



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
ESTUDIOS FILOSÓFICOS Y SOCIALES SOBRE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**BIOÉTICA E INGENIERÍA DE LA VIDA: REFLEXIONES FILOSÓFICAS EN TORNO AL
DESARROLLO DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

LUIS ANGEL LARA PEREDA

TUTOR O TUTORES PRINCIPALES

DR. JORGE ENRIQUE LINARES SALGADO, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. RAFAEL GUEVARA FEFER, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DR. MIGUEL ALBERTO ZAPATA CLAVERÍA, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

DR. JOSÉ LUIS TALANCÓN ESCOBEDO, CENTRO DE ENSEÑANZA PARA EXTRANJEROS

DR. JUAN HUMBERTO URQUIZA GARCÍA, COORDINACIÓN DE HUMANIDADES

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., NOVIEMBRE DE 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A los Señores Ángel Lara y María Pereda,
mis padres, por su infinito amor.*

*A Laura, mi hermana, por ser ejemplo
de vida, fortaleza y valor ante la adversidad.*

Agradecimientos

*Por cierto, el don de tener buenos amigos es,
en no pocas ocasiones, mucho mayor que
el don de ser un buen amigo.*
Nietzsche

En su andar por la vida, el humano requiere de variadas cosas y personas, me limitaré a mencionar a las personas. De ellas, además de la familia, se requieren al menos dos tipos: los amigos y los maestros. Los primeros aligeran y alegran nuestro existir, muchas veces, a través de su mundo, amplían el nuestro. Los segundos, nos enseñan a caminar, a construir, a pensar con diligencia a pesar de nuestra necesidad. El tiempo, nos enseña que a veces los mejores maestros son los amigos, y que los verdaderos maestros terminan siendo nuestros amigos.

En algún lugar de su *Ética* Aristóteles escribió que la amistad constituye la virtud ética por excelencia. En verdad agradezco a la vida por permitirme contar con la amistad de personas tan virtuosas, vaya a ellos mi agradecimiento por su apoyo en los momentos difíciles, o simplemente por estar ahí, compartiendo el mundo. Especial mención merecen Ilse, Geovany y Ernesto, quienes durante los últimos años han estado ahí, para mejorar mi mundo. Agradezco también a grandes amigos con quienes he compartido mi formación, no sólo como profesionista, sino como persona, sobre todo a Ana Magdalena, Ana María, Luis Ángel Juárez, Miguel Francisco, Dzahy, Damaris y Leo. También a Zahuiti, cuya amistad y consejos académicos han sido muy fructíferos. A Lucas, Alma, Alí, Gaby, Sofía y Tlaca, por hacer más divertidas las clases.

Desde luego, agradezco a mis maestros, sobre todo a aquellos que hicieron posible el desarrollo de esta investigación. Al Dr. Jorge Linares por asesorar el trabajo y brindarme el

apoyo del Proyecto PAPIIT IN403717 “Creación e ingeniería de la vida: una visión humanística”, del cual se desprende el presente escrito. Al Dr. Humberto Urquiza, quien tuvo a bien sugerir el tema de investigación y encaminar mis intereses filosóficos al ámbito de la ciencia y la tecnología, pero sobre todo por su invaluable amistad y apoyo a lo largo de mi desarrollo profesional. Al Dr. José Luis Talancón, por su apoyo a mi carrera docente, el intercambio de ideas, las facilidades otorgadas para desarrollar la investigación, pero primordialmente por su amistad. Al Dr. Rafael Guevara Fefer, por sus sabios consejos y amistad imponderable. Al Dr. Miguel Zapata, por su amistad, apoyo y confianza.

Además de mi agradecimiento, debo expresar mi admiración a mis padres; Ángel y María. Su valor, valentía y sobre todo su inmenso amor han sido fuertes cimientos en mi andar por este mundo, sin ellos nada de esto habría sido posible. A Laura, mi adorada hermana, que es ejemplo de vida, y cuyos consejos e infinito cariño han facilitado mi existencia.

Mi más profunda gratitud a la UNAM, mi *alma mater*. Por permitirme ser estudiante y docente en sus aulas, lo cual ha enriquecido de manera incalculable mi mundo.

Finalmente debo expresar mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca que hizo posible la realización de mis estudios de posgrado.

ÍNDICE

Introducción p. 1

Capítulo 1 DE LOS TRANSGÉNICOS A LOS PRODUCTOS SINTÉTICOS p.7

1.1 Biotecnología: transgénicos y organismos sintéticos p.12

1.2 Los transgénicos p. 15

1.3 Rastreado el surgimiento de la biología sintética p. 20

Capítulo 2. BIOÉTICA Y BIOLOGÍA SINTÉTICA p. 33

2.1 Dos perspectivas éticas para la bioética p. 36

2.2 Biología sintética para el Antropoceno p. 38

2.3 Ámbitos de aplicación de la biología sintética y sus implicaciones bioéticas
p. 46

Capítulo 3. EL IMPACTO SOCIAL DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA p. 59

3.1 El surgimiento del biocapital p. 59

3.2 El surgimiento de la propiedad intangible p. 70

3.3 El problema de la patentabilidad de la vida p. 78

Conclusiones p. 86

Bibliografía p. 93

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la biología sintética constituye una de las actividades biotecnológicas que más polémica provocan. Probablemente uno de los factores que la desencadenan es la manera en que se describen las actividades de quienes se dedican a esta biotecnología. En parte de la literatura relacionada con el tema se le describe como una actividad a través de la cual los científicos pueden jugar a ser Dios o crear vida. De esta manera, se presenta una especie de trastocamiento de la manera en la que comprendemos y valoramos la vida. Asimismo, es importante reconocer que existen algunos otros factores, como los económicos que desencadenan una serie de preocupaciones o temores en relación con esta biotecnología.

En principio es posible mencionar que las metáforas utilizadas para describir este tipo de actividad encierran algo más que un sentido figurado. De esta manera, el lenguaje utilizado en la literatura relativa al tema da cuenta de la manera en que los científicos de esta área comprenden la vida y sus propias actividades. En relación con este ámbito, es menester destacar que el desarrollo y refinamiento de las técnicas de edición genómica han propiciado que las habilidades de manipulación del ADN se incrementen, a tal grado que la producción de organismos genéticamente modificados (OGM), logrados a través del uso de la técnica del ADN recombinante, se haya visto rebasada por las técnicas de ensamblaje de secuencias genómicas a través de métodos ingenieriles.

En este sentido, la biología sintética se ha conformado como una nueva biotecnología. Considero que una de sus características distintivas yace en la posibilidad que abre para crear seres cuyo genoma será completamente de autoría humana. Uno de los puntos neurales de esta actividad radica en que, a diferencia de la técnica del ADN recombinante, que permitía la manipulación de los genes para que un organismo expresase un fenotipo deseado, la biología sintética constituye la

capacidad de manipular y/o ensamblar bases nitrogenadas, de tal manera que no sólo se pueda intervenir un genotipo, sino que sea factible construir toda una secuencia genómica que dé lugar a una entidad híbrida, *i.e.*, un objeto cuya materia prima está viva pero cuya existencia sería imposible sin la intervención humana a través de métodos ingenieriles.

Debido a esta capacidad de ensamblaje es que la biología sintética es considerada como una actividad a través de la cual se puede crear vida. Aunque aún es materia de debate la forma de definir clara y unívocamente qué es la vida, y por ende, si es factible la creación de la misma, el discurso que rodea a la biología sintética hace gran énfasis en que esta práctica ha permitido crear vida. No obstante, es necesario mencionar que los criterios de demarcación entre la biología sintética y otras biotecnologías, como la del ADN recombinante, no están claros. Por lo cual, no hay un marco científico oficial que nos permita distinguir entre una y otra biotecnología, por ende, tampoco sobre las diferencias entre sus productos. Una muestra de ello es que en la comunidad científica no hay una definición compartida de lo que es la biología sintética. En relación con ello, algunos científicos consideran que en realidad se trata de una actividad surgida a inicio del siglo XIX con Stéphane Leduc por lo cual, simplemente se trata de una disciplina que se ha renovado y su desarrollo actual responde a un proyecto de antaño. Asimismo, algunos miembros de la comunidad científica afirman que esta disciplina surgió en la década de 1970, con la producción de la insulina transgénica.

Dado que la biología sintética se ha ido configurando durante la última década como una tecnociencia emergente o de frontera, resulta complicado elaborar un marco definitivo en relación con su desarrollo. No obstante, dado el *status* de esta disciplina y los ámbitos en los que tiene potencial de aplicación, considero de interés desarrollar algunas reflexiones en relación con el estudio de las implicaciones bioéticas de esta tecnociencia.

La naturaleza de la biología sintética ha propiciado que una serie de temores e interrogantes entren en escena. Algunas preguntas ya han sido materia de debate, tales como: ¿qué hacer con la capacidad de crear la vida?, ¿es legítimo que el ser humano altere el genoma de tal manera que traiga a la existencia nuevas entidades?, ¿de qué manera dichas entidades modificarán nuestra comprensión del mundo y de la vida incluyendo la propia?, ¿es éticamente correcto que se otorguen patentes sobre entidades vivas?

Una buena parte de las preocupaciones ya son conocidas. El desarrollo de los OGM propició, a finales del siglo pasado, un debate álgido, que se ha extendido hasta nuestros días, en torno a las implicaciones éticas, sociales y políticas de los usos tecnoindustriales de la vida. Es importante mencionar que, si bien, ya existía un debate relacionado con este tipo de interrogantes, la biología sintética ha exacerbado este tipo de preocupaciones, incluso ha propiciado el surgimiento de otras, por ejemplo, las que surgen dados los proyectos enfocados en la desextinción de algunas especies como los mamuts o los Neandertales. Si bien, las causas son múltiples, es significativo resaltar que las aplicaciones de la biología sintética, tanto potenciales como de facto, han contribuido en la manera en que esta actividad es percibida y diferenciada de lo que ya han denominado como biotecnologías tradicionales.

Es relevante mencionar que la biología sintética tiene un campo de aplicación extenso. Al igual que las biotecnologías existentes, los productos de la biología sintética están dirigidos a ámbitos primordiales para el aseguramiento del bienestar de las poblaciones, a saber: la producción de alimentos y biocombustibles, el cuidado y prevención de la pérdida de la biodiversidad, desarrollo de nuevas implementaciones dirigidas a mitigar el cambio climático, así como el desarrollo de medicamentos personalizados o de secuencias genómicas dirigidas al incremento de algunas capacidades humanas.

En esta tesitura, la biología sintética se ha hecho de un lugar en el ámbito de la bioética. Las reflexiones en torno al desarrollo y aplicaciones de la biología sintética se nutren de distintas disciplinas, en ello convergen desde la biología, pasando por la ingeniería y la química, hasta el derecho, la historia y la filosofía. La multidisciplinariedad existente en este ámbito es muestra de la complejidad del tema, toda vez que puede ser analizado fructíferamente desde diversas aristas del conocimiento.

En función de ello, es que he considerado de relevancia llevar a cabo un análisis en relación con la biología sintética. El desarrollo es de corte filosófico, eminentemente con predominio de las consideraciones éticas. No obstante, esta investigación se ha nutrido de fuentes provenientes de diversos enfoques, desde los filosóficos, los propios de la biología, así como textos elaborados por historiadores de la ciencia y otros correspondientes al ámbito de la toma de decisiones. El objetivo de la investigación es ofrecer criterios de demarcación entre las prácticas biotecnológicas tradicionales y la biología sintética.

La pertinencia de distinguir entre los productos biotecnológicos tradicionales y los resultantes de la biología sintética radica en el impacto que su conceptualización tiene en la forma en que dicha práctica es regulada. En esta tesitura, es posible leer a lo largo del presente texto una serie de argumentos que tienen como finalidad mostrar que las diferencias existentes entre dichas prácticas permiten trazar una línea de argumentación bioética específica en relación con las nuevas formas de manipulación de la vida y su nexos con las posibles soluciones a las problemáticas ambientales e intereses comerciales. Es importante mencionar que los criterios de demarcación entre dichas actividades surgen a partir del contexto de la práctica y de la metodología de la misma.

La presente investigación está compuesta por tres capítulos. A lo largo de las secciones que la conforman, ofrezco al lector un análisis y argumentación en torno a la biología sintética considerando diversos aspectos. En este sentido, el desarrollo de este trabajo aborda aspectos

epistemológicos y éticos que están presentes en la práctica de la biología sintética. Asimismo, hago referencia a los factores políticos, sociales y económicos que rodean a la biología sintética y la manera en que influyen en la axiología que permea a esta biotecnología.

En ese aspecto, el lector hallará una división capitular relacionada con las implicaciones que menciono. A lo largo del primer capítulo, se encontrará con una serie de análisis de la literatura relativa al surgimiento y concepción de la biología sintética y sus diferencias con biotecnologías como la de la técnica del ADN recombinante. Dicho análisis toma en cuenta algunos de los elementos internos y externos de la práctica tecnocientífica, lo que me permite argumentar que la biología sintética constituye una nueva biotecnología, cuyos productos difieren de los OGM.

Al constituirse como una actividad con resultados distintos, la biología hace necesarias nuevas consideraciones morales en torno a su *status*. En esta tesitura, en el segundo capítulo ofrezco un análisis en torno a las implicaciones éticas que se desprenden de la práctica de la biología sintética, principalmente en las áreas de medio ambiente, medicina y conservación ambiental. De acuerdo con ello, a lo largo del capítulo ofrezco una argumentación a través de la cual señalo la forma en que la biología sintética se encuentra relacionada con conceptos como Antropoceno y Transhumanismo.

En el tercer capítulo analizo las implicaciones sociales que se desprenden de la implementación de la biología sintética en los ámbitos señalados. En este sentido, a lo largo del tercer capítulo, llevo a cabo un análisis en torno a la manera en que el desarrollo de la biotecnología propició el surgimiento de lo que algunos teóricos han denominado como *biocapital*. En esta tesitura, señalo cómo los factores externos e internos al desarrollo tecnocientífico han influido en la manera en que la biotecnología se ha desarrollado a lo largo de las últimas décadas. De acuerdo con esta línea argumentativa, señalo que la biología sintética se encuentra rodeada por una serie de factores económicos que propician que los productos de esta biotecnología sean concebidos de

manera ambivalente. Asimismo, la manera en que los productos de la biología sintética representan un reto social en materia jurídica y económica, cuya problemática se ve reflejada en relación con la apropiación (*enclosure*) de los recursos genómicos (*gene pool*).

1. DE LOS TRANSGÉNICOS A LOS PRODUCTOS SINTÉTICOS

El 20 de mayo de 2010 investigadores del J. Craig Venter Institute, publicaron en *Science* que habían logrado producir la primera bacteria con genoma sintético auto-replicante a la cual se le conoce como *Synthia*.¹ Este suceso constituye un parteaguas en la biotecnología, ya que marca el inicio de la llamada biología sintética, actividad que es considerada como la expresión de que se puede crear vida en el laboratorio gracias al uso de la informática, la química y la ingeniería. En este sentido, *Synthia* “*is the proof of principle that genomes can be designed in the computer, chemically made in the laboratory and transplanted into a recipient cell to produce a new self-replicating cell controlled only by the synthetic genome*”.²

Han transcurrido casi 10 años de dicho suceso, desde entonces la biología sintética ha propiciado diversas discusiones en la comunidad científica a nivel mundial en torno a las implicaciones éticas, políticas, sociales, jurídicas e incluso ontológicas de dicha práctica. Los debates han sido extensos y fructíferos, como lo refleja la amplia bibliografía relacionada con el tema. No obstante, hay algunos puntos en los que los científicos aún no logran llegar a un consenso en relación con el estatus epistemológico de su práctica, lo cual se ve reflejado en que en la actualidad no hay una definición científica consensuada del término “biología sintética”.³ Por un lado, hay autores que señalan que dicha práctica en realidad no es novedosa, ya que constituye una

¹ Vid. Daniel Gibson, *et. al.*, “Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome”, en *Science*, disponible en línea: <http://science.sciencemag.org/content/sci/329/5987/52.full.pdf>

² J. Craig Venter Institute, *First Self-Replicating, Synthetic Bacterial Cell Constructed by J. Craig Venter Institute Researchers*. Disponible en: <https://www.jcvi.org/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell-constructed-j%C2%A0craig-venter-institute-researchers> [Consultado el 27 de marzo de 2003].

³ Si bien, no hay una definición consensuada entre la comunidad científica, es importante mencionar que a través de la *Convention on Biological Diversity* se han emitido diversos documentos enfocados hacia la regulación de la biología sintética en relación con su impacto en el medio ambiente. El análisis de dichos documentos lo desarrollo en el capítulo tercero de este trabajo.

continuación de la manipulación del genoma realizada con la técnica del ADN recombinante. Por otro lado, hay autores que afirman que la biología sintética constituye una actividad novedosa, ya que en algunos años permitirá crear vida desde cero, *i.e.*, a partir de material inerte, de tal manera que se logre reinventar el mundo, otros afirman que incluso sería posible desextinguir algunas especies.⁴

Las aplicaciones, fácticas y potenciales, de la biología sintética abren un amplio campo de interrogantes de sumo interés para la filosofía. Estas van desde las implicaciones éticas y sociales, como las ya desencadenadas por algunas de las implementaciones tecnocientíficas hasta el análisis del lenguaje que se utiliza para describir este tipo de biotecnología. De esta manera, en la literatura relacionada con el tema, es posible leer que la práctica de la biología sintética implica *jugar a ser Dios, crear vida arquitectónicamente*, o preguntarse nuevamente *¿qué es la vida?*, sin dejar de lado cuestionamientos enfocados en la distribución de los beneficios y daños que esta práctica podría ocasionar, o las implicaciones jurídicas de la patentabilidad de la vida.⁵

Aunado a las interrogantes filosóficas, uno de los puntos que más debate ha propiciado es el de si la biología sintética y, por ende, los productos que se obtienen con esta técnica, entrañan una diferencia sustancial en comparación con los organismos genéticamente modificados (OGM), los cuales se obtienen a través de la técnica del ADN recombinante y de los cuales, se considera

⁴ En relación con ello, podemos mencionar a George Church, quien afirma que la biología sintética permitirá reinventarnos a nosotros mismos y a la naturaleza, incluso des-extinguir ciertas especies, como los mamuts. Asimismo, científicos como Bolívar Zapata afirman que la biología sintética data de hace por lo menos 30 años. Ya que su inicio está marcado por la producción de insulina transgénica, por lo cual no representa novedad alguna en relación con técnicas de edición genómica ya existentes. A lo largo de este capítulo analizaré los argumentos esbozados en ambas posturas, con el objetivo de mostrar que la biología sintética implica una actividad distinta a la de la biología molecular que abarca la producción de transgénicos.

⁵ En relación con este tema, puede verse Boldt, Joachim [edit.], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Friburgo, Springer VS, 2016, en el que diversos especialistas ofrecen un análisis en torno al lenguaje que se utiliza en la práctica de la biología sintética y la manera en la que dichos juegos de lenguaje moldean la percepción pública de dicha actividad, así como su impacto en las medidas institucionales relacionadas con la regulación de dicha práctica.

que la biología sintética representa su continuación. En este sentido, la discusión sobre los criterios de demarcación entre la biología sintética y lo que ya se considera una técnica tradicional de manipulación genética, como lo es la técnica del ADN recombinante, adquiere interés toda vez que si se establece un criterio de demarcación que señale que los organismos sintéticos son diferentes de los OGM, esto daría lugar a la elaboración de marcos éticos y jurídicos específicos enfocados en la regulación de la biología sintética, así como el uso y aplicaciones de sus productos.

Considero que las principales diferencias entre ambas biotecnologías las podemos encontrar en lo referente a su metodología, los objetivos perseguidos, así como el contexto de su surgimiento y práctica. Como señala Joachim Boldt,

*emerging technologies have a history. They do not emerge out of nothing but develop gradually and continuously. Synthetic biology is no exception. It is rooted in genetic engineering, and many observers maintain that synthetic biology is no more than a new label for just that: genetic engineering. The inevitable question therefore arises: when is an emerging technology in fact a new technology and when is it only a gradual development of an already known technology? Part of the answer certainly does not lie in the technology itself but in the context of interests surrounding it.*⁶

En este sentido, para describir los posibles criterios de demarcación entre los OGM y los organismos sintéticos, es importante realizar un análisis que tenga en cuenta los aspectos epistemológicos⁷, y contextuales⁸, por lo cual, con base en las distinciones y similitudes que los practicantes de estas biotecnologías ofrecen a través de la literatura sea posible establecer criterios de demarcación. De esta manera, considero que es posible afirmar que, debido a las diferencias metodológicas, de uso y aplicaciones de los productos de la biología sintética, es que puede

⁶ Joachim Boldt, “Swiss watches, genetic machines, and ethics. An introduction to synthetic biology’s conceptual and ethical challenges”, en Joachim Boldt [edit.], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Friburgo, Springer VS, 2016, p. 1.

⁷ Por aspectos epistemológicos me refiero a aquellos relacionados con la metodología y enfoques que han propiciado el desarrollo de la biología sintética. En este sentido, son aquellos factores teóricos propios de las disciplinas que convergen en la práctica de la biología sintética, mismos que han hecho viable concebir los procesos vivos de manera análoga a otros procesos que pueden ser ingenierizados.

⁸ Por aspectos contextuales me refiero a los aspectos que no son inherentes a las disciplinas científicas, sino a aquellos factores económicos, políticos y/o sociales que influyen en el desarrollo de las tecnociencias. En este sentido, los aspectos contextuales abarcan temas como la forma en que la sociedad percibe una actividad tecnocientífica, los intereses económicos que propician su éxito o fracaso.

considerarse como una actividad tecnocientífica diferente, más que como una continuación de la técnica del ADN recombinante.

