecnociencias se ponen al servicio de la economía del conocimiento y de la bioeconomía.

Las muchas promesas y expectativas generadas enmascaran la posibilidad real de que se obtenga un éxito técnico y económico con estas tecnociencias a la vez que resulten ser desastrosas para amplios sectores de la población o para la naturaleza. Hoy en día el imperativo tecnológico resulta un imperativo más peligroso que nunca, a medida que nuestra capacidad tecnológica aumenta, a medida que los laboratorios científicos se parecen cada vez más a las fábricas y se pone el empeño en que las células se conviertan en factorías vivientes, en sentido literal, para nuestro provecho. De ahí que las vías de solución pasen por compartir la responsabilidad de la toma de decisiones entre todos, y no dejarla solo en manos de los expertos, los empresarios y los responsables políticos.

La biología sintética, con sus estrategias ingenieriles de control de la complejidad, de diseño y creación de entidades y procesos biológicos con fines prácticos, ejemplifica a la perfección este escenario de intrincada combinación del oportunismo tecnológico con una bioeconomía ajena a los valores sociales, en un contexto de riesgos, inestabilidades e incertidumbres omnipresentes; en consecuencia, se torna patente la necesidad de ir más allá de los análisis comparativos de riesgos y beneficios, alentando un debate público a fondo y una evaluación social amplia. Habría, en suma, que tomarse en serio el eslogan de moda de la “innovación responsable” (Grunwald 2015) y comenzar a decidir sobre lo que verdaderamente está en juego.

## BIBLIOGRAFÍA

de Cózar, J.M. (2013) “Cosmopolítica de las tecnologías convergentes”, *Cosmópolis. Revista di Cultura*, IX, 2. Disponible en [http://www.cosmopolis.globalist.it/Detail\\_News\\_Display?ID=68666&typeb=0&SOMMARIO-IX-2-2013](http://www.cosmopolis.globalist.it/Detail_News_Display?ID=68666&typeb=0&SOMMARIO-IX-2-2013)

- Ellul, J. (1980) "The power of technique and the ethics of non-power", en *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture*, Kathleen Woodward, editora, Madison, Wis.: Coda Press, pp. 242-247.
- European Group on Ethics in Science and New Technologies (2010) *Ethics of Synthetic Biology*, Comisión Europea, Bruselas, 18 noviembre. Disponible en [https://www.erasynbio.eu/lw\\_resource/datapool/\\_items/item\\_15/ege\\_\\_opinion25\\_en.pdf](https://www.erasynbio.eu/lw_resource/datapool/_items/item_15/ege__opinion25_en.pdf)
- ETC Group (2013) "Biología sintética. La bioeconomía del despojo y del hambre". Disponible en [http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/SYN\\_BIO\\_BIOECONOMY%20LANDLESSNESS%20%26%20HUNGER\\_SPANISH.pdf](http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/SYN_BIO_BIOECONOMY%20LANDLESSNESS%20%26%20HUNGER_SPANISH.pdf)
- European Environment Agency (2013) *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*, Luxemburgo, Publications Office of the European Union.
- Funtowicz, S. y J. Ravetz (1993) "Science for the Post Normal Age", *Futures* 25, pp. 739-755.
- Giese, B., C. Pade, H. Wigger y A. von Gleich, editores (2015) *Synthetic Biology. Character and Impact*, Berlin, Springer.
- Grunwald, A. (2015) "Synthetic Biology as Technoscience and the EEE Concept of Responsibility", en Giese *et al.* eds., pp. 249-265.
- Hacking, I. (1983) *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Joly, P.B. y B. Raimbault (2014) "Biología sintética y ciencias sociales, un diálogo difícil", *Investigación y Ciencia*, octubre, pp. 60-64.
- Kwok, R. (2010) "Five hard truths for synthetic biology", *Nature* 463, pp. 288-290.
- Maiso Blasco, J. (2013) "<Diseñar la biología>: retos éticos, filosóficos y políticos de la biología sintética", *Contrastes. Revista internacional de Filosofía. Suplemento: Filosofía actual de la biología*, ed. de A. Diéguez y V. Claramonte, Suplemento XVIII, pp. 303-315
- Miller, G. y G. Scrinis (2010) "The role of NGOs in governing nanotechnologies: challenging the 'benefits versus risks' framing of nanotech innovation", en G.A. Hodge, D. M. Bowman y A.D. Maynard, *International Handbook on Regulating Nanotechnologies*, Cheltenham, UK.: Edward Elgar, pp. 409-445.
- Nordmann, A. (2015) "Synthetic Biology at the Limits of Science", en Giese *et al.* eds., pp. 31-58.
- Pamlin, D. y S. Armstrong (2015) *12 Risks that threaten human civilisation*, Global Challenges Foundation. Disponible en <http://globalchallenges.org/wp-content/uploads/12-Risks-with-infinite-impact-full-report-1.pdf>
- Pavone, V. (2013) "Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía", *Rev. iberoam. cienc. tecnol. soc.* [online], vol.7, n. 20, pp. 145-161.
- Roco M.C., W.S. Bainbridge, B. Tonn y G. Whitesides, editores (2013), *Converging Kno-*



*wledge, Technology and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Berlin, Springer.

Schmidt, J.C. (2015) “Synthetic Biology as Late-Modern Technology. Inquiring into the Rhetoric and Reality of a New Technoscientific Wave”, en Giese *et al.* eds., pp. 1-30.

Stengers, I (2003) *Cosmopolitiques*, 2 vols., Paris, La Découverte.

Woolgar, S. (1991) *Ciencia: abriendo la caja negra*, Barcelona, Anthropos.