Si bien, en la comunidad de biotecnólogos que se dedican a la manipulación del genoma no hay un consenso acerca del *status* de la biología sintética, y si conlleva una diferencia sustancial en relación con otro tipo de biotecnologías, es importante mencionar que dichas distinciones pueden trazarse desde el ámbito de las humanidades científicas. De acuerdo con Bruno Latour, las humanidades científicas nos permiten comprender a las tecnociencias a partir del contexto de su surgimiento, desarrollo, aplicaciones e intereses que las rodean, en función de lo cual pueden trazarse diferencias epistémicas entre una tecnociencia y otra, lo cual tiene utilidad para fines éticos y políticos.⁹

En este sentido, además de atender diferencias metodológicas, o disputas entre la comunidad de biotecnólogos, considero que es relevante tener en consideración el contexto en el cual se da la práctica de la biología sintética. El contexto en el que surge la práctica puede ser útil para trazar criterios de demarcación entre las prácticas mencionadas. En esta línea argumentativa, considero que las ideas desarrolladas por Jorge Riechmann son de valía epistemológica para justificar la importancia que el contexto social y cultural tiene en la práctica de la biotecnología. De acuerdo con el autor español, el debate en torno a las implicaciones sociales y ambientales de la ingeniería genética, además de tener en cuenta el resultado de la aplicación de la biotecnología, debe considerar los *haces de relaciones socioecológicas*.

⁹ Humanidades científicas es el nombre que Bruno Latour utiliza para referirse a lo que en la comunidad académica conocemos como estudios CTS (ciencia, tecnología y sociedad). De acuerdo con el pensador francés, las humanidades científicas ofrecen un análisis epistemológico de las prácticas tecnocientíficas, por lo cual toma en cuenta las condiciones sociales, culturales y políticas en las que se llevan a cabo. el análisis epistemológico, para Latour, abarca las relaciones que las ciencias y las técnicas tienen con la historia, la cultura, la literatura, la economía y la política. Vid. Bruno Latour, *Cogitamus. Seis cartas sobre las humanidades científicas*, Buenos Aires, Paidós, 2012, p. 15-39.

De acuerdo con la perspectiva de Jorge Riechmann, además de la metodología, hay un entramado de cosas que no se ven que importan más que el producto final. En este sentido, con el término *haces de relaciones socioecológicas*, el filósofo español hace referencia a una serie de factores sociales y culturales que influyen en el proceso de elaboración de un producto biotecnológico. Si bien, es relevante la metodología y el producto final

lo importante no es sólo el producto final: importan también el proceso de producción, el 'ecosistema industrial' donde se realiza la producción, las condiciones de trabajo, el contexto cultural de la producción, las relaciones laborales, las estructuras de propiedad y control sobre los medios de producción, la distribución de los 'bienes' (productos útiles) y 'males' de la producción (costes externos o 'externalidades', es decir, daños para terceros), los efectos de la producción sobre el entorno natural y sobre las generaciones futuras ... Bien puede suceder que los efectos más preocupantes, o directamente dañinos, del monocultivo masivo de una planta transgénica tengan lugar muy lejos -en el tiempo y en el espacio- de donde se consume el producto final. Aparte de las propiedades y la calidad del producto, nos interesan mucho las propiedades y la calidad del proceso. Escamotear el proceso para prestar atención sólo al producto es un truco de prestidigitación neoliberal al que los ciudadanos y ciudadanas críticos no podemos consentir.¹⁰

En el ámbito de la biología sintética considerar los haces de relaciones socioecológicas nos permite una evaluación más amplia en relación con las implicaciones sociales y éticas de esta biotecnología. Si bien, el argumento desarrollado por Riechmann hace referencia a los OGM, considero que es de provecho en el ámbito de la biología sintética debido a que toma en consideración diversos factores que también están presentes en la producción y aplicación de la biología sintética.

Al transpolar este argumento al ámbito de los productos sintéticos, es posible observar que, de igual manera que sucede en los OGM, no sólo importa el producto final, sino todo el proceso que detona la investigación que sustenta el desarrollo de la biología sintética, así como los factores económicos y sociales que pueden permitir establecer una distinción entre ambas prácticas biotecnológicas.

¹⁰ Jorge Riechmann, *op. Cit.*, p. 42-43

Biotecnología: transgénicos y organismos sintéticos

Un elemento indispensable en la reflexión filosófica acerca de la tecnociencia es el contexto de su surgimiento. En esta tesitura, es importante aclarar que la práctica de la biotecnología cuenta con una historia, la cual, a diferencia de lo que comúnmente se cree, no se remite a los inicios de la civilización, o a la elaboración de la cerveza, sino que su surgimiento puede rastrearse próximo a la segunda mitad del siglo XX.¹¹

En la literatura científica relacionada con el tema es frecuente encontrar la tesis de que la biotecnología es una práctica milenaria. No obstante, comprometerse con esta concepción supone asumir una serie de supuestos metafísicos y epistemológicos que conducen a afirmar que, al ser una actividad arraigada por tantos años, las técnicas de edición y manipulación del genoma son simples desarrollos imitativos de la naturaleza, razón por la cual su práctica adquiere legitimidad y elimina las interrogantes éticas, políticas y sociales que pudieran desencadenarse ya que es un lugar común creer que lo natural es sinónimo de algo bueno.

Esta postura afirma que es posible distinguir entre una biotecnología moderna, a través de la cual se producen OGM, por ejemplo, y una biotecnología antigua, la cual puede encontrarse en civilizaciones prehispánicas o egipcias *v.gr.*, en la producción de cerveza o en la construcción de chinampas.¹² Dicha tesis no es acertada, ya que constituye un error que podemos denominar

¹¹ Vid. Estefanía Blancas y Rafael Guevara Fefer, “Biotecnología es biología. La revolución que nos dio bioartefactos fue molecular”, en Jorge Linares y Elena Arriaga [coords.], *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, UNAM, 2016, p. 158.

¹² Este tipo de concepción de la biotecnología la podemos encontrar en Francisco Bolívar Zapata, *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*, México, Academia Mexicana de las Ciencias, 2017. Asimismo, este tipo de definiciones de la biotecnología se pueden encontrar en organismos gubernamentales, como la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad en México (CIBIOGEM), *vid.* “Biotecnología y bioseguridad en México”, disponible en:

https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/divulgacion/Que_es_la_Biotecnologia.pdf
[Consultado el 23 de abril de 2019].

“falacia de naturalización”, ya que consiste en un intento de argumentación que tiene como objetivo legitimar una práctica aduciendo que es correcta porque lleva años ejerciéndose, además de que es un proceso que se da en la naturaleza, por lo cual no conlleva riesgo alguno. Asimismo, implica una mala lectura etimológica del término “biotecnología”, ya que asume que por el hecho de manipular (*techné*) entidades vivas (*bios*) se puede hablar de biotecnología (*biotechné*). El sesgo de esta postura reside en que no toma en cuenta los cambios históricos a los que están sujetos los conceptos y omite los intereses que rodean a una práctica científica, ya que asume que la ciencia es ajena a los intereses políticos o sociales en los que se ejerce.

Si bien, es cierto que se puede conceder una especie de parentela entre las prácticas de mejoramiento genético basadas en la aplicación de ingeniería genética, y prácticas de mejoramiento o hibridación por selección de semillas o cruce de especies distintas, no es correcto afirmar que la ingeniería genética es una continuación de las prácticas antiguas de mejoramiento de las especies. Sostener este tipo de tesis implica dejar de lado matices contextuales de suma importancia para la comprensión de la práctica científica misma, así como de los cambios sociales, e incluso de la concepción de la naturaleza y de la vida. Como afirma Jorge Linares

desde esta perspectiva diacrónica, se muestra falaz el discurso de la industria y de muchos biotecnólogos que creen, a veces de buena fe, que lo que hacen representa la simple continuidad de una transformación sustancial de la naturaleza operada por nuestra especie desde hace miles de años; como si siempre hubiéramos tenido la intención y la capacidad de alterar de manera radical organismos y ecosistemas. Esa visión es limitada y toma en cuenta sólo determinado número de factores en la historia que cuenta, pero para comprender lo vivo, hay que imbricarlo en una compleja red de relaciones y circunstancias.¹³

Bajo esta línea argumentativa es posible afirmar que, para comprender la importancia de la biotecnología, y las preocupaciones éticas que suscitaron avances como el descubrimiento del ADN recombinante, es indispensable recurrir al análisis del contexto de su surgimiento. Durante la segunda mitad del siglo XX se dieron grandes desarrollos en la biología, los cuales estuvieron

¹³ Jorge Linares y María Antonia González Valerio, “Hacia una ontología de la bioartefactualidad”, en Jorge Linares y Elena Arriaga [coords.], *op. Cit.* p. 90.

ampliamente relacionados con la Física debido a la hegemonía de esta disciplina. De entre los descubrimientos destacan el de la estructura de doble hélice del ADN por parte de Watson y Crick, quienes estuvieron fuertemente influenciados por el famoso libro de Schrödinger *What is Life?*¹⁴.

Ligada a la teoría de la doble hélice del ADN se encuentra el desarrollo de la técnica del ADN recombinante, cuyo descubrimiento y aplicación son de suma importancia, ya que a partir de ello es posible afirmar que surge la biotecnología. De acuerdo con Rafael Guevara Fefer podemos definir esta técnica como una disciplina ingenieril enfocada en la producción de materiales con base en el uso de agentes biológicos, por lo cual, es acertado sostener que antes de la época mencionada no es posible afirmar la existencia de la biotecnología, sino la de técnicas que permiten “usos de la vida”. En este sentido, podemos concluir que la biotecnología surge propiamente como una tarea que, además de usar agentes biológicos, lo hace con un fin: la comercialización industrial de ellos.¹⁵

En función de lo argumentado por Guevara Fefer, podemos comprender a la biotecnología como una expresión de la denominada Revolución tecnocientífica. De acuerdo con Javier Echeverría, la nomenclatura tecnociencia, hace referencia a la manera en que se practica la ciencia y tecnología a partir de la década de 1940, posterior a la emisión del Informe Vannevar Bush. En este sentido, la biotecnología, en tanto que tecnociencia, o biotecnociencia por hacer uso de material biológico como materia prima en la manufactura de sus productos, se caracteriza por tener un amplio potencial de aplicaciones en distintos ámbitos.

¹⁴ Ed Regis, *What is Life? Investigating the nature of life in the age of synthetic biology*, p. 26-41.

¹⁵ Vid. Estefanía Blancas y Rafael Guevara Fefer, *op. Cit.* p. 157-163. En dicho artículo los autores ofrecen una argumentación histórica que permite trazar una distinción epistemológica entre “biotecnología” y lo que ellos denominan “usos de la vida”. De esta manera, con base en la información ofrecida por los autores, es posible señalar que la biotecnología no existe desde hace miles de años, como diversas autoridades científicas señalan, sino que dicha actividad es resultado de diversas condiciones sociales, políticas, económicas y científicas que convergieron dando lugar al desarrollo de la técnica del ADN recombinante, así como a los usos pacíficos de los isótopos nucleares, hechos que pueden ser considerados como condiciones que posibilitaron el surgimiento de la biotecnología.

Siguiendo la argumentación de Echeverría, lo característico de una tecnociencia, son sus potenciales aplicaciones en el ámbito militar, político y económico.¹⁶ De esta manera, un producto biotecnológico nunca es neutro, sino que se encuentra rodeado por una serie de intereses que posibilitan su surgimiento y desarrollo. Al igual que los OGM pueden ser considerados como parte de una tecnociencia, la biología sintética puede considerarse como parte de este tipo de actividades en función de los intereses económicos y militares que le rodean.

En esta línea argumentativa, el carácter tecnocientífico de la biología sintética se debe al carácter pragmático y utilitario propio de los intereses que le rodean. De acuerdo con Jorge Linares, una de las características principales de la tecnociencia reside en su carácter innovador y un discurso de poder “que determina el rumbo del desarrollo tecnológico y el sentido de las decisiones políticas con respecto a la investigación científica misma, así como la manera de enfrentar muchos de los problemas ambientales y sociales más urgentes”.¹⁷

Los transgénicos

Una de las principales aplicaciones de la biotecnología se expresa en la producción de los transgénicos. En este tema, la técnica del ADN recombinante tiene un papel protagónico, ya que gracias a ella se logró la manipulación de los organismos a nivel genético, dando lugar a la

¹⁶ En su obra *La revolución tecnocientífica*, el filósofo español Javier Echeverría realiza un análisis filosófico en torno a las condiciones que propiciaron la transformación en las maneras en que se practica la ciencia. Específicamente en el capítulo 4 de este texto, el lector podrá encontrar el contexto histórico que propició la revolución tecnocientífica, así como la manera en que empresarios, científicos, ingenieros y políticos convergen en el campo tecnocientífico transformando a las sociedades. Vid. Javier Echeverría, *La revolución tecnocientífica*, Madrid, F.C.E., 2003.

¹⁷ Jorge Linares, *Ética y mundo tecnológico*, México, F.C.E.-UNAM, 2008, p. 373. El lector encontrará en el tercer capítulo un desarrollo más detallado de las principales implicaciones económicas y sociales derivadas de los proyectos de biología sintética.

elaboración de los llamados transgénicos.¹⁸ De acuerdo con Francisco Bolívar, in transgénico u OGM es un “organismo biológico al que se le ha incorporado uno o varios transgenes provenientes de un organismo de otra especie mediante transferencia horizontal de ADN, usando principalmente técnicas de la ingeniería genética y otras”.¹⁹

A partir del uso de dichas técnicas, distintos organismos vivos, desde bacterias, plantas, hasta mamíferos, han sido manipulados con el objetivo de brindarles ciertas características que sin la intervención ingenieril no tendrían. Principalmente, al hacer uso de la técnica del ADN recombinante, lo que se persigue a partir del aislamiento de un gen es la amplificación de características específicas y su posterior introducción en un organismo huésped, generalmente de una especie distinta, con el objetivo de que el huésped exprese la modificación realizada a nivel genético, *i.e.*, se modifica el genotipo con el fin de que el organismo manipulado exprese un fenotipo distinto²⁰

Es importante señalar que existen diversos métodos para generar un OGM. De acuerdo con Francisco Bolívar, las diferentes técnicas de transgénesis, o de ingeniería genética, permiten llevar a cabo la incorporación de un genoma en un organismo distinto del que se extrae. En el caso de las plantas es posible utilizar bacterias “desarmadas” con un agente infeccioso, la cual funge como un vehículo para transportar el gen que se desea introducir en las células de la planta receptora, cuyas células son infectadas por la bacteria portadora del transgén. Otra manera de llevar a cabo la transgénesis es a través de técnicas de biobalística que permiten que el transgén llegue a la planta

¹⁸ Vid. Francisco Bolívar Zapata, *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*, México, Academia Mexicana de las Ciencias, 2017, p. 72.

¹⁹ *Ibidem*, p. 418.

²⁰ Vid. Francisco Bolívar, *op. Cit.*, p. 72 y ss.

receptora. En el caso de los animales se utiliza la técnica de electroporación para que el transgén pueda llegar a la célula receptora.²¹

En esta misma línea argumentativa, se debe señalar que existen al menos tres generaciones de este tipo de organismos. La primera de ellas es la de los organismos cuyos propios genes han sido modificados para resistir plagas y aminorar el uso de insecticidas; la segunda generación es aquella a la que a los organismos se le han añadido al menos un transgén adicional para resistir a distintos tipos de herbicidas; la tercera generación es aquella a la que se le ha añadido un transgén que da la característica de poder utilizar fosfito como fertilizante, lo cual aminora el uso de herbicidas químicos.²²

De acuerdo con la argumentación de Francisco Bolívar, las metodologías para obtener un OGM pueden ser consideradas como una especie de imitación de los procesos naturales, ya que afirma que la transgénesis es un proceso que se lleva a cabo en la naturaleza, *i.e.*, que no se requiere de la intervención humana para que haya transferencia horizontal de genes entre organismos de distintas especies. En este sentido, la ingeniería genética puede verse como una actividad a través de la cual sus practicantes imitan un proceso natural en una escala temporal distinta.²³

De acuerdo con Bolívar, la ingeniería genética puede considerarse como una biotecnología cuya práctica, además de estar presente desde hace miles de años, resulta inocua al ser una especie de extensión de un proceso natural, pero con una diferencia, que se hace de manera más precisa en el laboratorio. No obstante, considero que dicha concepción peca de naturalización, ya que omite las condiciones históricas, sociales y políticas que propiciaron el surgimiento de la biotecnología, como lo señalan Estefanía Blancas y Rafael Guevara en el artículo referido.

²¹*Vid. Ibidem*, p. 74-75.

²² *Vid. Francisco Bolívar, op. Cit.* p. 88-89.

²³ *Vid. Ibidem*, p. 14 y 31.

En relación con el contexto, o los intereses que rodearon al surgimiento de la producción de los OGM, considero pertinente retomar la argumentación ofrecida por Jorge Riechmann, para quien es posible señalar dos puntos en relación con la ingeniería genética. En primer lugar, que el objetivo de conseguir las mejoras de un organismo, especialmente el de los cultivos agrícolas se puede entender con mayor claridad si los leemos a la luz de su contexto, que, a decir del autor, se encuentra asociado con una segunda Revolución verde. De acuerdo con el filósofo español, si bien hay algunas diferencias entre la Revolución verde y lo que, de acuerdo con Rifkin, denomina Revolución biotecnológica²⁴, el desarrollo y uso de los OGM puede ser considerado como la continuación de la Revolución verde, toda vez que persigue la mejora de los cultivos a través de la selección genética de ciertas especies, pero de manera potenciada a través del uso de la ingeniería genética. En este sentido, es evidente que la producción se encuentra impulsada y estimulada por los intereses económico-industriales que hay en juego más que por preocupaciones ambientales o de salud.²⁵

En segundo lugar, las observaciones de Riechmann se dirigen a la nomenclatura de la producción de OGM's. El nombre otorgado tiene un trasfondo epistemológico con el cual se pretende ganar legitimación y aceptación social. De esta manera, argumenta que el término "ingeniería genética" no es adecuado para denominar a la práctica que permite la elaboración de los OGM, ya que el concepto "ingeniería" implica precisión, diseño e incluso control y seguridad, cosa que no sucede con la producción de OGM's, ya que las técnicas que se utilizan en el procedimiento no garantizan precisión, puesto que en su práctica el azar juega un papel primordial.

²⁴ Vid. Jorge Riechmann, *Transgénicos: el haz y el envés. Una perspectiva crítica*, Madrid, Los libros de la catarata, 2004, p. 52 y 218.

²⁵ Vid. *Ibidem*, p. 177. Asimismo, Riechmann afirma que el surgimiento de la Revolución verde estuvo fuertemente influenciado por el contexto político propiciado por la Guerra Fría y el triunfo del comunismo maoísta en China. Vid. p. 238.

Por ejemplo, al utilizar la técnica de biobalística no se sabe si el transgén se insertará en el lugar deseado, sino que, se bombardea el tejido vegetal objetivo con un cañón de genes y las balas (genes modificados) se introducen aleatoriamente en el genoma del organismo receptor, en función de ello, “la pretensión de precisión tiene poco que ver con la realidad. Por eso, y si queremos emplear un lenguaje más descriptivo y menos ideológico, es mejor hablar de tecnologías del ADN recombinante y no de ingeniería genética.”²⁶

De acuerdo con el argumento de Riechmann, la producción de transgénicos no es ingeniería genética, ya que no es posible afirmar que en este procedimiento exista un trabajo propiamente ingenieril. Siguiendo esta argumentación, es posible afirmar que el término ingeniería genética debe reservarse para las aplicaciones actuales de la biotecnología, como el uso de CRISPR-Cas9, o de la biología sintética, prácticas que destacan por el uso de métodos propios de la ingeniería en la biología, como la programación de las funciones de un organismo, o la inserción en un punto concreto de un transgén, o el silenciamiento de una sección precisa en un genoma e incluso el diseño y ensamblaje completos de un organismo, lo cual implica un trabajo más preciso e ingenieril que la modificación de un genotipo para obtener un fenotipo deseado.

En términos epistemológicos, una de las primeras diferencias entre la biología sintética y la técnica del ADN recombinante radica en su metodología. En palabras del propio Francisco Bolívar, la principal diferencia entre la producción de OGM's y las técnicas de edición del ADN radica en la precisión, o especificidad propia del trabajo ingenieril

los organismos transgénicos de siguientes generaciones se construirán mediante las nuevas y poderosas técnicas de edición fina del ADN (tipo CRISPR-Cas9), que permiten insertar el material genético, el transgén, con las propiedades novedosas que se desee, en el sitio del genoma previamente definido de manera precisa, a diferencia de las actuales plantas transgénicas en las cuales los transgenes se han insertado en diferentes lugares del genoma de manera inespecífica.²⁷

²⁶ *Ibidem*, p. 64.

²⁷ Francisco Bolívar, *op. Cit.*, p. 16.

Si seguimos la argumentación de Bolívar Zapata, la biología sintética vendría a ser lo mismo que la técnica del ADN recombinante. En esta tesitura se interpreta que el objetivo de la biología sintética es la creación de OGM's, sólo que con mayor precisión. De acuerdo con esta perspectiva, es posible afirmar que la era de la biología sintética inició cuando se pudieron utilizar genomas sintetizados químicamente, los cuales dieron lugar a la producción de la insulina, *i.e.*, que la biología sintética inició “con el uso de genes sintetizados completamente por química orgánica y que fueron funcionales in vivo”.²⁸

En esta definición podemos apreciar que el criterio para la demarcación entre lo que es el ADN recombinante y la biología sintética recae en el término “sintética”. De acuerdo con ello, el hecho de haber logrado la síntesis de una sustancia viva implica la clasificación de dicha actividad como biología sintética. Incluso en la literatura relacionada con el tema, se aduce que dicha actividad se puede datar a inicios del siglo XX. Si bien es cierto que el término “biología sintética” había sido utilizado con anterioridad por Stephane Leduc en 1912 en su obra *La biologie synthétique*, considero que no es adecuado afirmar que la biología sintética surge en esa fecha.

Rastreado el surgimiento de la biología sintética

A pesar de las similitudes existentes entre la biología sintética y la técnica del ADN recombinante, o de que el término “biología sintética” haya sido utilizado desde hace un siglo, no se trata de una actividad vieja. El surgimiento de la biología sintética debe fecharse en 2010, debido a las actividades reportadas por el *J. Craig Venter Institute*.²⁹

²⁸ *Ibidem*, p. 7. También véase la definición de biología sintética que ofrece el autor en la p. 365.

²⁹ En la literatura relacionada con el tema, se puede considerar que hay un consenso en la comunidad científica internacional en señalar que la biología sintética surge específicamente en 2010.

De acuerdo con Jamie Davies, es posible afirmar que la biología sintética puede ser analizada desde dos perspectivas. En primer lugar, existe un enfoque teórico, de acuerdo con el cual, es viable rastrear el origen del concepto a inicios del siglo XX, así, se puede afirmar que el término “biología sintética” fue acuñado por Leduc.³⁰ Sin embargo, de acuerdo con el enfoque desarrollado, si atendemos al contexto en que surge la práctica, es muy probable que Leduc haya entendido otra cosa por “biología sintética”. Si atendemos a los cambios que la práctica de la biología ha atravesado a lo largo de los últimos años, es posible afirmar que, en términos fácticos, la biología sintética surgió en mayo de 2010 cuando Craig Venter anunció que había logrado crear la primera célula con un genoma sintético autoreplicante.³¹

La importancia del reporte de Craig Venter radica en que da cuenta de la primera vez que se logra generar un genoma sintético autorreplicante, característica que, en términos científicos, es *conditio sine qua non* para considerar que algo tiene vida.³² En este sentido, la autorreplicación nos permite generar un pauta para enunciar un criterio de demarcación de la biología sintética, entendida como la posibilidad de crear vida en un laboratorio, donde el hecho de que un organismo esté vivo implica que tenga la capacidad de autorreplicación. Considero que dicha característica constituye un primer criterio de demarcación entre los OGM y los productos sintéticos. La diferencia radica en que mientras en los OGM lo que se pretende es mejorar o potenciar determinadas características, la biología sintética busca construir un organismo programado con

³⁰ De acuerdo con el autor, se puede afirmar que la biología sintética, sólo en su vertiente teórica o conceptual, surgió en 1912, con Stephane Leduc.

³¹ Vid. Jamie A. Davis, *Synthetic Biology. A Very Short Introduction*, New York, Oxford University Press, 2018, p. 3.

³² Vid. Ed Regis, *What is Life? Investigating the nature of life in the age of synthetic biology*, Nueva York, Oxford University Press, 2008, p. 42-59.

ciertas características, entre las que destaca que, al igual que un organismo no intervenido, este pueda conseguir su reproducción.³³

En el caso de *Synthia* tampoco hay consenso en la comunidad científica en torno a su significado y si en verdad la biología sintética implica “crear vida”. Por ejemplo, Daniel Domínguez afirma que lo realizado por Venter no puede ser considerarse “creación de vida”, ya que Venter no generó un organismo artificial, sino que hizo la reconstrucción química de un genoma. En este sentido, lo que Venter logró fue el ensamblaje de secuencias genómicas, ya existente, con éxito, ya que estas hicieron viable la reproducción de dicha bacteria. Sin embargo, el autor mencionado sostiene que los científicos del *Venter Institute* “han desarrollado un nuevo conjunto de herramientas técnicas que rompen el paradigma creado por la ingeniería genética, dando origen a una nueva tecnología multidisciplinaria conocida como biología sintética”.³⁴

De acuerdo con esta postura, la biología sintética ha generado una nueva manera de practicar ingeniería genómica. En este sentido, podemos afirmar que existe una ingeniería clásica que se encarga de modificar genomas y una ingeniería emergente, cuya finalidad es el ensamblaje de genomas con el objetivo de generar circuitos biológicos que den lugar a un sistema biológico artificial. La biología sintética constituye una nueva forma de hacer ingeniería genética, pues no

³³ En esta tesis, la autorreplicación es considerada como criterio de demarcación toda vez que el ensamblaje del material genético permite que el organismo producido sea capaz de regular sus procesos, interactuar con su entorno y desarrollarse en el mismo a través de su capacidad de adaptación y reproducción. Esto constituye una novedad ya que como es conocido, las semillas que dan lugar a los OGM son estériles, es decir, no producen un nuevo ente a partir de la mezcla de sus gametos. En tanto, la autorreplicación como en el caso de *Synthia* es una muestra de que a través de la biología sintética no solo se pueden controlar los procesos de crecimiento y reproducción, sino que es posible montar material genético para programar esa acción. Para la definición de “autorreplicación”, “crecimiento” e “interacción con el medio ambiente”, véase Luis Felipe Jiménez [coord.], “Conceptos fundamentales de Biología”, en UNAM, *Conocimientos fundamentales*. Disponible en: <http://www.conocimientosfundamentales.unam.mx/vol1/biologia/m01/t01/01t01s02.html> [Consultado el 18 de octubre de 2019].

³⁴ Daniel Domínguez, “Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México”, Trabajo de titulación como Ingeniero Biotecnólogo, IPN, 2013, p. 4.

pretende potenciar ciertas características de un organismo, sino que pretende construir organismos que no están presentes en los ecosistemas:

la biología sintética representa la propuesta de un nuevo paradigma en el uso de sistemas o subsistemas biológicos no presentes de *facto* en la naturaleza, sino construidos artificialmente en el laboratorio para la generación de aplicaciones específicas de interés humano. Con base en esta aseveración, los organismos vivos modificados mediante la inserción de sistemas producto de la BS no son simples Organismos Genéticamente Modificados [...] estamos frente a un nuevo paradigma en la modificación genética de organismos vivos, que pretende terminar en el diseño y construcción de biopartes totalmente artificiales, incluso planteando la posibilidad de crear organismos totalmente sintéticos.³⁵

Debido al potencial de la biología sintética y a la manera en que se dio a conocer, el impacto del trabajo de Venter fue tal que propició que el presidente Barack Obama encargara a la *Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues* (PCSBI) un estudio en relación con las implicaciones bioéticas de la biología sintética. En dicho estudio podemos leer que, para delinear las implicaciones bioéticas de la biología sintética, es importante comprender de qué se trata esta actividad, y si hay algo que la haga diferente a las técnicas de ingeniería genética existentes anteriormente. De acuerdo con dicho estudio, la biología sintética puede comprenderse como un término sombrilla:

*Synthetic biology is the name given to an emerging field of research that combines elements of biology, engineering, genetics, chemistry, and computer science. The diverse but related endeavors that fall under its umbrella rely on chemically synthesized DNA, along with standardized and automatable processes, to create new biochemical systems or organisms with novel or enhanced characteristics [...] synthetic biology treats biochemical processes, molecules, and structures as raw materials and tools to be used in novel and potentially useful ways, often quite independent of their natural roles.*³⁶

La definición ofrecida por la PCSBI señala al menos dos características que nos permitirán diferenciar la biología sintética de la técnica del ADN recombinante. La primera pauta radica en que la biología sintética se distingue por el cruce de la biología con la informática, lo cual permite que los biólogos sintéticos trabajen en la programación de organismos vivos. En segundo lugar, es

³⁵ Ibidem, p. 14-15.

³⁶ Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, *New directions. The ethics of synthetic biology and emerging technologies*, Washington D.C., 2010, p. 36

posible afirmar que la biología sintética debe comprenderse como una biotecnología emergente que, a diferencia de otras biotecnologías, se orienta a la manipulación de los procesos bioquímicos con el objetivo de generar organismos o genomas mejorados, *i.e.*, a diferencia de la biología o la química teóricas que se enfocan en la descripción y comprensión de procesos bioquímicos, la biología sintética utiliza dichos procesos para modificar o ensamblar genomas que a menudo no están emparentados para lograr generar un organismo y/o genoma sintéticos.

De acuerdo con el texto de la PCSBI, es posible identificar dos tipos de práctica de la biología sintética. La primera de ellas es la llamada biología sintética *bottom-up*, en la cual los biólogos sintéticos pretenden construir organismos o genomas no existentes desde cero: “*in bottom-up synthetic biology, which is relatively new and significantly more challenging, scientists aim to build living systems from raw materials starting with non-living components*”.³⁷ En esta vertiente, la biología sintética se enfoca en la posibilidad de crear organismos vivos sin ancestría biológica, *i.e.*, cuyo genoma no tenga parentela con otros organismos, sino que sea completamente sintético elaborado a partir de materia inorgánica.

En segundo lugar, se encuentra la biología sintética *top-down*, que consiste en manipular organismos existentes y materiales biológicos de acuerdo con fines específicos. Por lo general, este enfoque de la biología sintética se centra en la mejora, potenciación o inhibición de determinadas características de los organismos existentes, para lo cual utilizan herramientas de edición genómica más precisa, como CRISPR-Cas9.³⁸ En este sentido, el enfoque *top-down* de la biología sintética se halla más cercano la técnica del ADN recombinante.

En su vertiente *top-down*, la diferencia entre la biología sintética y la ingeniería genética tradicional radica en que el enfoque con el cual se estudian los organismos vivos es el ingenieril,

³⁷ PCSBI, p. 45

³⁸ *Vid.* PCSBI, *op. Cit.*, p. 36

así como la metodología para lograrlo. Toda vez que se apuesta al rediseño de un organismo vivo y no solamente hacia su edición, la biología sintética representa una especie de reconstrucción de los organismos o sistemas biológicos, pues el objetivo final es “crear sistemas biológicos artificiales que sean capaces de resolver un sinnúmero de conflictos que la biotecnología tradicional y moderna no han podido solucionar”.³⁹

Es posible afirmar que la vertiente *top-down* de la biología sintética es la que se practica en la actualidad. Sin embargo, es importante resaltar que dicho enfoque es visto como un camino para lograr la aplicación de facto de la vertiente *bottom-up*. De acuerdo con George Church y Ed Regis, gracias a la biología sintética *top-down* es probable que se logre resucitar especies que se han extinto. Esto se conseguiría a partir de desmontar el genoma de especies con algún grado de parentela con los organismos extintos, de tal manera que en el reensamblaje de las secuencias genómicas se logre obtener la especie extinta, *v.gr.*, los autores mencionan que será posible lograr la construcción del genoma de un mamut a partir de las modificaciones de las rutas metabólicas del genoma de un elefante.⁴⁰

La biología sintética *bottom-up* es aún más poderosa. Su objetivo radica en poder crear vida a partir de elementos químicos inorgánicos. Dicha posibilidad tiene su fundamento en la teoría que afirma que la vida surgió a raíz de una serie de condiciones que propiciaron que los elementos químicos entraran en una dinámica de reacciones, lo cual desembocó en la generación de moléculas orgánicas, mismas que dieron origen a la vida. De esta manera, George Church y Ed Regis afirman que el conocimiento sobre los arreglos moleculares de las sustancias nos permitirá comprender cómo se dio el paso de la materia inerte a la materia viva, así como la capacidad para

³⁹ Daniel Domínguez, *op. Cit.*, p. 1.

⁴⁰ Vid. Georg Church y Ed Regis, *Regenesis. How Synthetic biology Will Reinvent Nature and Ourselves*, Nueva York, Basic Books, 2012, p. 10

generar organismos vivos a partir de elementos químicos, lo cual constituye la meta de la práctica de la biología sintética. Es por ello que resulta importante la vertiente *top-down*, ya que permitirá comprender el comportamiento de la materia viva, así como su arreglo molecular, de tal manera que al manipular el arreglo molecular de las sustancias que conforman los organismos vivos, se puedan obtener una especie de organismos espejo a partir de la manipulación de materia inorgánica.⁴¹

Con base en la caracterización de ambos enfoques, es posible afirmar que la biología sintética *top-down* tiene similitudes con la técnica del ADN recombinante, ya que tiene cierta continuidad con los fines que se perseguían desde dicha época, *viz*, el mejoramiento de las características de un organismo a partir de la inserción de un genoma foráneo. Sin embargo, es necesario destacar ciertas excepciones, como que en el enfoque de la biología sintética, además de perseguir la mejora, es factible desmontar rutas metabólicas y ensamblar los genomas para crear nuevas rutas, aunado a la precisión y la programación de las funciones de los organismos que se puede llevar a cabo. Esto es un rasgo que hace distinta a la biología sintética: “*scientists use synthetic biology to re-design existing organisms or gene sequences with the goal of stripping out unnecessary parts, or replacing or adding specific parts to achieve new or amplified characteristics and functions*”.⁴²

En esta línea argumentativa, el biólogo sintético Darren Nesbeth ofrece argumentos en relación con las diferencias entre la biología sintética y otras prácticas biotecnológicas. Con base en sus argumentos, es posible afirmar que aunque hay ciertos paralelos entre la biología molecular,

⁴¹ *Vid. Ibidem*, p. 15-35.

⁴² PCSBI, *op. Cit.*, p. 43.

la cual engloba la elaboración de OGM's, y la biología sintética, esta última no constituye la continuación de la biología molecular.

La biología molecular tiene sus orígenes en 1960, peculiarmente es un campo que no fue iniciado por los biólogos, sino por médicos. De manera similar, la biología sintética es un campo que no emergió de la comunidad de biólogos, sino de informáticos que pretendían aplicar principios de su disciplina a la biología. En este sentido, se puede afirmar que la intención con la que se inició cada una de estas actividades ha sido distinta en virtud de lo cual no pueden ser consideradas la misma actividad. Aunque hay ciertas similitudes, como la integración de equipos multidisciplinarios que desarrollan cada una de las actividades, o el uso de la técnica del ADN recombinante, la biología sintética se distingue de la biología molecular ya que sus practicantes no requieren de la misma formación que los biólogos moleculares y, la diferencia más importante, la aplicación de enfoques ingenieriles e informáticos les permite no sólo manipular, sino ensamblar genoma, dando la posibilidad de generar nuevas secuencias de ADN, o bases nitrogenadas⁴³, que no se encuentran presentes en la naturaleza.⁴⁴

En esta tesitura, Jan C. Schmidt presenta sus argumentos para ofrecer una definición de biología sintética. De acuerdo con sus consideraciones, una primera concepción de la biología sintética se puede elaborar conforme los criterios de la ingeniería genética, lo cual nos daría tres pautas para definirla:⁴⁵

⁴³ En este caso es interesante consultar la publicación del 22 de febrero de 2019 de la revista *Science*, en la cual Shuichi Hoshika *et al*, afirman que han creado cuatro nuevas bases nitrogenadas, *viz*, S, B, P y Z, a las cuales han llamado *Hachimoji*. Dicha creación implica que se ha logrado duplicar el alfabeto de la vida, ya que en las bases nitrogenadas se encuentra la información de los seres vivos, con dicha creación es posible afirmar que se ha logrado la transcripción sintética de la información genética. *Vid.* "Hachimoji DNA and RNA: A genetic system with eight building blocks", *Science*, disponible en: <http://science.sciencemag.org/content/363/6429/884>

⁴⁴ *Vid.* Darren Nesbeth, *Synthetic Biology Handbook*, Florida, CRC Press, 2016, p. ix.

⁴⁵ *Vid.* Jan C. Schmidt, "Towards a Clarification and Classification of Synthetic Biology", en Joachim Boldt, *op. Cit.*, p. 14-16.

1). La biología sintética es una ingenierización de la biología, por lo cual, sería distinta a la biología tradicional. En lugar de describir seres vivos y clasificarlos, su finalidad es crear un nuevo producto o ser vivo a través del ensamblaje de distintos genomas;

2). La biología sintética crea organismos que cumplen con una función que no tienen por naturaleza, *i.e.*, que no han sido observadas en los organismos no intervenidos. De esta manera, los objetos de la biología sintética pueden ser vistos como bio-artefactos (*bio-objects*), dejando en claro que son objetos cuya materia prima es el genoma, pero cuyas funciones son artificiales;

3). Distinguir a la biología sintética por su metodología. En este sentido, se afirma que es una continuación de la ingeniería genética, de manera que extiende y complementa lo que entendemos como biotecnología. Esta postura afirma que la biología sintética mantiene una similitud con las técnicas del ADN recombinante.

Si bien, estos criterios de demarcación pueden sonar convincentes, concuerdo con el autor en que omiten un aspecto importante: el contexto de su surgimiento. En función de ello, la biología sintética no podría ser definida solamente en alguna de esas tres maneras. Para lograr una definición más robusta es necesario complementar esos enfoques y tener en cuenta que, además de lo que se engloba con ellos, la biología sintética pretende aprovechar la capacidad de auto-organización de los sistemas vivos para utilizarlos en aplicaciones tecnocientíficas.

En este sentido, la biología sintética se definiría como una tecnociencia tardío-moderna (*late-modern*), debido a que no es del todo similar a las tecnologías conocidas, incluso a la biotecnología, sino que pretende incorporar a sus productos algunas de las características de los organismos ya existentes y ensamblarlas con otras deseadas. De acuerdo con lo anterior, la biología sintética se distingue porque sus productos pretenden ser más parecidos a lo natural, ya que toma

principios de los organismos vivos, como la auto-organización⁴⁶, para volverlos una característica distinguible de sus productos, *i.e.*, es como si se tratara de una naturalización de la biotecnología.

En esta línea argumentativa, Schmidt esboza tres características que distinguen a este tipo de biotecnologías. En primer lugar, se encuentran las características fenomenológicas, que en sus palabras se definen así:

*late-modern technical systems are based on self-organization. They appear to be un-technical and non-artificial — and also show ‘autonomous’ behavior and agency properties. The signs and signals, tracks and traces of technology are no longer visible. Culturally established borders are becoming blurred. This universal trend is leading towards a phenomenological naturalization of technology.*⁴⁷

En segundo lugar, el autor describe las características nomológicas de este tipo de biotecnologías: “*the nomological core of late-modern technology is instability — as a necessary condition of self-organization. Instabilities are intentionally built into the form of technical systems and their material structure. Here, we can perceive a trend that could be called nomological naturalization of nature*”.⁴⁸

Por último, el autor enuncia las características epistemológicas y metodológicas:

*late-modern technology can be described by the absence of further criteria, it hardly (a) separable from its environment and from the context of application; it lacks (b) reproducibility, (c) predictability, and (d) testability/describability; it gives rise to limitations of (e) constructing and creating; it eludes (f) monitoring and controlling.*⁴⁹

De acuerdo con estas características, es posible afirmar que la biología sintética tiene rasgos que no comparte con las llamadas biotecnologías tradicionales. Las diferencias, además de ser metodológicas, se encuentran relacionadas con los objetivos para los cuales son producidos los organismos sintéticos, la comprensión que se tiene de los procesos vitales, así como la intención de mimetizar los comportamientos naturales en los productos artificiales.

⁴⁶ De acuerdo con Felipe Jiménez, en biología, la organización o autoorganización de un ente vivo responde a los mecanismos que éste desarrolla para poder interactuar con su entorno, de tal manera que pueda llevarse a cabo un intercambio energético sin que haya una pérdida de equilibrio. *Vid.* Felipe Jiménez, *op. Cit.*

⁴⁷ *Ibidem*, p. 26.

⁴⁸ *Ibidem*.

⁴⁹ *Ibidem*.

En este sentido, Jorge Linares afirma que otro criterio que nos permite afirmar que la biología sintética no es una continuación de la técnica del ADN recombinante es la finalidad con la cual se producen los organismos sintéticos. De acuerdo con su postura, el análisis de las finalidades podría elaborarse de la siguiente manera:⁵⁰

1. De acuerdo con una *causalidad material*, los organismos sintéticos tienen diferentes grados de artificialidad. Estos pueden ser cercanos a sus congéneres naturales o ser completamente sintéticos. Es importante aclarar que “por lo pronto, lo que las biotecnociencias son capaces de producir es materia biológica recombinada, materia biológica segunda”⁵¹, *i.e.*, organismos que tienen cercanía biológica con sus congéneres.
2. La *causalidad formal* es un factor importante porque a partir de ella se configuran las funciones que cumplirá el organismo sintético. A partir de las modificaciones realizadas a la estructura genómica de un organismo se puede determinar su grado de artificialidad, *v. gr.*, por un lado se puede señalar que los OGM cumplen con una función nueva, toda vez que su genoma es mejorado para tolerar plagas o adversidades climáticas, por el lado de la biología sintética es posible señalar que su objetivo es generar entidades cuyo genoma haya sido ensamblado por completo en un laboratorio.
3. De acuerdo con la *causalidad final* podemos señalar la ambivalencia entre lo natural y lo artificial. Por un lado, los organismos vivos no modificados cumplen con ciertas funciones biológicas, como crecer y reproducirse, por el otro, este tipo de organismos son utilizados en muchas ocasiones como materia prima para la producción de organismos sintéticos, los

⁵⁰ Jorge Linares y María Antonia González Valerio, “Hacia una ontología de la bioartefactualidad”, en Jorge Linares y Elena Arriaga [coords.], *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México. UNAM, 2016, p. 94-96. Es importante mencionar que la taxonomía propuesta por los autores está basada en la teoría de la causalidad de Aristóteles. Asimismo, que dicha clasificación está sujeta a revisión y complementación en función de que la biología sintética es una disciplina emergente, cuya producción está en ciernes.

⁵¹ *Ibidem*, p. 95

cuales además de contar con sus funciones biológicas contarán con la función para las que se les programe. En este punto es donde surgen las interrogantes éticas más fuertes, ya que podemos preguntar ¿para qué se está modificando un organismo vivo?, ¿es necesaria dicha modificación o hay otras opciones? En caso de no haber otras opciones: ¿dichas funciones son completamente controlables?, ¿qué pasará si se salen de control? La programación de fines en un organismo vivo abre diversas interrogantes. algunas de corte ético y político, ya que “un bioartefacto plenamente artificial podría desarrollar nuevas finalidades no existentes en la naturaleza ni previstas en el diseño técnico que le dio origen. Desconocemos qué nuevas finalidades podrían desarrollarse en grados de bioartefactualidad más complejos que combinen modificaciones materiales y formales en los organismos”.⁵²

4. Por último, la *causa eficiente* remite a quien diseña, programa y manipula el organismo sintético. En este caso, la causalidad eficiente abarca los factores externos que condicionan que un organismo sintético sea elaborado con determinadas características en relación con ciertas intenciones o necesidades de carácter económico, político o social. Es decir, se refiere al contexto que da origen y propicia la práctica de la biología sintética. Asimismo, toma en cuenta el desarrollo de la práctica y los factores que propician su desarrollo, éxito o fracaso.

Con base en esta clasificación, es posible afirmar que la causalidad de la elaboración de los organismos sintéticos puede constituir un criterio de demarcación. Además de cumplir con funciones epistemológicas, este criterio puede ser útil para la evaluación de las implicaciones éticas, sociales y jurídicas de este tipo de implementaciones tecnocientíficas, ya que su análisis

⁵² *Ibidem*, p. 96.

toma en cuenta el por qué, para qué y quién está detrás de la producción de los organismos sintéticos.

En este sentido, el análisis sobre los criterios metodológicos, implicaciones epistémicas y las finalidades nos permite afirmar que los productos de la biología sintética no son equiparables a los OGM. Por lo cual, es necesario revisar las implicaciones éticas, jurídicas y sociales de este tipo de biotecnología más allá de lo estipulado por las normas vigentes, ya que los factores contextuales son distintos, especialmente los aspectos políticos, sociales y económicos en los que es posible enmarcar la práctica de la biología sintética.

Las diferencias esbozadas a lo largo de este capítulo posibilitan llevar a cabo un análisis de corte ético en relación con las aplicaciones, fácticas y en potencia, de la biología sintética. Para ello, es necesario considerar el contexto político-social en el cual se desarrolla dicha biotecnología, a saber, el de la pérdida de biodiversidad y su relación con la salud.

2. BIOÉTICA Y BIOLOGÍA SINTÉTICA

En los textos donde se analizan las oportunidades y los riesgos relacionados con la manipulación genética surgen títulos tan sobrecogedores como "*el octavo día de la creación*", "*el segundo Génesis*", "*la reinención de la naturaleza*"... No se trata de mera retórica. Tales expresiones apuntan hacia el mismo centro de lo que está en juego; y hay que denunciar los intentos de banalizar estas tecnologías, a las que deberíamos acercarnos con "temor y temblor", pero sin concesiones al irracionalismo.
Jorge Riechmann

El surgimiento, desarrollo y aplicaciones de la biología sintética han despertado múltiples preocupaciones, las cuales pueden abarcar diversos ámbitos que pueden ser analizados desde un enfoque bioético. De acuerdo con Onora O'Neill⁵³, el surgimiento y desarrollo de las biotecnologías han propiciado que diversas disciplinas converjan en un punto de encuentro que llamamos bioética. En este sentido, la bioética es un campo en el que se cruzan humanistas, médicos, científicos, empresarios, juristas y políticos con el fin de evaluar los beneficios y riesgos de ciertas aplicaciones biotecnológicas.

En esta línea argumentativa, podemos señalar que el surgimiento y desarrollo de la biología sintética han propiciado un amplio debate bioético debido a la multiplicidad de aplicaciones que esta biotecnología puede tener y a las consecuencias que pudiese propiciar. En un sentido amplio, el debate está centrado en torno a sus potenciales beneficios y riesgos, así como en el lenguaje que se ha utilizado para describirla, toda vez que ha sido equiparada con actividades que intuitivamente despiertan rechazo.⁵⁴ Así, la biología sintética ha sido descrita como una actividad a través de la cual es posible crear vida, o jugar a ser dioses.

⁵³ Vid. Onora O'Neill, *Autonomy and Trust in Bioethics*, Oxford University Press, p. 1.

⁵⁴ En este sentido, es importante mencionar que en una sociedad como la nuestra, en la cual cerca de $\frac{3}{4}$ partes de la población comulga con la religión católica, el rechazo a una actividad científica catalogada como "el segundo Génesis", o "jugar a ser Dios" es por demás intuitivo, ya que afrenta contra una creación que es considerada como sagrada y al mismo ente divino que la ha creado, lo cual, por la misma naturaleza de dicha religión, conlleva un castigo

En primer lugar, es posible afirmar que existen preocupaciones éticas que toman como punto de partida el hecho de que la biología sintética puede modificar la manera en que comprendemos al mundo⁵⁵ y la capacidad tecnocientífica que tenemos para modificar los ciclos y dinámicas del planeta, mismos que hasta hace algunos años parecían incontrolables. Otras preocupaciones se enfocan en la necesidad de limitaciones y evaluación de finalidades con que se lleva a cabo la biología sintética, así como por las consecuencias político-sociales que su desarrollo y aplicación pueden generar. Asimismo, la manipulación del genoma propicia cuestionamientos jurídicos, los cuales versan sobre tópicos como la suficiencia de las normatividades existentes en materia de biotecnología, que abarcan temas como la apropiación de recursos naturales y la distribución justa de sus beneficios y riesgos.

Si bien, la práctica de la biología sintética ha despertado una serie de esperanzas en relación con sus aplicaciones, también ha levantado una serie de temores. En función de ello, es posible sostener que hay una especie de ambivalencia en torno a la biología sintética, misma que ha propiciado una serie de álgidos debates. En primer lugar, las preocupaciones surgen por las aplicaciones que de facto se llevan a cabo con esta biotecnología. Por otro lado, los cuestionamientos hacen referencia a las aspiraciones de los biólogos sintéticos, que van desde crear organismos que sean una especie de chasis, hasta reinventar la naturaleza; actividades que, sin empacho, han descrito como jugar a ser Dios.

proveniente de Dios. Los datos relacionados con el porcentaje de la población mexicana que comparte la creencia religiosa pueden verse en el estudio *Los mexicanos vistos a sí mismos*, llevado a cabo por el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. En especial véase el tomo “Estado laico en un país religioso”. Disponible en: <http://www.losmexicanos.unam.mx/religion/index.html> [Consultado el 18 de octubre de 2019].

⁵⁵ De acuerdo con J. Craig Venter, la biología sintética representa el punto final en el debate sobre la corriente vitalista. En este sentido, la ingenierización de la vida demuestra que la vida consiste en una serie de procesos bioquímicos que atraviesa el genoma, dichos procesos además de ser modificados en el laboratorio, pueden ser programados a través de una metodología ingenieril. En función de ello, las células pueden ser concebidas como máquinas-robots, no sólo en sentido metafórico.

Es difícil formular una especie de valoración bioética definitiva, así como una clasificación estricta de las aplicaciones e interrogantes de la biología sintética, toda vez que es una disciplina emergente, *i.e.*, que aún se encuentra en desarrollo. Si bien, la primera aplicación se dio a conocer en 2010, año en que fue creada *Synthia*, durante los últimos años ha habido una serie de desarrollos que son aplicados en ámbitos tan distintos como la medicina⁵⁶, o la industria textil.⁵⁷

Considero que el análisis bioético puede desarrollarse al menos a partir de dos posturas, las cuales pueden distinguirse en términos meramente analíticos, ya que en la práctica van de la mano. En primer lugar, una postura con un sustento en una ética-deontológica o *a priori*, que nos permita esbozar las interrogantes ético-teóricas de la aplicación de la biología sintética en sus principales ámbitos: salud y medio ambiente. En segundo lugar, las implicaciones éticas pueden desarrollarse desde lo que podemos denominar un enfoque consecuencialista o naturalizado⁵⁸ de la ética. En este sentido, la ética nos puede brindar apoyo para desarrollar una serie de normas que regulen a la biología sintética en función de sus aplicaciones y resultados. La evaluación de estos últimos haría posible la mejora de las normatividades para que éstas respondan a las necesidades sociales y a las capacidades científicas.

⁵⁶ En este campo se espera que la biología sintética revolucione la manera en que se tratan ciertas enfermedades, por ejemplo, en el desarrollo de la construcción de tejidos, elaboración de medicamentos personalizados o vacunas. En la actualidad, el tratamiento de la malaria se ha visto revolucionado, debido a que gracias a la aplicación de la biología sintética es posible obtener la artemisinina en menor tiempo y costo a partir de una bacteria modificada. *Vid.* Jamie A. Davies, *Synthetic Biology. A very short introduction*, cap. 4, p. 58-72.

⁵⁷ El pasado 30 de agosto se dio a conocer que en Japón se desarrolló una chamarra elaborada con seda de araña obtenida a partir de una bacteria modificada con técnicas de biología sintética, la cual ofrece ventajas mayores a las prendas similares elaboradas con los materiales más resistentes, como el kevlar. *Vid.* John Cumbers, “New This Ski Season: A Jacket Brewed Like Spider’s Silk”, en *Forbes*, 28/08/2019. Disponible en <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2019/08/28/new-this-ski-season-a-jacket-brewed-from-spider-silk/#6079e6d8561e> [consultado el 2 de septiembre de 2010]

⁵⁸ En este sentido, tomo en cuenta la postura de Christine Korsgaard, quien afirma que los valores y las normas éticas surgen de las prácticas de determinada comunidad. En función de lo cual, los valores encuentran su fundamento en las prácticas, *i.e.*, la normatividad emana de la práctica misma y no es justificada *a priori*. Al respecto, puede verse el texto de Korsgaard *The sources of Normativity*, Cambridge University Press, Reino Unido, 1996.

Dos perspectivas éticas para la bioética

El enfoque *a priori* de la ética nos resulta pertinente toda vez que algunas de las problemáticas desencadenadas por la biología sintética trascienden el ámbito de la valoración científica, y pueden estar más relacionadas con una valoración meramente filosófica. En este ámbito podemos resaltar mencionar los principios éticos que se relacionan con el valor de la vida, la naturaleza y la capacidad de intervención del ser humano a través de las implementaciones tecnocientíficas.

Desde este enfoque, es posible analizar los cuestionamientos relacionados con la recepción y nivel de aceptación que pueden tener este tipo de prácticas. Esto conlleva tener en cuenta consideraciones no sólo científicas, como las relativas a la bioseguridad, por ejemplo, sino lo que Riechmann mencionaba como haces de relaciones socioecológicas, que pueden englobar la valoración cultural que una sociedad puede tener en relación con su entorno. Considero que un ejemplo claro de ello puede observarse en el conflicto axiológico que se expresa en la manera que se percibe una actividad que es equiparada con una actividad divina a través de la cual un genoma es concebido como una pieza de LEGO, lo cual posibilita una actividad reinventiva de la naturaleza.

En este caso utilizo el término *a priori* como una categoría que indica un análisis cuya justificación remite a un análisis ético que parte de valoraciones previas, o precomprendidas en relación con el entorno. Así, es importante mencionar que dichos valores que poseemos son adquiridos a lo largo de nuestro desarrollo en la sociedad y forman parte de nuestro *ethos* comprendido como hábitat.⁵⁹ Un ejemplo de ello es el valor que se otorga a la vida y a lo natural, lo cual, no parece tener una justificación cuantificable en términos científicos o crematísticos, sino que hace referencia a una serie de prácticas culturales ancladas a una cosmovisión propia de una sociedad en una época determinada.

⁵⁹ Vid. Juliana González, “introducción”, a *Perspectivas de bioética*, México, UNAM-F.C.E.-C.N.D.H, 2008, p. 17.

En este caso, el conflicto entre las valoraciones éticas y la biología sintética pueden surgir porque dichas intuiciones se verían trastocadas de alguna manera debido a las posibilidades de aplicación de la biología sintética. En este sentido, considero que la ética tiene un enfoque deontológico ya que parte de imperativos o deberes que se espera sean cumplidos, tales como el deber de conservar la naturaleza porque es un deber en sí mismo, o de preservar a la vida tal como la conocemos porque así es mejor. El carácter *a priori*, en este caso, radica en que su planteamiento se queda en el ámbito teórico, *i.e.*, no parte de datos científicos, sino que parte de concepciones ontológicas con las que se enfrenta la biología sintética, lo cual provoca interrogantes que no se responden solamente desde el ámbito de la biotecnología, tales como: ¿es legítimo que el ser humano juegue a ser Dios a través de la biotecnología?, ¿de qué manera se modificará lo natural a través de la biología sintética?, ¿somos capaces de controlar lo que hemos creado?

Esta última pregunta nos permite realizar un puente entre las preocupaciones teóricas y las interrogantes que surgen de la praxis de la biología sintética. En este ámbito, por implicaciones éticas naturalizadas me refiero a aquellas interrogantes que surgen a partir de los resultados que muestra la biotecnología. Los cuestionamientos éticos tienen su fundamento en la praxis científica. La ética naturalizada se ocuparía del análisis del surgimiento, desarrollo y usos de la biología sintética. De esta manera, el ámbito de su reflexión y propuesta estaría enfocado en el impacto social y político de sus aplicaciones. De acuerdo con ello, algunas de las preguntas desencadenadas en este rubro pueden ser: ¿de qué manera se debe regular esta práctica?, ¿quiénes deben ser los beneficiados por ella?, ¿cómo hacerle con los riesgos implicados? En este sentido, la normatividad que regule a la biología sintética surgiría de la práctica misma, *i.e.*, la reflexión ética partiría de un sustento científico en función del cual podrían proponerse algunas normas que tengan impacto en el desarrollo de la investigación y áreas de aplicación.

Ambos enfoques nos permitirían desarrollar un *corpus* de reflexiones bioéticas robusto. Considerar posturas *a priori* y naturalizadas posibilita sintetizar las diversas posturas que convergen en el ámbito de la biotecnología. De esta manera, podemos plantear una serie de cuestionamientos que, además de apuntar a la práctica y resultados de la biología sintética, nos permitirá hacer interrogantes radicales, *i.e.*, no sólo cuestionar o proponer cómo debe hacerse la biología sintética, sino comprender y cuestionar por qué y para qué surgió esta práctica, así como indagar si en verdad a través de su desarrollo es posible solucionar todas las problemáticas que a través de la biotecnología se han prometido solucionar.

Biología sintética para el Antropoceno

El epígrafe de este capítulo contempla ampliamente las expectativas que ha generado la biología sintética, mismas que se expresan en un lenguaje metafórico, cuyo análisis podemos clasificar como propio de una ética *a priori*. Jugar a ser Dios, reinventar la naturaleza o la construcción de biomáquinas son las metáforas que se pueden encontrar en la literatura relativa al tema.⁶⁰

En términos filosóficos, tomar en consideración el uso del lenguaje en estas prácticas resulta interesante ya que dichas frases delatan las visiones del mundo y del ser humano que subyacen en la ingeniería genética. Estos términos, en última instancia, expresan la visión que los científicos poseen sobre la capacidad que tienen para intervenir los procesos naturales, modificarlos de manera sustancial, y controlarlos. Esta concepción de sus capacidades es de gran envergadura, a tal grado que los relatos míticos sobre la creación como el *Génesis*, o las teorías

⁶⁰ Una obra amplia en este campo es Joachim Boldt [edit.], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Springer, Friburgo, 2016. Dicha publicación está compuesta por tres capítulos en los cuales diversos autores muestran un análisis filosófico y científico sobre lo que delata el uso del lenguaje en las actividades científicas, sobre todo las relativas a la ingeniería genómica.

científicas sobre la vida, sufren una especie de renovación a la luz de la ingeniería genómica, a tal grado que puede comprenderse que la biología sintética es el punto inaugural de un segundo Génesis (*Regenesis*), en el cual tendríamos la capacidad de tomar la evolución en las riendas de nuestras manos para reinventar la naturaleza.

La reinención de la naturaleza es un proyecto que lleva algunas décadas en la agenda científica. Hacia finales de la década de 1990, Rifkin ya hacía mención de que la revolución biotecnológica desencadenaría un segundo génesis.⁶¹ En este sentido, la revolución biotecnológica sería parte de las soluciones probables a lo que el sociólogo llama la triple crisis del siglo XXI. En esta tesitura, considero que parte del auge de la biología sintética se puede comprender a la luz de la alteración de las dinámicas planetarias surgidas por las implementaciones tecnocientíficas. Así la crisis caracterizada por la contaminación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y la escasez de recursos energéticos, paradójicamente propiciada o exacerbada por algunas implementaciones tecnocientíficas han propiciado que la biología sintética emerja como una tecnociencia con amplio potencial para solucionar dichas problemáticas.

Siguiendo la argumentación de Rifkin, es posible afirmar que la biología sintética se enmarca en una época de crisis. No obstante, a diferencia de lo que él clasificó como la triple crisis que enfrentaría el siglo XXI, la biología sintética encuentra un campo de aplicación en diversos ámbitos que son característicos de una era que ha sido denominada como Antropoceno. Dicho concepto, *grosso modo*, se caracteriza por englobar una serie de situaciones negativas que han sido causadas o potenciadas por las actividades industrial y tecnocientífica.

Diez años antes del anuncio del Venter Institute sobre la creación de *Synthia*, Paul Crutzen propuso el término Antropoceno como una nueva nomenclatura geológica. Lo interesante de su

⁶¹ Vid. Jeremy Rifkin, *The Biotech Century. Harnessing the Gene and Remaking the World*, New York, Jeremy P. Tarcher-Penguin, 1999. En especial capítulo 3 “A second Genesis”.

propuesta radica en que, a través de dicho concepto, propuso definir una nueva época geológica, cuyo criterio de demarcación radica en las consecuencias negativas que nuestras actividades han traído.⁶² Si bien, la propuesta del premio Nobel apunta hacia el establecimiento de una nueva era geológica definida por el impacto de las actividades humanas a escala planetaria, manifestado principalmente en la erosión de los suelos, o en problemas como el agujero en la capa de ozono resultado de las emisiones de metano y dióxido de carbono, la presencia del término *Anthropos* como distintivo de la nueva era geológica propició que el concepto trascendiera el ámbito de la geología, a tal grado que pensadores de disciplinas humanísticas y sociales lo han incorporado a su *corpus* reflexivo.

Si bien, no hay un consenso científico en torno a la datación del inicio del Antropoceno debido a lo extenso que resulta incluir al ser humano como agente causal de la época, es innegable que este concepto engloba una serie de responsabilidades humanas que deben atenderse independientemente de la fecha en que se decida decretar su inicio. Los geólogos que conforman el *Anthropocene Work Group* (AWG) han acordado que la fecha de inicio de esta época sea a mediados del siglo XX, debido a que en este lapso han tenido lugar una serie de fenómenos como el crecimiento poblacional, la detonación de las bombas atómicas, y el uso de agroquímicos en agricultura, que han trastocado una serie de procesos y dinámicas ecosistémicas.⁶³

Más allá del interés epistemológico y científico que de suyo encierra la nomenclatura propuesta por Crutzen, y la fecha en que se decreta el inicio de la época, el término Antropoceno adquiere relevancia en el ámbito de las humanidades debido a que, por definición, invoca una serie de responsabilidades éticas y políticas que se desprenden de las consecuencias negativas de la

⁶² Vid. Paul Crutzen y Eugene Stoermer, “The Anthropocene”, en *IGBP Newsletter*, No. 41, mayo 2010, p. 17-18. Disponible en: <http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>

⁶³ Vid. “Anthropocene now: influential panel votes to recognize Earth’s new epoch”, en *Nature. International Journal of Science*, 21/05/2019. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01641-5>

tecnificación a la que ha sido sometido el planeta. Dichas consecuencias han dado pie a que diversos científicos sociales reflexionen en torno a esta problemática.

En la vertiente filosófica, uno de los pensadores que han señalado la relevancia del término es Peter Sloterdijk. De acuerdo con el pensador alemán, el Antropoceno es un término que ha salido de los claustros científicos y ha permeado otras esferas disciplinarias transmitiendo un mensaje “de urgencia político-moral casi insuperable, un mensaje que en lenguaje más explícito reza: el ser humano se ha convertido en responsable de la ocupación y administración de la tierra en su totalidad desde que su presencia en ella ya no se lleva a cabo al modo de una integración más o menos sin huellas”.⁶⁴

Considero que el acercamiento de Sloterdijk hacia el Antropoceno se da desde un enfoque ontológico y epistemológico que conlleva diversas consideraciones éticas. Si tomamos en cuenta sus argumentos, veremos que para analizar el problema de la catástrofe ambiental, no importa el número de seres humanos que habitan el planeta tanto como el tipo de vida que llevan un reducido número de habitantes. En función de ello, el filósofo alemán argumenta que, si no fuera por cuestiones de corrección política, en lugar de Antropoceno, la época bien podría llamarse “Tecnoceno” o bien, “Euroceno”, lo cual daría una mayor claridad sobre las causas y posibles soluciones a la problemática actual.⁶⁵

Una consideración epistemológica de este tipo nos señala que una de las causas del Antropoceno radica en la llamada era industrial. De esta manera, la causalidad remite a factores que en la actualidad se encuentran presentes, principalmente un modelo económico anclado al uso de combustibles fósiles, que *grosso modo*, pretende un crecimiento infinito con una base finita de recursos y a las consecuencias negativas de este modelo, radicadas principalmente en la emisión

⁶⁴ Peter Sloterdijk, *¿Qué sucedió en el siglo XX?*, Madrid, Siruela, 2018, p. 9

⁶⁵ *Vid. Ibidem*, p. 11.

de gases de efecto invernadero. Considero que no es baladí el señalamiento de esta causalidad, ya que la pretensión del autor de *Esferas* es la de imputar responsabilidades al ser humano, de manera tal que pueda adoptarse una ontología política de la naturaleza a partir de lo que denomina monogeísmo, lo cual que permite desarrollar una reflexión filosófica centrada en la búsqueda de propuestas para enfrentar la problemática ambiental.⁶⁶

Podemos interpretar que la argumentación de Sloterdijk está dirigida, en primer lugar, a señalar que la discusión epistemológica en torno al Antropoceno no es lo más importante. En ese sentido, poner el clavo de oro en 1610⁶⁷ o en 1945⁶⁸ no reviste gran importancia. El debate debe centrarse en atender el problema ambiental y en cómo vamos a resolverlo, por ello, el pensador alemán sostiene que:

el concepto de ‘Antropoceno’ contiene los minima moralia espontáneos de la era presente; implica la preocupación por la convivencia de los habitantes de la Tierra tanto en forma humana como no humana; exhorta a cooperar en la red tanto de los círculos de vida simples como de los de grado más alto, en los que los actores del mundo actual van generando su existencia al modo de la coinmunidad.⁶⁹

En una línea argumentativa similar, pero desde la sociología, el francés Bruno Latour ha señalado que la importancia del concepto Antropoceno no radica en el debate sobre la temporalidad geológica, sino en las implicaciones políticas y sociales que conlleva. De esta manera, más allá de ser un mero concepto geológico, el Antropoceno engloba el impacto negativo que las actividades humanas han tenido en los ciclos y dinámicas del planeta, describe una crisis que no es bélica como las experimentadas, ya que su solución no depende sólo de voluntades políticas, y que sus

⁶⁶ A grandes rasgos, el monogeísmo consiste en concebir a la Tierra como un ente unitario, *i.e.*, en la aceptación de que sólo hay una Tierra. En este sentido, la visión monogeísta asume que, no importa la disciplina que aporte datos sobre el planeta, la conclusión es que sólo habitamos un planeta, por lo cual es responsabilidad política de todos cuidar del espacio que habitamos. Al respecto véase Peter Sloterdijk, *En el mundo interior del capital. Para una teoría filosófica de la globalización*, p. 22 y 194.

⁶⁷ Vid. Wolfgang Lucht, “*Seeking the Anthropocene*”, en *Nature. International Journal of Science*, No. 558, 7 de junio de 2018, p. 26-27.

⁶⁸ Vid. Jan Zalasiewicz et al, “When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal”, en *Quaternary International*, Volumen 383, 5 de octubre de 2015, p. 4.

⁶⁹ Peter Sloterdijk, *¿Qué sucedió en el siglo XX?*, p. 31.

consecuencias sobrepasan nuestras capacidades cognitivas, toda vez que se extienden en dimensiones espaciales y temporales que no estamos habituados a visualizar.⁷⁰

De acuerdo con Latour, para comprender el Antropoceno es necesario ir más allá de la división moderna naturaleza *versus* sociedad. En este sentido, se debe trascender la imagen que se tiene de concebir o de pensar el planeta en función de los límites geográficos, ya que la problemática actual trasciende las fronteras nacionales, o la distinción entre lo social y lo natural. Por ello, el francés propone concebir a la Tierra como un ente vivo, más que como una enorme masa más o menos inerte dividida en países. Este ente recibe el nombre de Gaia. A decir de Latour, dicha visión del mundo posibilita el planteamiento de una ontología política que permita formular soluciones a los problemas actuales.

En este sentido, el *status* del planeta nos exige pensar a la Tierra de una manera distinta a lo que lo hacen algunos científicos naturales. en lugar de ver al planeta solamente en términos de números de crecimiento y decrecimiento, o al modo de los políticos que conciben a la Tierra como un conglomerado de naciones más o menos independientes, y que, de alguna manera, especialmente los Estados Unidos, no comparten con el resto del mundo.⁷¹

En su lugar, es menester pensar a la Tierra como una imbricación entre lo natural y lo social.⁷² En función de ello, si la Tierra es visualizada como un ente vivo, capaz de re-accionar a nuestros estímulos, comprenderemos que hay una dinámica de co-adaptación, según la cual, el planeta se adapta a las transformaciones que nosotros ejercemos sobre él. Sin embargo, esta visión asume que nuestras acciones tendrán consecuencias, a las cuales nosotros deberemos adaptarnos.

⁷⁰ Vid. Bruno Latour, *Esperando a Gaia. Componer el mundo común mediante las artes y la política*. Disponible en <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/downloads/124-GAIA-SPEAP-SPANISHpdf.pdf>

⁷¹ Vid. Bruno Latour, *Down to Earth*, cap. 1.

⁷² *Idem*, *Cara a cara con el planeta. Una nueva mirada sobre el cambio climático alejada de las posiciones apocalípticas*, México, Siglo XXI, 2017, p. 117.

La argumentación de Latour abre una serie de consideraciones que van más allá del debate geológico, por lo que es necesario considerar que el término Antropoceno es ideal para trazar nuevas políticas medioambientales:

lo que hace del Antropoceno un hito excelente, un ‘clavo de oro’ claramente detectable más allá de la frontera de la estratigrafía, es que el nombre de este periodo geohistórico puede convertirse en el concepto filosófico, religioso, antropológico y, como muy pronto veremos, político más pertinente para comenzar a apartarse de una vez por todas de las nociones de ‘Moderno’ y de ‘modernidad’⁷³

Lo interesante de las posturas de ambos pensadores radica en que nos ofrecen un punto en común para derivar las implicaciones bioéticas de la biología sintética. Interpretando los textos citados, es posible afirmar que ante la urgencia de encontrar vías alternativas para mantener un estilo de vida insostenible para el planeta, y ante la necesidad de desarrollar soluciones para las problemáticas ambientales desencadenadas, la biología sintética se encuentra rodeada de una especie de aura de salvación, según la cual, es posible desplazar el uso de combustibles fósiles del centro de la economía, y en su lugar, hacer uso de recursos naturales, los cuales, por definición, resultarían más amigables con el medio ambiente. Asimismo, la aceleración de los procesos naturales a través de la ingeniería biológica permitirá acrecentar los procesos de producción y solucionar los problemas que propiciaron el surgimiento del Antropoceno. No en vano, las principales aplicaciones de la biología sintética están dirigidas a la mitigación del impacto ambiental de las tecnociencias como ha señalado la PCSBI.⁷⁴

A partir de ello, podemos afirmar que parte de las implicaciones bioéticas pueden analizarse desde enfoques éticos deontológicos y consecuencialistas. Asimismo, este análisis bioético puede nutrirse de las argumentaciones de los pensadores mencionados, ya que apuntan a problemas cuya solución se encuentra en el ámbito de la ontología filosófica. En este sentido, la

⁷³ *Ibidem*, p. 137

⁷⁴ *Vid. PCSBI, New Directions*, p. 56.

ética y la ontología están relacionadas toda vez que la axiología moral tiene su sustento en la manera en que es concebido el planeta como un mundo que se manifiesta como un ente vivo y unitario que es capaz de responder a nuestras actividades en mayor o menor medida. Aunado a ello, las biotecnociencias han modificado la comprensión que tenemos de lo vivo, en función de lo cual, los resultados negativos nos han obligado a hacer algunos ajustes en nuestras valoraciones sobre la vida que deben reflejarse en la práctica de las tecnociencias.

Asimismo, considero que en los argumentos de Latour y Sloterdijk se haya implícita una dimensión temporal heredada de la filosofía heideggeriana, según la cual el tiempo es el horizonte de comprensión del sentido del ser.⁷⁵ Partiendo de ello, parte del fundamento de la ética se encuentra en la posibilidad de la existencia de generaciones futuras, las cuales deben, al menos, tener los mismos derechos y condiciones de las que gozamos. Esta consideración de responsabilidad hacia el futuro, parte de una concepción metafísica de la humanidad, que, de acuerdo con Hans Jonas puede formularse en una especie de imperativo metafísico, según el cual, al considerar que es deseable que exista la vida en el planeta, es igual de deseable y necesario que siga existiendo vida humana en la Tierra.⁷⁶

La obligación metafísica de la que nos habla Jonas, se expresa en términos éticos bajo el nombre de *principio de responsabilidad*, que acuña a manera de imperativo con las siguientes palabras: “Incluye en tu elección presente, como objeto también de tu querer, la futura integridad del hombre”.⁷⁷ De acuerdo con el pensador alemán, la ética debe reflexionar no sólo sobre la consecuencias inmediatas de las acciones de los seres humanos, sino, dada la vulnerabilidad del

⁷⁵ Ello Sloterdijk lo hace explícito, al afirmar que, en la actualidad, la ética se piensa en función de la posibilidad del fin de los tiempos modernos, es decir, la posibilidad del apocalipsis hace viable desarrollar una ética que, como finalidad última, tiene asegurar la existencia de las generaciones futuras.

⁷⁶ Hans Jonas, *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*, Madrid, Herder, p. 38.

⁷⁷ *Ibidem*, p. 40.

planeta, descrita recientemente en su época por la ecología, las acciones humanas deberían valorarse en función de las consecuencias que trajeran a generaciones futuras, por lo cual es necesario que la ética trascienda el ámbito reflexivo de la filosofía y permee, obligadamente, en el ámbito de la política pública y la toma de decisiones.

Ámbitos de aplicación de la biología sintética y sus implicaciones bioéticas

Los ámbitos en los que se pretende la aplicación de la biología sintética son diversos. Varios de ellos encuentran correspondencia con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).⁷⁸ De acuerdo con el estudio citado de la PCSBI, los ámbitos que propiciaron el surgimiento de la biología sintética fueron principalmente dos: el medio ambiente y la salud. En su reporte, la Comisión Presidencial considera que los biólogos sintéticos deben dirigir sus esfuerzos para generar organismos que sean útiles para: “(1) *reducing the use of harmful industrial chemicals by providing biologically-based alternatives*, (2) *cleaning up environmental pollutants*, (3) *increasing crop productivity and soil health*, and (4) *replacing synthetic, non-renewable materials with those derived from biological sources*”.⁷⁹

De acuerdo con ello, los científicos trabajan para que la biología sintética solucione una gran parte de los problemas que caracterizan a la era del Antropoceno. En este sentido, es posible señalar que desde hace algunos años, los esfuerzos en investigación y desarrollo (I+D) en biología

⁷⁸ Vid. Organización de las Naciones Unidas, Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/> [Consultado el 18 de octubre de 2019].

⁷⁹ K.E. French, “Harnessing synthetic biology for sustainable development”, en *Nature. International Journal of Science*, 2/04/2019, p. 250. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0270-x>

sintética están centrados en generar y desarrollar una industria más eficiente y resolver algunas problemáticas ambientales.

Una de las principales aplicaciones de la biología sintética está enfocada en la producción de biocombustibles. Se planea que con la sustitución de los combustibles fósiles, se logre disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, con lo cual se pretende enfrentar el calentamiento global. Asimismo, se considera que es una buena manera de transitar de un paradigma energético anclado en los combustibles fósiles, a un paradigma energético que esté sustentado en el uso de recursos renovables. Por ello, la producción de biocombustibles está enfocada en generar biodiesel y etanol.⁸⁰

Si bien, el uso de biocombustibles parece ser una idea plausible y éticamente aceptable, es importante destacar que esto más que resolver un problema, podría desencadenar otro. Es necesario señalar que, si bien, los biocombustibles han demostrado ser más limpios que los combustibles fósiles, es cierto que su producción conlleva varias interrogantes éticas, la más dramática de ellas versa sobre la moralidad en torno a utilizar la bioingeniería para producir cultivos que en lugar de ser destinados como alimentos, se empleen con el fin de satisfacer las demandas energéticas en lugar de combatir la desnutrición y hambre que es patente en diversas zonas del planeta. Aún si ese no fuera un problema, o si se pudiera solucionar al mismo tiempo, existe otra complicación seria: la necesidad de terrenos para cultivo y la eficiencia del biocombustible en comparación con los combustibles fósiles.

Es cierto que la biología sintética puede ofrecer algunas herramientas ventajosas para combatir la contaminación, propiciando el desarrollo de nuevos biocombustibles. Pero es necesario tomar en cuenta que para desarrollarlos se requieren grandes áreas de cultivo donde sembrar los

⁸⁰ Vid. Markus Schmidt [ed.], *Synthetic Biology. Industrial and Environmental Applications*, Weinheim, 2012, p. 13 y ss.

insumos necesarios para la producción de biodiesel o bioetanol. Por ello, es importante reconocer que el cultivo de la caña de azúcar o de la palma, que son la materia prima para la elaboración de los combustibles, se lleva a cabo en países megadiversos como Brasil o Indonesia. El incremento en su producción propiciaría que se destinaran más extensiones de terrenos para cultivo, lo cual implica diversos problemas, como la deforestación, acidificación y esterilización de los suelos, lo cual agudizará uno de los problemas que se pretenden resolver: la pérdida de biodiversidad.⁸¹

Otra de las aplicaciones que deben considerarse con detenimiento es la producción de organismos específicos para la limpieza de suelos y aguas. De acuerdo con el estudio de la PCSBI, una de las principales áreas de aplicación de la biotecnología llegará a ser el de la limpieza del medio ambiente, o biorremediación. En este ámbito, la Comisión ha señalado que la producción de biosensores será de gran utilidad para conocer el nivel de contaminación del suelo y del agua, para poder evitar daños a la salud de las poblaciones que habitan en lugares donde estos elementos se encuentren contaminados: “*synthetic biology may offer the ability to enhance the features of microbially produced biosurfactants to tailor them to specific spills or otherwise polluted areas*”.⁸²

Las tareas de biorremediación son otro claro ejemplo para llamar la atención en torno a la ambivalencia de la biología sintética. Por un lado, son muestra de que la biología sintética puede ser de suma utilidad para llevar a cabo procesos que reporten un bienestar colectivo, por otro lado, la biorremediación es un claro ejemplo de la generación de riesgos que conlleva la liberación de organismos vivos modificados al medio ambiente. Los beneficios de la biorremediación radican en que, gracias a la manipulación de bacterias específicas, se pueden obtener bioherramientas útiles para generar electricidad a partir de aguas residuales, detectar la presencia de arsénico en mantos freáticos o para potabilizar agua. No obstante, actividades de este tipo despiertan serias

⁸¹ Vid. *Ibidem*, p. 16 y ss.

⁸² PCSBI, *op. Cit.*, p. 69.

interrogantes relacionadas con aspectos de bioseguridad, pues al tratarse de la liberación de un organismo sintético, que tiene la posibilidad de autorreplicación y de autoorganización, es probable que desarrolle estrategias de supervivencia en el entorno donde se le libere y adopte comportamientos no esperados.⁸³

Otra de las aplicaciones de la biología sintética es la referente a los biomateriales. En este sentido, los biólogos sintéticos pueden diseñar organismos que tengan aplicaciones ambientales en contextos distintos, entre ellos la agricultura, en los que a través de la modificación de bacterias se logra acelerar procesos o crear biopolímeros como sustitutos de los plásticos.⁸⁴ Como lo he señalado anteriormente, diversas empresas invierten dinero en I+D con el fin de obtener materiales que ofrezcan más ventajas económicas para las empresas y los consumidores, como el caso de *The North Face* al fabricar su modelo *Moon Parka*, la cual está confeccionada con un material similar al de la seda de las arañas obtenido a través de la biología sintética.

En su obra *Regenesis*, George Church y Ed Regis aseguran que la biología sintética será capaz de solucionar problemas relativos a la pérdida de biodiversidad. En este sentido, afirman que las vertientes *top-down* y *bottom-up* podrán aplicarse en procesos de desmontaje de ADN de especies animales, o vegetales existentes actualmente en los ecosistemas, de tal manera que la manipulación de las rutas metabólicas, o el ensamblaje de las secuencias genómicas obtenidas serán útiles para obtener especies que se han extinto, o que están en peligro de extinción. Para los autores en comento, aplicar biología sintética para resucitar especies que se han extinto, tiene sentido si leemos el proyecto a la luz de la pérdida masiva de especies. en este caso, la biología sintética permitiría amortiguar la pérdida de diversidad genética. Aunado a ello, haría posible incrementar el patrimonio genético (*gene pool*) a través de la introducción de genes que ya han

⁸³ Markus Schmidt, *supra*, p. 98.

⁸⁴ *Ibidem*, p. 103.

existido, pero que, por diversas causas, principalmente humanas, se han perdido: “*If the continuing loss of countless species is a tragedy, then the introduction of effective countermeasures, and the increase in species diversity that will accompany them, can only be viewed as a benefit*”.⁸⁵

Al realizar un análisis de los ámbitos de aplicaciones de la biología sintética es posible observar que las interrogantes éticas que le permean pueden desarrollarse a partir de las distinciones contextuales y epistemológicas que he esbozado. En función de ello, es posible señalar que la biología sintética conlleva implicaciones éticas de orden distinto al que se presentaron con la producción de OGM’s, sin dejar de lado algunas implicaciones éticas que resultan paralelas en ambas prácticas.

De acuerdo con Anna Deplazes *et al*, hay tres rubros en los que se pueden clasificar las implicaciones éticas: las referentes a la metodología, las que surgen de las aplicaciones, y las que se detonan en función del acceso a los productos y la propiedad de los organismos sintéticos: “*the first category deals with the aims, procedures and methodologies of synthetic biology. The second category concerns the social impact that certain applications and products of synthetic biology may have in the future and the third category comprises questions of access and ownership*”.⁸⁶

En función de esta clasificación, es posible afirmar que las primeras interrogantes éticas implican que hay que asumir una distinción entre los productos sintéticos y los OGM. Dicha diferencia está justificada en que la metodología por la cual se obtienen OGM es distinta a la utilizada para la generación de organismos sintéticos. Mientras que los transgénicos son resultado

⁸⁵ George Church, Ed Regis, *Regenesis. How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves*, Nueva York, Basic Books, p. 140.

⁸⁶ Ana Deplazes *et al*, “The Ethics of Synthetic Biology: Outlining the Agenda”, en Markus Schmidt *et al* [coords.], *Synthetic Biology. The technoscience and Its Societal Consequences*, New York, Springer, 2010, p. 67-68. Siguiendo esta clasificación, el presente capítulo se enfocará en el análisis de las cuestiones de bioseguridad, en tanto la problemática del acceso a los beneficios de los organismos sintéticos, así como del marco regulatorio de la adjudicación de propiedad de los mismos será materia de análisis del tercer capítulo.

de una metodología de ensayo y error, los organismos sintéticos responden a un procedimiento anclado en el diseño y ensamblaje de un genoma realizado a través de una computadora, cuya consecución puede ser o la reorganización molecular de un organismo vivo, o el diseño *de novo* de una entidad viva, lo cual es distinto a modificar un genotipo para, probablemente, obtener un fenotipo deseado.⁸⁷ De esta manera, es posible afirmar que además de las diferencias de contexto que subyacen en estas prácticas, la metodología propicia que los OGM y los productos de la biología sintética sean distintos.

Asumir esta diferencia nos lleva a plantear una distinción en la manera en que comprendemos lo que es un OGM y un organismo sintético en función de las aplicaciones perseguidas. Toda vez que en ambos casos se manipula un genoma, aunque por distintas metodologías, se puede afirmar que los organismos sintéticos y los OGM son una especie de bioartefactos (*bio-objects*). En este sentido, hay dos tipos de bioartefactos, los clásicos que son los OGM y los novedosos, que son los organismos sintéticos. Esta distinción nos conduce a cuestionamientos que pueden dirigirse al diseño y programación de su funcionalidad, *viz*, si son producidos como objetos con características mejoradas, como objetos biomiméticos, que cumplan una función análoga a la que tienen algunos seres vivos, o como objetos completamente sintéticos, *i.e.*, que cumplan funciones que por naturaleza no cumplirían.⁸⁸

Los organismos sintéticos se distinguen de los bioartefactos clásicos, como los OGM, toda vez que su artificialidad proviene de su proceso de ensamblaje y su programación. A partir de estas

⁸⁷ *Vid.* Joachim Boldt, “Swiss watches, genetic machines, and ethics An introduction to synthetic biology’s conceptual and ethical challenges”, en Joachim Boldt [edit.], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Friburgo, Springer VS, 2016, p. 2.

⁸⁸ *Vid.* Jan C. Schmidt, “Towards a Clarification and Classification of Synthetic Biology”, en Joachim Boldt, *Op. Cit.*, p. 15.

características podemos afirmar que hay un aspecto novedoso que distingue a los organismos sintéticos, que subyace en su aspecto ingenieril, a saber, la idea de control.⁸⁹

Siguiendo la clasificación de Anna Deplazes, la idea de *control* nos lleva a plantear las interrogantes éticas en un segundo plano, a saber: el impacto social que tiene, o tendrá la producción de los organismos vivos. En esta línea argumentativa, podemos pasar de las consideraciones *in abstracto* a las preocupaciones concretas. Derivado de las aplicaciones que hoy día se llevan a cabo con los organismos sintéticos, podemos engarzar las preocupaciones surgidas desde el enfoque deontológico con las surgidas a partir de consideraciones consecuencialistas.

De acuerdo con Jorge Linares, la biología sintética propicia una nueva relación entre los seres humanos y la vida misma. Por ejemplo, la posibilidad de producir biochasisis o de nombrar al genoma como biolego delata que lo importante de la relación no es pensar la realidad a partir de una distinción entre lo natural y lo artificial, sino que “ya no debería ser relevante si los organismos vivos (micro o macroscópicos) son ‘naturales’ o han sido intervenidos o transformados biotecnológicamente, sino más bien si podemos controlar su diseño, producción y funcionamientos, tal como podemos hacerlo con artefactos convencionales, como teléfonos, máquinas o computadoras”.⁹⁰

En esta línea argumentativa, la importancia del debate recae en la posibilidad de controlar lo que se crea, *i.e.*, en última instancia, el problema con la biología sintética es ético-político, y radica en la previsión, control y predictibilidad de las aplicaciones de la tecnociencia a los organismos vivos. Desde una postura consecuencialista, la idea de control es clave para la

⁸⁹ Cfr. Tobias Eichinger, “Elements and limits of an action paradigm in synthetic biology”, en Joachim Boldt *et al* [edit.], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Friburgo, Springer VS, 2016, p. 68

⁹⁰ Jorge Linares y María Antonia González Valerio, “Hacia una ontología de la bioartefactualidad”, en Jorge Linares y Elena Arriaga, *op. Cit.*, p. 79-80.

evaluación bioética de la biología sintética, ya que a partir de dicho concepto se pueden desarrollar normas éticas y marcos jurídicos que regulen el desarrollo de esta tecnociencia.

El control implica al menos dos cosas: conciencia del riesgo entrañado en este tipo de desarrollos tecnocientíficos y medidas de bioseguridad pertinentes. De acuerdo con lo propuesto por Linares “el control técnico implica que los agentes humanos son capaces de producir intencionalmente, y durante un periodo de tiempo sostenible, modificaciones técnicas en objetos o procesos, así como anticipar, prevenir, evitar consecuencias indeseadas mediante la corrección o alteración de sus diseños o acciones técnicas”.⁹¹ En el caso de la biotecnología, control técnico significa bioseguridad, tanto en el aspecto de la prevención de malos usos de las biotecnologías, como en el aspecto de protección social frente a posibles daños a la salud o medio ambiente.

Una de las interrogantes éticas más fuertes a partir de esta concepción de los organismos sintéticos se puede plantear así: ¿hasta dónde es posible el control técnico? La respuesta a esta pregunta no es unívoca, ni siquiera definitiva, ya que se encuentra relacionada con la limitada comprensión que tenemos de los procesos que desarrollan los organismos vivos y la manera en que la alteración de estos puede influir negativamente en los procesos vitales y expandirse más allá de las barreras geográficas y temporales que somos capaces de dimensionar. Un ejemplo de problemática que rodea a la idea de control la plantean Natalie Kuldell *et al*, al afirmar que los procesos evolutivos podrían generar problemas que no somos capaces de prever:

*for instance, evolution can mutate DNA that has been painstakingly programmed, ruining a cell's engineered function. Replication of synthetic cells in the environment might pose a hazard if they interact in unexpected ways with existing organisms in that ecosystem. And, synthetic biology raises philosophical questions as we begin to think about cells as tiny living machines built to do our bidding. Any technology that asks us to reconsider our interaction with the natural world must be approached carefully.*⁹²

⁹¹ Jorge Linares, *op. Cit.*, p. 81-82.

⁹² Natalie Kuldell, *op. Cit.*, p. 3.

La concepción ingenieril de la vida representada en la visión de Venter supone una amplia comprensión de la vida. Sin embargo, estamos lejos de comprender a cabalidad la dinámica bajo la cual se lleva a cabo la complejidad del proceso evolutivo que ha dado lugar a la biodiversidad. Como argumenta Linares, la máxima que permea a las biotecnociencias “*What I can create, I do understand.*” es una falacia, ya que el hecho de poder manipular bases nitrogenadas como si fueran 0 y 1 en un lenguaje cibernético y saber cómo ensamblar genomas no implica la comprensión del complejo funcionamiento de los organismos vivos ni de la manera en que interactúan con su entorno.⁹³

Este tipo de objeciones a la manipulación de organismos vivos ya habían sido planteadas con anterioridad, en específico cuando se llevó a cabo el desarrollo de los OGM. Si bien, en ese debate es posible hallar ciertas pautas bioéticas para el análisis y encauzamiento adecuado de la biología sintética, es pertinente preguntarse si dichas pautas son suficientes toda vez que es posible considerar que hay diferencias entre estas biotecnologías. A este respecto, es posible señalar que el principio de precaución debe ser considerado a luz de este tipo de desarrollos biotecnológicos.

En esta misma línea argumentativa, podemos citar el estudio publicado por la PCSBI. En su reporte, la Comisión señala que las investigaciones en el ámbito de la biología sintética, hacia el año 2010, no implicaban consideraciones mayores o distintas a las ya presentadas por la producción de OGM. En función de dicha conclusión, propusieron la adopción de un *corpus* conformado por cinco principios, a través de los cuales se evaluarían los avances de la entonces recién surgida disciplina. La propuesta considera principios que son considerados como básicos o imprescindibles en el ámbito de la bioética, a saber: “(1) *public beneficence*, (2) *responsible*

⁹³ Vid. Jorge Linares, “The Promises of Synthetic Biology: New Bioartefacts and Their Ethical and Societal Consequences”, en Belén Laspra y José Antonio Cerezo [eds.], *Spanish Philosophy of Technology. Contemporary Work from the Spanish Speaking Community*, Switzerland, Springer, 2018, p. 183.

stewardship, (3) intellectual freedom and responsibility, (4) democratic deliberation, and (5) justice and fairness.”⁹⁴

Si bien, los principios con los cuales se han evaluado las implicaciones de los OGM representan un buen punto de apoyo para desarrollar un análisis bioético en torno a la biología sintética, considero que dichos principios deben reevaluarse a la luz de los avances presentados en esta materia. De acuerdo con lo argumentado por Markus Schmidt

*it is clear that the last decades have brought a lot of insights into safety issues of Genetically Modified Organisms (GMOs) and this knowledge forms the basis for current risk assessment and biosafety considerations today. When these risk assessment methods were developed, the currently foreseen SB (synthetic biology) approach was probably considered as rather utopic. Therefore we need to ask if the current GMO risk assessment practice is good enough to cover all developments under the label “synthetic biology” in the upcoming years.*⁹⁵

En función de lo argumentado, es posible afirmar que existen criterios epistemológicos que nos permiten asegurar que existen diferencias entre los OGM y los organismos sintéticos. A partir de dichas diferencias es factible afirmar que un amplio campo de las consideraciones bioéticas se puede agrupar en el término “bioseguridad”.⁹⁶ Dicho concepto abarcaría las implicaciones éticas relacionadas con la producción de los organismos sintéticos al interior del laboratorio, así como su liberación al medio ambiente con determinados fines.

El concepto de bioseguridad es un término heredado de la literatura de tradición inglesa. En este sentido, el término español “bioseguridad” traduce el término inglés *biosecurity* y *biosafety*, los cuales en la lengua inglesa tienen una diferencia de significado. En esta tesitura, Antonio Diéguez argumenta que las implicaciones éticas surgidas de la producción de organismos

⁹⁴ PCSBI, *op. Cit.*, p. 4.

⁹⁵ Markus Schmidt, *op. Cit.*, p. 86. [Los paréntesis son míos].

⁹⁶ En este punto hago referencia a la distinción que la lengua inglesa tiene en relación con los aspectos de seguridad. De acuerdo con Markus Schmidt, el término *biosecurity*, engloba los daños que pueden ser previstos o que son esperados en función de una implementación biotecnológica, en cambio, el término *biosafety* engloba aquellas consecuencias no previstas o inesperadas propiciadas por la biotecnología. *Cfr.* Markus Schmidt, “Do I Understand What I Can Create? Biosafety Issues in Synthetic Biology”, en Markus Schmidt *et al*, *op. Cit.*, p. 82.

sintéticos, así como de la liberación de los mismos al medio ambiente pueden dividirse en implicaciones de bioseguridad y de biocaución.

En este sentido, la bioseguridad está enfocada en la generación de normas y marcos regulatorios para evitar un mal uso del conocimiento ingenieril con fines de bioterrorismo o bioerrorismo.⁹⁷ Por su lado, la biocaución está enfocada en la producción de organismos sintéticos lo más controlables posibles a través de la inclusión de rutas metabólicas específicas o de genes suicidas que impidan una evolución autónoma de este tipo de organismos.⁹⁸

De acuerdo con ello, es posible esbozar las implicaciones éticas en los dos niveles que he mencionado anteriormente.⁹⁹ En un sentido deontológico, las interrogantes éticas están dirigidas al encauzamiento de la práctica tecnocientífica, y a la formación de cuadros especializados con sentido de compromiso social. Asimismo, esta reflexión ética nos señala que si bien, las tecnociencias producen herramientas útiles y apreciables en nuestra vida, la solución a los problemas energéticos, ambientales y de biodiversidad no radica en generar o producir más tecnociencia, sino en un cambio en lo que podemos llamar una manera de estar en el mundo, lo cual implica la modificación de nuestras relaciones con el mundo circundante.

En esta línea argumentativa es importante resaltar que no se trata de menospreciar a la tecnociencia, o de culparla por las amenazas globales. De lo que se trata, es de comprender que la solución no radica en generar más implementaciones tecnocientíficas; la ingenierización de la vida

⁹⁷ En este caso, véase J. Craig Venter, *Life at the speed of light. From the Double Helix to Down of Digital Life*, New York, Penguin Books, 2013. En especial los capítulos 3 y 4.

⁹⁸ Vid. Antonio Diéguez, “Biología sintética y bioartefactualidad de lo humano” en Jorge Linares y Elena Arriaga [coords.], *op. Cit.*, p. 304 y 305.

⁹⁹ Propongo esta división tomando como base las tesis de Jorge Riechmann, principalmente desarrolladas en *Un buen encaje en los ecosistemas. Segunda edición (revisada) de Biomimesis*, p. 77 y ss. Donde el autor afirma que el problema no radica no es la existencia de las tecnociencias, sino en la dinámica de su demanda que se encuentra condicionada por al menos 3 factores: la población, el consumo de recursos y el impacto de la tecnología utilizada en el consumo de recursos.

no solucionará la pérdida masiva de especies si no comprendemos que el problema no radica en la falta de tecnociencias:

si hablamos no de problemas locales de contaminación o de mala gestión de recursos naturales, sino de las grandes amenazas ecológicas globales, hay que decir que no se trata tanto de ingeniar soluciones tecnocientíficas, como de volver una despierta mirada analítica sobre lo que hemos hecho y dejado de hacer. Detener el presente ecocidio exigirá ciertamente altas dosis de creatividad social e inventiva humana: pero no tanto para buscar fulminantes avances científicos-técnicos- aunque los seguiremos necesitando y apreciando-, como para transformar nuestros valores y nuestras relaciones sociales. En efecto, *nuestro déficit principal no es de progreso tecnológico, sino de progreso moral y de cambio social.*¹⁰⁰

Es innegable que además de este tipo de implicaciones no son las únicas, y que, en algún sentido, la modificación del estilo de vida se presenta como algo imposible o utópico. Uno de los hechos fundamentales es la existencia de intereses políticos y sobre todo económicos en el desarrollo de este tipo de tecnociencias. En función de este tipo de intereses prácticos es que debe señalarse que las consideraciones éticas de tipo consecuencialista son las que priman en este debate. En este sentido, son el tipo de implicaciones con las que nos las hemos de haber por lo pronto. En términos pragmáticos, toda vez que ya se están llevando a cabo implementaciones que conllevan el uso de la biología sintética, se debe reflexionar sobre sus efectos y los principios éticos que deben regular este tipo de actividades, tanto al interior de los laboratorios como en un sentido jurídico, ya que las aplicaciones de la biología sintética requieren de una distribución de los beneficios obtenidos, pero también de los riesgos generados.

Además del interés epistemológico y ontológico que reviste la temática de si hay o no una definición consensuada por parte de la comunidad científica en relación con la definición de la biología sintética, o de si esta práctica puede ser considerada como continuación de la técnica del ADN recombinante, o como una actividad diferente, es innegable que hay preocupaciones de corte ético-social y legal que deben atenderse, de manera paralela a la que se formulan criterios de

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 72.

demarcación entre los organismos sintéticos y los OGM. La posibilidad de riesgos ambientales, sanitarios y sociales instan a los tomadores de decisiones a tomar en cuenta el contexto en el que se está desarrollando la biología sintética, ya que puede agudizar algunos problemas sociales ya existentes, tales como la desigualdad tanto en el acceso a los recursos naturales como en la distribución de los beneficios y riesgos.

Toda vez que uno de los ámbitos de aplicación de la biología sintética radica en la solución de problemas que han surgido a raíz de un modelo económico insostenible, uno de los cuestionamientos más radicales que involucran a la biología sintética señala que este tipo de prácticas en lugar de replantear las relaciones entre la humanidad y la naturaleza, se inserta en un contexto caracterizado por el choque entre los afanes de crecimiento propiciados por las sociedades industriales y los límites biofísicos del planeta.¹⁰¹

En función de lo anterior, podemos argumentar que, si bien, la biología sintética es una tecnociencia que, por definición, está atravesada por intereses económicos y políticos, es cierto que para el contexto actual nos ofrece alternativas dignas de tomarse en cuenta para la atención de problemas acuciantes. Aunque, en un sentido crítico, este tipo de tecnociencias deben ser consideradas más que como una solución, una herramienta de un aparato político y científico enfocado en la atención de los problemas ambientales que enfrentamos en la era del Antropoceno.

¹⁰¹ *Cfr. Ibidem*, p. 16.

3. EL IMPACTO SOCIAL DE LA BIOLOGÍA SINTÉTICA

El surgimiento del biocapital

En el campo de la biología sintética una de las implicaciones que mayores cuestionamientos propicia es la relativa a la propiedad. El ámbito de la biotecnología está atravesado por múltiples intereses, que pueden ser políticos, de bioseguridad o económicos. De acuerdo con la *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (NAS), la biotecnología ha tenido un enorme desarrollo debido a la confluencia de diversos factores: *increasing investment in the bioeconomy, complex societal challenges, the confluence of new technical drivers, and a proliferation of new actors are transforming both biotechnology products and the context in which the U.S. regulatory system operates.*¹⁰²

Los factores principales a los que se refiere la NAS provienen del mismo conocimiento técnico y los avances que se han dado en investigación científica. En este caso, el flujo de la información y la velocidad de su intercambio han sido un factor clave, así como la apertura y disponibilidad de la misma a través de la Internet. Otro factor relevante es la diversificación del financiamiento y la existencia de pequeñas empresas que se dedican a la industria biotecnológica. De igual manera, las preocupaciones sociales constituyen un elemento importante para el desarrollo de la biotecnología, ya que los problemas relativos a la producción sostenible, cambio climático y pérdida de biodiversidad son considerados como elementos clave en la dirección de las investigaciones y el financiamiento que las mismas reciben.

¹⁰² National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Preparing for Future Products of Biotechnology*, Washington, DC, The National Academies Press. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.17226/24605>. [Consultado el 22 de septiembre de 2019].

En este sentido es posible afirmar que existen una serie de condicionamientos que influyen en el desarrollo tecnocientífico. En términos de análisis académico, estos factores pueden clasificarse como internos y externos. En primer lugar, es factible señalar que los factores externos son de corte económico y social. Se consideran externos toda vez “que no están directamente incluidos en el contenido de una ciencia, pero que supónese que influyen o explican algunos hechos”.¹⁰³ Por el otro lado, es posible identificar factores internos, los cuales son inherentes al desarrollo propio de las ideas de una disciplina científica. En este caso, los factores internos están conformados por las “ideas afines a la ciencia, y atiende a las motivaciones de los investigadores, sus pautas de comunicación y sus líneas de filiación intelectual”.¹⁰⁴

A partir de esta concepción, se puede afirmar que en el desarrollo de la biología sintética es posible ver que ambos condicionamientos han influido en su desarrollo. En primer lugar, la presencia de las condicionantes internas es patente toda vez que miembros de la comunidad de biólogos sintéticos afirman que esta actividad es parte del desarrollo de sus propias ideas acerca del funcionamiento de la naturaleza. En función de ello, la ingeniería biológica no implica novedad alguna, sino que forma parte del *corpus* de las actividades biotecnológicas que se han desarrollado desde la antigüedad.¹⁰⁵

En segundo lugar, los factores económicos y sociales son evidentes. Las externalidades se hacen patentes en el planteamiento de las interrogantes bioéticas que permean a la práctica de la biología sintética. En función de ello, es posible afirmar que algunas de las interrogantes bioéticas emergen desde las externalidades, mientras que otras se nutren de concepciones a priori de ciertos

¹⁰³ Ian Hacking, “La filosofía de la ciencia según Lakatos”, en *Revoluciones científicas*, México, F.C.E., 1985, p. 62.

¹⁰⁴ *Ibidem*.

¹⁰⁵ La argumentación relacionada con la concepción de la biotecnología, así como de los factores que han influido en su desarrollo se encuentra a lo largo del capítulo 1. Uno de los textos que se pueden consultar para comprender la argumentación en torno a la existencia de la biotecnología desde la antigüedad puede encontrarse en Francisco Bolívar Zapata, *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*, México, Academia Mexicana de las Ciencias, 2017.

valores que permean lo vivo. En este sentido, la búsqueda de límites a las actividades de ingeniería genética surge de que esta actividad tecnocientífica trastoca diversas concepciones sociales en torno a la axiología de la vida y de lo que es concebido como natural.

En esta línea argumentativa es importante destacar que la confluencia de estos factores ha propiciado que una serie de consideraciones legales, éticas y económicas se reconfiguren. La velocidad con que se llevan a cabo los desarrollos tecnocientíficos muchas veces muestra una especie de obsolescencia epistemológica. Dicha obsolescencia se hace patente en lo rebasados que se encuentran algunos de los conceptos éticos y jurídicos cuando se intenta abarcar con ellos algunas de las innovaciones tecnocientíficas. En este sentido, podemos afirmar que tanto las instituciones como nuestras capacidades cognitivas se ven rebasadas por la velocidad de innovación tecnocientífica.

En este marco, se puede aseverar que el desarrollo y aplicaciones de la biología sintética plantean una serie de retos que trascienden el ámbito científico. Toda vez que la ingenierización de la vida trastoca una serie de conceptos e instituciones¹⁰⁶, emerge un *corpus* de reflexiones e interrogantes que son muestra de la existencia de un desfase epistémico. Dicho desfase puede ser descrito *grosso modo* como una especie de choque entre la concepción tradicional o coloquial, incluso religiosa, de lo que significa la vida, y la comprensión de esta desde el ámbito científico y la influencia que estas concepciones tienen en el ámbito jurídico.

Una muestra de ello es que la biología sintética representa un reto para las instituciones internacionales. En este sentido, instituciones como la Organización de las Naciones Unidas

¹⁰⁶ A lo largo de este capítulo utilizo el término “institución” de dos maneras dada la polisemia del término *institution* utilizado en la literatura *ad hoc*. En este sentido, el término institución comprende por un lado las entidades que cumplen con una función social, como las instituciones educativas o las instituciones de sanidad. En segundo lugar, el término institución es comprendido en su acepción de ley o práctica legal establecida. De esta manera, al afirmar que los productos de la biotecnología trastocan las instituciones, a lo que hago referencia es que la práctica de la biología sintética trastoca conceptos jurídicos y/o entidades que cumplen con una función social.

(ONU) a través de la Conferencia de las Partes (COP), ha dedicado reuniones con el fin de debatir en torno al *status* de esta biotecnología. En primer lugar, podemos mencionar que en uno de sus documentos señala que, si bien no hay una definición que sea aceptada por la comunidad científica sobre la biología sintética, es necesario partir de una definición operativa que haga viable la evaluación de los retos sociales que emergen con esta biotecnología. De esta manera, la COP parte de la siguiente definición:

‘la biología sintética representa un nuevo avance y una nueva dimensión de la biotecnología moderna que combina la ciencia, la tecnología y la ingeniería para facilitar y acelerar la comprensión, el diseño, el rediseño, la fabricación y la modificación de materiales genéticos, organismos vivos y sistemas biológicos’, y *considera* que esa definición es útil como punto de partida a los efectos de facilitar las deliberaciones científicas y técnicas en el marco del Convenio y sus Protocolos.¹⁰⁷

La importancia de adoptar una definición operativa radica en la urgencia de evaluar el impacto del desarrollo de la biología sintética. La definición permite al análisis crear un lenguaje común en torno a las posibles diferencias radicadas entre un organismo sintético y un organismo genéticamente modificado (OGM). En este punto, es relevante mencionar que los informes de la COP dejan abierto el debate en torno a los criterios de demarcación sobre los OGM y los productos de la biología sintética. A partir de ello, las conclusiones a las que se lleguen son de vital importancia tanto para la comunidad científica como para la sociedad, ya que si se concluye en este ámbito que hay una diferencia sustancial entre los OGM y los organismos sintéticos, ello llevaría a la elaboración de un marco regulatorio *ad hoc* con la naturaleza de los productos de la biología sintética.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, XIII/17, Biología sintética, 16 de diciembre de 2016. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-17-es.doc> [Consultado el 29 de septiembre de 2019].

¹⁰⁸ Vid. *Idem*, Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, 14/19, Biología sintética, 30 de noviembre de 2018, p. 4. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-19-es.pdf> [Consultado el 29 de septiembre de 2019].

Otro de los puntos neurales de la evaluación de los productos de la biología sintética radica en la distribución de los beneficios que se obtengan a partir del uso, principalmente comercial, de los recursos genómicos. En la decisión 14/19 de la COP, relativa a la biología sintética, se reconoce que: los adelantos que surgen de la investigación y el desarrollo en la esfera de la biología sintética pueden plantear dificultades en cuanto a la capacidad de algunos países, especialmente los países en desarrollo, en particular aquellos con experiencia o recursos limitados, para evaluar toda la gama de aplicaciones y posibles efectos de la biología sintética en los tres objetivos del Convenio.¹⁰⁹

Los tres objetivos a los que se refiere la decisión en comento son los que se encuentran estipulados en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, a saber: “la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos”.¹¹⁰

La preocupación del CDB reflejada en las citadas decisiones es muestra de que la biología sintética trastoca una serie de conceptos que regulan el marco jurídico de los desarrollos biotecnológicos. En esta tesitura, es posible afirmar que el desarrollo de los organismos sintéticos, además de propiciar debates en torno a la bioseguridad, desencadena una discusión álgida que apunta a la vertiente económica de la biotecnología. En este marco, uno de los conceptos que se ven involucrados en relación con el cumplimiento de los objetivos del CDB es el de la propiedad.

Retomando la argumentación de Jeremy Rifkin, es viable afirmar que la biología sintética es parte de la llamada revolución biotecnológica. Dicha revolución se caracteriza por la unión entre la ingeniería, la computación y la biología. Esta convergencia interdisciplinaria propicia cambios

¹⁰⁹ *Ibidem*, p. 1.

¹¹⁰ Organización de las Naciones Unidas, *Convenio sobre la diversidad Biológica*, Artículo 1, Naciones Unidas, 1992. Disponible en <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> [Consultado el 29 de septiembre de 2019].

no sólo en la en la metodología de la investigación científica, o en la configuración de la vida genética a través de la modificación de organismos, sino que también conlleva una reestructuración de la vida social que se da a través de la modificación de la comprensión de la vida y de las instituciones que cohesionan el tejido social. Un fenómeno claro es el de la mercantilización de organismos y/o partes de estos a través de la modificación y apropiación del genoma.¹¹¹

En este sentido Kaushik Sunder argumenta que la tecnociencia ha propiciado una especie de mercantilización del genoma. A partir de ello, el genoma es visto como un recurso que adquiere un valor en función de la velocidad con que la biotecnología implementa sus aplicaciones. Para el autor hindú, la velocidad con la que se lleva a cabo el desarrollo e investigación en las ciencias de la vida es una característica medular, ya que una gran parte del valor económico que adquieren las implementaciones tecnocientíficas se deben al breve tiempo con que son desarrolladas, lo cual permite el flujo e intercambio de información y mercancía genómica.¹¹²

Siguiendo esta línea argumentativa, la velocidad con que se desarrollan las implementaciones biotecnocientíficas ha propiciado el surgimiento de otra modalidad del capitalismo llamada biocapital. Para Kaushik Sunder, el desarrollo de las técnicas de manipulación genética introdujo a la lógica del mercado un nuevo de tipo de mercancía; el genoma. De esta manera, el biocapital se constituye como la expresión actual del capitalismo, que ahora se encuentra conformado por una nueva especie de mercancías y bienes.¹¹³

En palabras de Sunder, el biocapital:

like any other form of circulation of capital, involves the circulation and exchange of money and commodities, whose analysis needs to remain central and at the forefront of analysis. But in addition, the

¹¹¹ Vid. Jeremy Rifkin, *The Biotech century: harnessing the gene and remaking the world*, p. 1 y ss.

¹¹² Vid. Kaushik Sunder Rajan, *Biocapital. The Constitution of Postgenomic Life*, E.U.A, Duke University Press, p. 43 y ss.

¹¹³ Jorge Linares, "The Promises of Synthetic Biology: New Bioartefacts and Their Ethical and Societal Consequences, en Belén Laspra y José Antonio Cerezo [eds.], *Spanish Philosophy of Technology. Contemporary Work from the Spanish Speaking Community*, p. 191.

*circulations of new and particular forms of currency, such as biological material and information, emerge. One of the things that genomics fundamentally enables is a particular type of materialization of information, and its decoupling from its material biological source (such as tissue or cell line)*¹¹⁴

La inclusión del genoma como nueva mercancía es el punto que propicia la problematización en torno a la privatización de este tipo de recursos. El descubrimiento de la estructura del ADN recombinante además de tener impacto en la forma de practicar la biología propició un cambio en la manera en la que se comprende lo vivo. Específicamente, en la manera en que se comprende al gen, pues, además de su concepción biológica, se concibió como un recurso, *i.e.*, como un elemento susceptible de ser utilizado para producir un bien, principalmente económico.

En este sentido, la circulación de este nuevo tipo de mercancía y la amplitud de campos donde se puede utilizar, han ocasionado que emerja una especie de biomercado con alto plusvalor. El caso de la biología sintética comprende un claro ejemplo de la rapidez con la que los productos biotecnológicos pueden ampliar su valor en el mercado. De acuerdo con datos del *BCC Research*, el mercado global de los productos de biología sintética mostrará un crecimiento importante en el periodo comprendido de 2017 a 2022. Se estima que este mercado logrará triplicar su valor, ya que de tener un valor cercano a los 4.5 mil millones de dólares en 2017, los productos de la biología sintética serán valuados en 13 mil millones de dólares en 2022.¹¹⁵

Siguiendo la argumentación de Kaushik Sunder, la valuación de los productos biondustriales se debe principalmente a tres factores: los primeros están relacionados con la economía, y se refieren al valor de uso y al de cambio. No obstante, existe una valoración externa a la económica. En este sentido, se estima que una vertiente axiológica que rodea los productos de

¹¹⁴ Kaushik Sunder Rajan, *op. Cit.*, p. 17.

¹¹⁵ Vid. John Bergin, *Synthetic Biology: Global Markets*. Disponible en: <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-global-markets.html> [Consultado el 9 de septiembre de 2019].

la biología sintética proveniente de la ética. De esta manera, se puede afirmar que los bioartefactos cuentan con una axiología ambivalente; por un lado, su valor tiene un fundamento económico, por el otro, su valor está enraizado en cuestiones de corte ético. En palabras del pensador Hindú,

*the circulation of capital is intimately tied to questions of value. Value is one of those nice double-jointed words that always already imply two different things. On the one hand, "value" implies the market value that gets realized through processes of exchange. On the other, it implies the nonmarket values that might be called, in shorthand that has led to the term's own black-boxing as it has been used by members of the life science community, ethics.*¹¹⁶

Asimismo, es posible afirmar que las implementaciones de la biología sintética tienen un amplio valor económico y, en cierto grado ético, debido a que pueden aplicarse para solucionar, o al menos tratar de hacerlo, la mayoría de las problemáticas comprendidas por el Antropoceno. En el sentido económico, una muestra de la valoración de la biología sintética radica en el crecimiento que este mercado tendrá, el cual, prácticamente se triplicará en un lapso de 5 años. En el sentido ético, las interrogantes sobre la legitimidad de apropiación sobre secuencias genómicas y la manera en que se distribuyen las ganancias económicas y los efectos colaterales son muestra de la ambivalencia de esta tecnociencia.

El rápido crecimiento económico de la biología sintética se debe a que promete posicionarse en ámbitos clave del desarrollo de las naciones, *viz*, el medio ambiente y salud. En este sentido la *BCC Research* considera que esta tecnociencia florecerá en ámbitos como: “*DNA sequencing, DNA synthesis, gene editing, synthetic biology foundries, software, and the following enabled products sectors: agriculture, consumer products, cosmetics/skin care, food and beverages, healthcare, and industrial chemicals.*”¹¹⁷ Pero son justo las aplicaciones en estos ámbitos las que propician el conflicto entre las valoraciones éticas y las económicas, ya que

¹¹⁶ Kaushik Sunder, *op. Cit.*, p. 41.

¹¹⁷ John Bergin, *op. Cit.*, p. 3.

ámbitos como la salud o la agricultura son claves para el bienestar de la población de cualquier país.

Asimismo, es posible sostener que el surgimiento del llamado biocapital ha propiciado el surgimiento de una corriente científico-filosófica paralela a la biología sintética, denominada *Transhumanismo*. Es posible afirmar que el Transhumanismo ha surgido, o resurgido según se le quiera ver¹¹⁸, como un movimiento que aboga por el uso de las biotecnologías con el fin de mejorar las características del ser humano a través de la intervención ingenieril del genoma humano o del genoma de los ecosistemas que le rodean.

Si por un lado, el Antropoceno es el concepto que se ha acuñado para señalar la responsabilidad que el ser humano tiene sobre lo que podemos denominar la triple crisis del siglo XXI¹¹⁹, el Transhumanismo, *grosso modo*, aboga por hacer uso de la ingeniería genética con el objetivo de corregir algunos defectos en la constitución humana y en el medio ambiente. El Transhumanismo es un concepto que aún no cuenta con una definición consensuada, sin embargo, considero que es importante traerlo a colación, ya que las diversas vertientes que caracterizan, señalan que cuenta con ciertas similitudes al Antropoceno.

De acuerdo con Antonio Diéguez, hay distintas corrientes de transhumanismo. En este sentido, es posible identificar dos variantes de este movimiento; por un lado, el transhumanismo cultural, o posthumanismo, que toma sus bases de la filosofía de Foucault, Derrida y Deleuze, cuyas principales exponentes son Donna Haraway y Rosi Braidotti. Por otro lado, se encuentra el

¹¹⁸ Autores como Peter Sloterdijk afirman que el transhumanismo es una nueva manera de llamar a las técnicas de control y dominio que han existido sobre las poblaciones. En este sentido, para el filósofo alemán el Transhumanismo entendido como un movimiento que pretende la mejora del entorno y del ser humano no constituye una novedad, sino que es una continuación de las técnicas de control poblacional que Foucault ya había descrito. *Vid.* Peter Sloterdijk, *Normas para el parque humano, Una respuesta a la Carta sobre el humanismo de Heidegger*, Madrid, Siruela, 2006.

¹¹⁹ Jeremy Rifkin, *op. Cit.*, p. 8.

transhumanismo tecnocientífico, que defiende que las técnicas de manipulación genómica como biología sintética o CRISPR-Cas9 deben enfocarse en el mejoramiento de las características del ser humano y de los ecosistemas.¹²⁰

En la primera acepción del Transhumanismo, y de acuerdo con la tesis de Braidotti, vivimos en una era posthumana. En este sentido, lo posthumano es el concepto con el cual podemos describir la época en que vivimos. De esta manera, el posthumanismo más que describir un proyecto tecnocientífico es el concepto que describe la bioeconomía que ha surgido durante los últimos años gracias al desarrollo de la ingeniería genómica, así como los procesos de interconexión planetaria que permiten la comunicación e intercambio de información a la velocidad de la luz gracias a la Internet. Así, lo posthumano caracteriza nuestra época como el tiempo en que se ha mercantilizado el genoma, no sólo animal y vegetal, sino también el humano, convirtiéndose así en el principal activo del capitalismo.¹²¹

Por el lado del Transhumanismo de corte científicista, autores como Gilbert Hottois y Allan Buchanan, argumentan que dicho movimiento está relacionado directamente con el ámbito médico.¹²² A grandes rasgos, esta vertiente defiende la tesis de que las técnicas de edición y manipulación genómica deben estar a disposición de los seres humanos no sólo para el tratamiento de enfermedades, sino también para llevar a cabo la amplificación (*enhancement*) de sus

¹²⁰ Vid. Antonio Diéguez, *Transhumanismo. La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*, p. 42 y ss.

¹²¹ Cfr. Rosi Braidotti, *Lo posthumano*, México, Gedisa, p. 18-19.

¹²² En este caso, pueden considerarse las tesis expuestas por Gilbert Hottois en su libro *¿El transhumanismo es un humanismo?*, en el que defiende que el transhumanismo describe nuestra situación actual, por lo cual, el concepto posthumano describe la realidad a la que llegaremos gracias a los avances en materia de biotecnología.

En el caso de Allen Buchanan, es posible leer los textos *From chances to choice: genetics and justice*, y *Beyond humanity: The ethics of biomedical enhancement*. Obras en las que el autor defiende que es completamente ético poner a disposición de los seres humanos las técnicas de manipulación genética, ya que cada quien tiene del derecho de decidir cómo quiere ser, y la construcción de uno mismo pasa por la elección de las características condicionadas por el genoma.

capacidades, ya sea a través de la manipulación del genoma humano, y/o de las variedades vegetales y animales que le rodean.

Es importante destacar que el proyecto Transhumanista es viable gracias a los avances biotecnológicos. En este sentido, la biología sintética juega un papel primordial en la realización de dicho proyecto, debido a que hace viable desarrollar un proyecto cuyo núcleo es el diseño de seres humanos con capacidades amplificadas, que en el fondo, puede ser visto como un proyecto de volver a generar a la especie humana. Asimismo, una gran parte de las consideraciones éticas y sociales que rodean a la biología sintética pueden observarse en el proyecto transhumanista. Un ejemplo de ello puede ser el ámbito de la modificación de la comprensión de lo vivo a partir de la intervención ingenieril en el genoma, así como el problema del acceso a los beneficios de esta aplicación tecnocientífica, y de la distribución de sus riesgos.

En función de lo anterior, es viable sostener que el Transhumanismo puede fungir como un concepto que engloba una descripción de la manera en que las relaciones con la naturaleza, con nosotros mismos y con la sociedad han mutado debido a las implementaciones biotecnológicas, como la biología sintética. De ello, es importante destacar que una posible consecuencia puede verse más allá del ámbito científico, ya que puede manifestarse en un cambio en las instituciones tradicionales, que, al verse trastocadas o rebasadas por el fenómeno tecnocientífico que caracteriza al transhumanismo, tendrían que adaptarse a los retos que plantea un proyecto de este calibre.¹²³

Es importante resaltar que en el proyecto transhumanista las potenciales aplicaciones médicas que se abren a partir de los desarrollos sintéticos son el núcleo del debate ético. No

¹²³ En este sentido, Jeremy Rifkin en *The Biotech Century*, afirma que la revolución biotecnológica traería consigo la necesidad de pensar nuevamente en conceptos tan básicos como la reproducción, la salud, la muerte y al propiedad, ya que debido a las implementaciones tecnocientíficas, dichos conceptos devendrán obsoletos, por lo cual, las instituciones encargadas de su regulación, como los hospitales, tendrían que reestructurarse conforme nuevas prácticas tecnocientíficas surjan y afecten sus prácticas.

obstante, un punto en común entre el Antropoceno y el Transhumanismo radica en las implicaciones sociales y políticas que la aplicación de biotecnologías, como la biología sintética, pueden desencadenar en diversos ámbitos.

El Transhumanismo, al igual que el Antropoceno, son conceptos a través de los cuales se pretende describir la complejidad de un conjunto de proyectos que han surgido a la luz de los desarrollos tecnocientíficos más recientes, principalmente relacionados con los usos y consecuencias de la manipulación del genoma. Por el lado del Antropoceno, la ingeniería biológica es vista como una herramienta con la cual se puede hacer frente a la crisis energética, ambiental y de biodiversidad patente. Por el lado del Transhumanismo, la biología sintética es vista como una herramienta que posibilita la mejoraría de algunas de las capacidades humanas o solucionar algunos padecimientos de salud. Si bien, hay una serie de diferencias entre los fenómenos que ambos conceptos engloban, ambos términos pueden ser analizados en la convergencia que muestran en torno a las interrogantes e implicaciones económicas y sociales que están relacionadas con el desarrollo y aplicación de biotecnologías de frontera, como es el caso de la biología sintética.

El surgimiento de la propiedad intangible

El citado estudio de la *BCC Research* afirma que países como Canadá, Estados Unidos, México, Alemania, España, India y Brasil, son fundamentales para el desarrollo del mercado de la biología sintética.¹²⁴ En este sentido, es importante resaltar que países que son considerados como megadiversos por poseer una gran riqueza genómica como el nuestro o Brasil y otros altamente

¹²⁴ *Ibidem*, p. 4-5.

desarrollados en materia tecnocientífica como E.U.A y Alemania se encuentren estipulados como naciones clave en el desarrollo de la industria de la biología sintética.

Dicha estimación puede ser leída a la luz de las preocupaciones de la CDB. La distribución equitativa de los beneficios económicos se ve comprometida por la biología sintética. Por un lado, los países considerados como megadiversos no cuentan con el desarrollo tecnocientífico necesario para desarrollar implementaciones biotecnológicas. Por otro lado, los países de primer mundo como Alemania o EUA, si bien, no cuentan con una diversidad genómica abundante, sí poseen las condiciones materiales y económicas para desarrollar un mercado bioindustrial.

Una de las principales preocupaciones relacionadas con el valor económico de la biología sintética se encuentra en que el desarrollo de esta biotecnología puede contribuir a acrecentar las brechas de desigualdad existentes entre los países desarrollados y los que se encuentran en vías de desarrollo. Considero que el ámbito de la distribución equitativa de los beneficios del uso de recursos económicos puede leerse a la luz del papel que juega la propiedad a través de la figura de la patente.

De acuerdo con datos de la NAS¹²⁵, si bien la mayoría de los productos de la biología sintética aún se encuentran en fase de investigación, existen antecedentes acerca de que la patentabilidad de los recursos genéticos desencadena ciertas interrogantes en relación con los beneficios que genera para la sociedad que el Estado conceda una patente sobre una secuencia genómica o un organismo. Las preocupaciones en torno al impacto social de la mercantilización del genoma parten de la evidencia que se tiene a partir de la comercialización de los OGM en ámbitos como la agricultura y medicina.

¹²⁵ De acuerdo con los datos que la NAS presenta en su informe *Preparing for Future Products of Biotechnology*, la mayoría de los productos elaborados a partir de organismos sintéticos obtenidos a través de la biología sintética, como biosensores, se encuentran en una etapa muy temprana de investigación, o en desarrollo. Véase el mencionado reporte, las tablas S-2 y 2-4, p. 5 y 54.

Uno de los puntos nodales a debatir en torno a este tipo de preocupaciones radica en la comprensión de la figura de la patente. En este ámbito es necesario tener en cuenta lo que la Organización Mundial de la Propiedad (OMPI), define como patente:

un derecho exclusivo que se concede sobre una invención. En términos generales, una patente faculta a su titular a decidir si la invención puede ser utilizada por terceros y, en ese caso, de qué forma. Como contrapartida de ese derecho, en el documento de patente publicado, el titular de la patente pone a disposición del público la información técnica relativa a la invención [...] En principio, el titular de la patente goza del derecho exclusivo a impedir que la invención patentada sea explotada comercialmente por terceros. La protección por patente significa que una invención no se puede producir, usar, distribuir con fines comerciales, ni tampoco vender, sin que medie el consentimiento del titular de la patente.¹²⁶

En este sentido, una patente es un derecho de propiedad. Obtener una patente significa conseguir la apropiación legal sobre algo que se ha inventado y cuyo uso puede reportar un beneficio económico. Un punto que es relevante mencionar es que en la definición que ofrece la OMPI uno de los puntos clave que han caracterizado a las patentes, es el término “invención”.

En esta tesitura, el filósofo hindú Kshitij Kumar Singh señala que la biotecnología ha trastocado el concepto clásico de propiedad. De acuerdo con su argumentación, las implementaciones biotecnológicas han desatado un debate en torno al significado de “invención” y si bajo este concepto puede considerarse que un gen o una secuencia genómica entra en el ámbito de lo patentable:

*the traditional patent doctrines: patentable subject matter, novelty, non-obviousness (inventive step), utility (industrial applicability) and written description struggle while dealing with biotechnology inventions, especially genetic inventions. Human genes have become one of the most controversial subject matters of patent law because of its diverse nature. Since a gene comprises a number of elements, therefore, it is possible that a number of patents could be granted in relation to one gene. For instance, in relation to a particular gene, patents could be sought for the full sequence of a gene, an expressed sequence tag (EST), a single nucleotide polymorphism (SNP) or other variations of the gene. A gene has numerous uses as it can be a medically valuable product; an upstream research tool and vital information about the molecular basis of a disease.*¹²⁷

¹²⁶Organización Mundial de la Propiedad, “Patentes”, en OMPI, *Sitio Oficial*: <https://www.wipo.int/patents/es/> [Consultado el 1 de octubre de 2019]

¹²⁷ Kshitij Kumar Singh, *Biotechnology and Intellectual Property Rights. Legal and Social Implications*, India, Springer, 2015, p. 2

El problema principal radica en que la definición clásica de patente parece estar rebasada por los avances en materia de biotecnología. En este marco, el debate recae en el sentido epistemológico de la invención, ya que lo que se entienda por el verbo “inventar” tiene impacto directo en la concesión de la patente. Una de las interrogantes más fuertes surge a partir de la interpretación que se ha hecho del significado de la invención, ya que, para fines jurídicos, la identificación y/o aislamiento de un gen se encuentra dentro del ámbito de la invención. El pensador hindú en comento afirma que: “*one of the common objections against the gene patents is that genes are naturally occurring entities that are there to be discovered but not invented. In the context of gene patents, the line between discovery and invention is very thin and sometimes even discoveries are patentable through a broad interpretation of patent laws*”.¹²⁸

En esta tesitura, Jeremy Rifkin ha sido uno de los científicos sociales que también han argumentado en torno al impacto social de los avances biotecnológicos. En su obra *The Biotech Century*, ha señalado que la revolución biotecnológica propiciaría cambios sustanciales en las instituciones sociales, los cuales favorecería una dinámica que a la larga terminaría siendo poco favorable para la sociedad.

A través de su argumentación, Rifkin defiende que el auge de la biotecnología radica en la utilidad que reportan sus implementaciones, tanto en términos económicos como sociales. En este sentido, señala que el surgimiento de la biotecnología y sus desarrollos se han enfocado en la solución de lo que denomina la triple crisis del siglo XXI, a saber: “*a dwindling of the Earth’s*

¹²⁸ *Ibidem.*

nonrenewable energy reserves, a dangerous buildup of global-warming gases, and a steady decline in biological diversity”.¹²⁹

Si bien, los argumentos de Rifkin datan de hace veinte años, los avances en biotecnología y la tendencia de las últimas dos décadas, muestran que sus argumentos tienen vigencia en la actualidad. Uno de los problemas que el autor norteamericano señala es que los desarrollos biotecnológicos trasladarían el fenómeno de la apropiación (*enclosure*¹³⁰) de un ámbito tangible, como lo es el de la apropiación de una porción de tierra, a un ámbito intangible; el del genoma. De acuerdo con el autor, este fenómeno propiciaría una especie de clausura o de restricción del acceso a las reservas genéticas (*gene pool*) debido a la rentabilidad económica que reportaría la concesión de patentes a un particular y su posterior explotación comercial.¹³¹

La concesión de los derechos de propiedad en torno a los recursos genómicos ha estado rodeada de polémica y serios cuestionamientos éticos. Las interrogantes surgen en torno a la legitimidad de obtener una patente en torno a un genoma que, según sus fines, puede obtenerse de una muestra de ADN humano o de la flora y/o fauna de los ecosistemas, que podrían considerarse como bienes comunes. En este sentido, es importante señalar que las primeras patentes en relación con el genoma, fueron otorgadas hace casi 40 años, en los Estados Unidos.

El caso de Ananda Chakrabarty es el primero en el que una corte de justicia decide conceder una patente a un particular sobre una entidad viva modificada a través de la biotecnología.¹³² El

¹²⁹ *Ibidem*, p. 8.

¹³⁰ Con el término *enclosure* el autor hace referencia al fenómeno de la apropiación surgido en la Inglaterra del siglo XVI. Agrandes rasgos, el *enclosure* consistía en clausurar un espacio por medio de un cercado para impedir el libre tránsito de personas y animales en dicha porción de terreno. Retomando las palabras de Gilbert Slater, Rifkin señala que el *enclosure* consistía en “*surrounding a piece of land with edges, ditches or other barriers to the free passage of men and animals*”. Jeremy Rifkin, *op. Cit.*, p. 39.

¹³¹ *Vid.* Jeremy Rifkin, *op. Cit.*, Cap. 3. “Patenting Life”, p. 37-66.

¹³² Si bien, el caso de Ananda Chakrabarty es un ejemplo común en la literatura relacionada con el tema, la información presentada la he obtenido del citado texto de Rifkin y de, Daniel J. Kevles, “Ananda Chakrabarty Wins a Patent:

bioquímico presentó una bacteria que había modificado con el fin de que ésta pudiese alimentarse del petróleo. La utilidad de dicho bioartefacto radicaría en que podría ser de ayuda en la limpieza de derrames de petróleo en el océano. La patente le fue concedida en 1980, después de 9 años de intenso debate en torno a la patentabilidad del organismo vivo y si este se encontraba en los alcances de protección de la ley de patentes de los EUA.

El debate abarcó cuestiones relacionadas con el valor de la vida, y el *status* jurídico del microorganismo a patentar. Se argumentó que la patente se concedía debido a que un organismo con dichas características no se encontraba en la naturaleza, *i.e.*, que en los ecosistemas no se hayan bacterias capaces de alimentarse de petróleo, razón por la cual se consideraba un producto del ingenio humano. Dicha decisión propició que pasara a segundo término el debate en torno a si resulta importante el hecho de que se trate de un organismo vivo el objeto que se pretende patentar.

En relación con este caso, es importante resaltar que la patente se le concedió a Chakrabarty con una deliberación muy apretada. El debate en la Corte Suprema de los EUA terminó con una votación de 5 votos a favor de conceder la patente en contra de 4 jueces que se oponían. Podemos interpretar, no sin riesgo alguno, que detrás de esta decisión hay serias consideraciones en torno al valor ético que tiene la vida allende el valor utilitario que pueda concedércerle.

Uno de los puntos importantes que hay que señalar de este caso, es que la decisión de la corte refleja la manera en que la biotecnología transforma la comprensión de lo vivo y de las instituciones jurídicas. En este sentido, es importante resaltar que la decisión de patentar la bacteria presentada por Chakrabarty reside en que, para fines jurídicos y económicos, la vida no cuenta con un valor sagrado. Por ende, su mercantilización es posible, toda vez que la vida es concebida como

Biotechnology, law, and Society, 1972-1980”, en *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 25, No. 1 (1994), pp.111-135. Disponible en: https://www.jstor.org/stable/27757736?seq=1&cid=pdf-reference#ie.references_tab_contents [Consultado el 1 de octubre de 2019].

un arreglo molecular de diversos elementos químicos: “*that to permit patents on life was to imply that 'life has no 'vital' or sacred property, ' that it was only an arrangement of chemicals, or mere 'compositions of matter.'*”.¹³³

La deliberación llevada a cabo por la Corte sobre este caso pone de relieve los límites de la concepción tradicional de innovación y propiedad en relación con los avances tecnocientíficos. Asimismo, propicia un debate en torno a los criterios de demarcación que nos permiten distinguir lo que es un producto innovador, no obvio y útil, así como el concepto mismo de la vida cuando se trata de patentar organismos intervenidos en un laboratorio con fines comerciales.¹³⁴

Si bien, hay muchos más casos¹³⁵ en torno a la patentabilidad de la vida, el caso tomado de ejemplo nos es útil por ser el primero en el cual un particular obtiene una patente, lo cual hace viable desarrollar una serie de reflexiones que den cuenta de los intereses que han rodeado el desarrollo de la biotecnología. Como señala Daniel Kevles, la adjudicación de la patente a Chakrabarty fue un caso que, además de encerrar una serie de consideraciones técnicas propias del derecho, constituye una muestra de la manera en que convergen intereses y presiones económicas en los desarrollos tecnocientíficos:

*however, the development of patent law for living organisms has turned on more than purely technical legal considerations. Like other areas of law, the patenting of life has also been shaped by the play of economic interests operating in tandem with changes in science and technology. From the turn of the century, plant breeders increasingly argued for patent protection of their products.*¹³⁶

¹³³ Daniel J. Kevles, *op. Cit.*, p. 119.

¹³⁴ *Cfr.* Jeremy Rifkin, *op. Cit.*, Cap. 2.

¹³⁵ Para el análisis de otros casos, pueden verse Kaushik Sunder Rajan, *Biocapital. The Constitution of Postgenomic Life*, y Kshitij Kumar Singh, *Biotechnology and Intellectual Property Rights. Legal and Social Implications*. En los que los autores analizan los caso del Oncomouse y el caso Myriad, los cuales son referentes para las implicaciones que en el ámbito de la salud tiene la biotecnología. El caso Myriad constituye un paradigma en relación con la apropiación indebida de una secuencia genómica obtenida a partir del tejido corporal de una persona que ha generado una ganancia económica enorme a una compañía farmacéutica que utilizó la muestra para desarrollar técnicas de diagnóstico para el cáncer de mama y ovario.

¹³⁶ Daniel J. Kevles, *op. Cit.*, p. 112.

En esta línea argumentativa, es posible afirmar que el fallo de la Corte se da en un contexto de presiones políticas y económicas en las que se especulaba sobre el futuro de la ciencia y tecnología estadounidense a la luz del surgimiento de las políticas Neoliberales. Así lo afirma Melinda Cooper: *the contemporary biotech industry was born in context of intense speculation about the future of U.S. science and technology. After acting as the motor of international economic growth in the decades following World War II, the United States was traversing a period of decline, whose effects on world economic relations had yet to become clear.*¹³⁷

En esta tesitura, la autora en comentario sostiene que en los EUA se llevaron a cabo una serie de medidas legales dirigidas a fomentar el desarrollo de las ciencias de la vida. De esta manera, es posible argumentar que la concesión de patentes sobre organismos modificados a través de la ingeniería genética forma parte del *corpus* político que se desarrolló en los EUA con el fin de evitar que su economía padeciera una nueva crisis, principalmente energética.¹³⁸

De acuerdo con los argumentos de Melinda Cooper, es factible deducir que las ciencias de la vida emergieron a la par que las políticas neoliberales. En esta línea argumentativa es posible señalar que el objetivo con el que surgieron y se fomentaron este tipo de prácticas científicas fue el de disminuir los tiempos de producción y, de alguna manera, superar los límites de la Tierra para obtener una mayor producción de recursos, más que por una genuina preocupación ética por los límites de crecimiento de los recursos planetarios.¹³⁹

Siguiendo la argumentación de la autora, el capitalismo natural es resultado de la ingeniería genómica. Así, es posible afirmar que la biotecnología impulsó el surgimiento del biocapital. En este sentido, el objetivo fue la comprensión de los procesos de crecimiento de los

¹³⁷ Melinda Cooper, *Life a surplus. Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*, Washington, University of Washington Press, 2008, p. 15.

¹³⁸ *Ibidem*, p. 19 y ss.

¹³⁹ *Ibidem*, p. 23.

organismos vivos para poder llevarlos a cabo a una mayor velocidad y poder imitarlos en los procesos de producción. De esta manera, se ha iniciado una especie de bioeconomía, la cual parte de la concepción de la existencia del medio ambiente como una especie de capital.

Así, las técnicas de ingeniería genómica, más allá de permitir la comprensión y la manipulación del genoma, abren las puertas para concebir el genoma como una mercancía más que puede ser reproducida en los laboratorios a través de la ingenierización de la vida. En esta tesitura es que se da el surgimiento de los OGM como respuesta a la necesidad de mejorar los procesos de producción agroalimentaria.

El problema de la patentabilidad de la vida

Es posible argumentar que el sistema de patentes ha permitido el desarrollo de la biotecnología. En este sentido, conceder una patente implica fomentar el desarrollo de la investigación a través de la posibilidad de obtener beneficios económicos. Si bien, el sistema de patentes ha demostrado a lo largo de los años que constituye un estímulo importante para que se lleven a cabo investigaciones con fines innovadores, también es posible argumentar que la privatización (*enclosure*) ha acrecentado las brechas de desigualdad social en materia de acceso a los recursos genómicos (*gene pool*).

En relación con este tema, es posible resaltar que la patentabilidad de la vida conlleva una especie de ambivalencia que puede agudizarse en la práctica de la biología sintética. La disyunción reside en que el sistema de patentes puede fomentar o desincentivar la innovación, debido a que la adjudicación de los derechos de propiedad sobre material vivo o partes genómicas paradójicamente puede mermar el proceso de innovación. En la práctica de la biología sintética, al tener que utilizar partes o genomas elaborados con anterioridad, es posible que los mismos se encuentren patentados,

razón por la cual el proceso de ensamblaje y diseño de un nuevo organismo devendría poco rentable para los mismos innovadores, toda vez que tendrían que cubrir el costo de los derechos de propiedad.¹⁴⁰

En este sentido, el sistema de patentes propiciaría una especie de subdesarrollo de la biotecnología, por ende, un subuso (*misuse*) de los recursos naturales. Hay diversos fenómenos que se desencadenarían debido al sistema de concesión de patentes, se estima que algunos de ellos llegarían a resultar perjudiciales tanto para la comunidad científica como para la sociedad. En el ámbito de la comunidad científica, las actividades pueden verse afectadas debido a tres fenómenos que la concesión de las patentes ocasionaría, a saber: “*multiple numbers of patents on a single gene create problems of anticommons, patent thickets and royalty stacking*”.¹⁴¹

Una de las razones para que el Estado pueda conceder las patentes radica en la necesidad de invertir grandes cantidades de dinero en todo el proceso de investigación. En este sentido, el sistema de patentes ha resultado útil para fomentar la inversión de alto riesgo. No obstante, la existencia de tantas patentes puede propiciar el surgimiento de una maraña de las mismas, a tal grado que ralentice la innovación.

Por el lado de las afectaciones sociales, el sistema de las patentes además de propiciar el acrecentamiento en las brechas de desigualdad y acceso a los recursos genómicos también puede propiciar el fenómeno de la biopiratería. *Grosso modo*, la biopiratería es un fenómeno que sucede cuando en el ámbito de la innovación y desarrollo de la biotecnología las empresas y/o universidades se aprovechan del uso de los conocimientos de las comunidades originarias para

¹⁴⁰ Vid. Kenneth A. Oye and Rachel Wellhausen, “The Intellectual Commons and Property in Synthetic Biology”, en Markus Schmidt [coord.], *Synthetic biology. The technoscience and its societal consequences*, p. 122.

¹⁴¹ Kshitij Kumar Singh, *op. Cit.*, p. 4.

desarrollar productos biotecnológicos sin retribuir nada a las comunidades que aportan sus conocimientos. En este sentido, el ETC Group señala que la biopiratería

*refers to the appropriation of the knowledge and genetic resources of farming and indigenous communities by individuals or institutions that seek exclusive monopoly control (patents or intellectual property) over these resources and knowledge. ETC Group believes that intellectual property is predatory on the rights and knowledge of farming communities and indigenous peoples. Through nanotechnology- and synthetic biology-related patents, intellectual property claims are now being extended to elements of the periodic table and to key metabolic pathways involved in cellular functioning (and resulting in natural products with high commercial value).*¹⁴²

La biopiratería constituye uno de los puntos nodales para analizar en materia de las implicaciones sociales del desarrollo de la biología sintética. Como he señalado en el presente capítulo, es importante resaltar que países desarrollados como EUA o Alemania y países megadiversos como Brasil o México sean considerados como naciones clave para el desarrollo de esta biotecnología. En esta tesitura, es importante destacar que países como el nuestro revisten gran importancia para el desarrollo de la industria biotecnológica debido a la gran cantidad de recursos genómicos con los que cuenta. Además, un elemento importante es la existencia del conocimiento tradicional que se ha formado a través de varias generaciones alrededor de los diversos usos de los recursos genéticos con que se cuentan en el país.

De esta manera, dada la existencia de amplios recursos genómicos y de saberes tradicionales, es importante analizar las implicaciones sociales que para nuestro país conlleva el desarrollo de la biología sintética. Siguiendo la definición de biología sintética propuesta por la CDB, y las estimaciones del BCC *Research*, es factible señalar que México es un país importante en el desarrollo de la biotecnología debido a que

en cada una de las especies endémicas de México existen numerosas biopartes útiles para la adaptación a climas y ambientes específicos. Estas biopartes pueden ser aplicadas en el desarrollo de tratamientos contra enfermedades infecciosas o crónicas, para la producción de químicos de importancia industrial, en procesos

¹⁴² ETC Group, “Patents & Biopiracy”, en ETC Group, *Sitio Oficial*. Disponible en: <https://www.etcgroup.org/issues/patents-biopiracy> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

de biorremediación o para la obtención de variedades vegetales capaces de adaptarse a ciertas condiciones ambientales.¹⁴³

En este sentido, en el debate sobre la patentabilidad de la vida en nuestro país confluye la obligación de proteger la diversidad biológica y cultural. Si bien, nuestro país figura como una potencia en el ámbito de la bioeconomía, fenómenos como la biopiratería comprometen el correcto aprovechamiento de los recursos y la distribución de los beneficios debido a la existencia de un marco jurídico insuficiente.

La ausencia de un marco legal adecuado que regule el uso de los recursos genómicos, la distribución de los beneficios económicos que generen y la adjudicación de la propiedad de los mismos, propicia las condiciones que pueden acrecentar las brechas de desigualdad. En esta tesitura, es importante señalar que las leyes relativas al desarrollo de la biotecnología en nuestro país son obsoletas, y responden a una realidad que ha sido rebasada. Hace una década, bajo el sello de la LXI Legislatura Gloria Álvarez publicó sobre el tema, afirmando que la política pública en materia de biotecnología “ha sido establecida de manera tardía, posee un carácter reactivo, está supeditada a presiones del contexto internacional y presenta resultados dispares debido a las deficiencias inherentes a la forma como se ha dado la evolución legislativa en la materia”.¹⁴⁴

En esta tesitura, la propuesta de reforma a la Ley Federal de Variedades Vegetales constituye un ejemplo del desfase legislativo y de que el marco jurídico responde a presiones externas más que al interés y necesidades sociales. De acuerdo con datos ofrecidos por Miguel Concha, esta propuesta de Reforma considera la conservación de la biodiversidad, pero favorece

¹⁴³ Domínguez Gómez, Daniel, *Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México*, Tesis de Lic., IPN, 2013, p. 17.

¹⁴⁴ Gloria Margarita Álvarez López, *Legislación y políticas públicas en biotecnología en México*, México, Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. Cámara de Diputados, LXI legislatura, 2009, p. 13.

el desarrollo de implementaciones biotecnológicas aún a costa de la criminalización de los campesinos mexicanos y el compromiso de la alimentación básica de los mexicanos,

pues criminaliza el libre intercambio de semillas nativas entre campesinos [...]. La propuesta de reforma a la LFVV plantea, además, en el artículo 54 criminalizar con penas de entre dos a seis años de cárcel y multas de entre 10 mil a 40 mil unidades de medida y actualización (UMA) a quien aproveche o explote una variedad vegetal protegida, su material de propagación o el producto de la cosecha para su producción, reproducción, preparación, oferta, distribución, venta, producción comercial de otras variedades vegetales o variedades esencialmente derivadas.¹⁴⁵

Además de las presiones externas ejercidas por las grandes empresas biotecnológicas, es importante resaltar el retraso existente en el *corpus* jurídico. En primer lugar, es posible poner como ejemplo que la legislación más reciente en materia de biotecnología data de 2005, en la cual se estipulan las medidas de bioseguridad en materia de OGM, que es la llamada Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). Específicamente en los ámbitos del uso y distribución de los recursos genómicos, México ha adoptado el Protocolo de Nagoya, que, si bien fue ratificado en 2012, la implementación de este en el país comenzó a delinearse en 2017.¹⁴⁶

Otro de los puntos interesantes radica en la inexistencia de un *corpus* armonizado en materia de biotecnología. De acuerdo con los datos ofrecidos por Gloria Margarita Álvarez, el marco jurídico mexicano existente al 2008, es el mismo que se encuentra vigente hoy día. En dichas leyes se concibe a la biotecnología sólo en una de sus dimensiones; la relacionada con los OGM. Asimismo, la diversidad de aplicaciones de los desarrollos biotecnológicos ha propiciado que la regulación de los mismos quede dispersa en el marco jurídico mexicano, de tal manera que la

¹⁴⁵ Miguel Concha, “Criminalización de los campesinos mexicanos”, en *La Jornada*, Opinión, sábado 12 de octubre de 2019. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2019/10/12/opinion/014a1pol> [Consultado el 19 de octubre de 2019].

¹⁴⁶ Vid. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Arranca el proyecto para la implementación del Protocolo de Nagoya en México”, en PNUD, *Sitio Oficial*. Disponible en: <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/presscenter/articles/2017/05/30/arranca-el-proyecto-para-la-implementaci-n-del-protocolo-de-nagoya-en-m-xico.html> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

LBOGM no cubre todos sus aspectos, pues algunas regulaciones se contemplan en la Ley General de Salud (LGS) o en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

En este sentido, es importante señalar que la falta de regulación puede propiciar un desaprovechamiento de los recursos genómicos, o un mal uso de los mismos. Al igual que el exceso de patentes, leyes obsoletas pueden desencadenar una serie de problemas sociales, como la concentración de los recursos económicos en empresas transnacionales que decidan llevar a cabo sus investigaciones en países con menores restricciones jurídicas sobre las actividades biotecnológicas, o como la referida párrafos arriba denunciada por Miguel Concha. De ello se puede deducir que la falta de una legislación y de políticas públicas adecuadas comprometen la conservación de la diversidad cultural y biológica, así como el desarrollo biotecnológico.

En nuestro país la susceptibilidad a la biopiratería es alta. En esta tesitura, resulta de interés recordar el debate surgido en 2016 a partir de la propuesta de aprobación de la Ley General de Biodiversidad (LGB). Dada la existencia de diversas leyes relacionadas con los recursos naturales y la biotecnología, dicha Ley contemplaba unificar el *corpus* jurídico existente. No obstante, diversas organizaciones como *Greenpeace* y ETC Group denunciaron que la LGB respondía a intereses económicos de las transnacionales más que a una preocupación por el cuidado de la biodiversidad.

De acuerdo con las organizaciones mencionadas, la LGB propiciaba la biopiratería. En esta tesitura, ETC Group argumentó que dicha ley abría la posibilidad de que empresas biotecnológicas pudieran obtener los recursos genómicos y hacer uso de los conocimientos tradicionales incluso sin el consentimiento de las comunidades originarias, ya que en su *corpus* la LGB estipulaba que

el consentimiento de los pueblos originarios constituía una mera opinión, por lo cual no era un elemento determinante en la autorización jurídica para explotar los recursos genómicos del país.¹⁴⁷

La existencia de casos de biopiratería en México, así como la propuesta de leyes que atentan contra la conservación de la biodiversidad, son muestra de las lagunas jurídicas que se tienen en relación con la biotecnología en nuestro país. En este sentido, es importante enfatizar que es necesario regular la práctica de la biotecnología, sobre todo a la luz de técnicas como la biología sintética, la cual presenta un desafío a los marcos jurídicos existentes a nivel internacional. Esto indica que es necesario implementar políticas públicas y leyes que armonicen los distintos usos de la biotecnología con los intereses y necesidades sociales.

Hoy en día, la biotecnología representa un gran ámbito para el desarrollo nacional. En un país como el nuestro, la biotecnología puede coadyuvar a mejorar las condiciones de vida de muchas personas. Sin embargo, si no se le regula, el efecto obtenido será el contrario, ya que se favorecerá la apropiación de unos cuantos sobre los recursos genómicos. Es importante que, dado el proyecto nacional actual de lograr soberanía alimentaria, la biotecnología podría tener un papel importante en la materia.

En esta tesitura, resulta importante destacar que, debido al uso de los fertilizantes, los suelos del país destinados a la agricultura están prácticamente agotados. Ello se refleja en el alto grado de erosión con que cuentan, lo que propicia que ya no haya carga de mantos freáticos y una serie de procesos que concluyen en la pérdida de biodiversidad y de salud. En función de ello, es importante resaltar al menos dos puntos: el primero de ellos enfocado en la gestión adecuada de

¹⁴⁷ Silvia Ribeiro, “La ley de biodiversidad en México legaliza el saqueo”, en ETC Group, *Sitio Oficial*. Disponible en: <https://www.etcgroup.org/es/content/la-ley-de-biodiversidad-en-mexico-legaliza-el-saqueo> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

los recursos naturales del país, y el segundo enfocado en un uso adecuado de la biotecnología, que en casos como este puede ser útil para labores de bioregeneración.¹⁴⁸

¹⁴⁸ *Vid.* Helena Cotler Ávalos, “Autosuficiencia alimentaria, sí, ¿pero con cuáles suelos?”, en, *Sin embargo*, “Sección México”, 4 de diciembre de 2018. [Consultado el 19 de octubre de 2019].

CONCLUSIONES

Hay diferentes tópicos a debatir en relación con el desarrollo y aplicación de la biología sintética. Existen preocupaciones legítimas que abarcan tanto el ámbito filosófico, como el económico y social. En este sentido, podemos afirmar que preguntas de tipo ontológico como ¿qué es la vida?, ético como ¿qué tan seguro es generar nuevas secuencias genómicas?, hasta las de tipo jurídico relacionadas con las condiciones que permiten conceder una patente en torno a una secuencia genómica, encuentran un campo de convivencia y de búsqueda de soluciones propiciado por esta tecnociencia.

Debido a la complejidad de factores que rodean a esta tecnociencia, así como la serie de problemáticas que podría desencadenar, resulta imposible afirmar que una sola disciplina es la indicada para evaluar el impacto, sea positivo o negativo, que la biología sintética podría tener en la sociedad y en los ecosistemas. En este sentido, es que he considerado útil la propuesta de Onora O'Neil, quien señala que el desarrollo de las ciencias de la vida propició el surgimiento de un cruce multidisciplinario que conocemos como bioética.

En este sentido, a lo largo del trabajo he argumentado que la bioética más que ser una disciplina, se conforma como un campo de cruce interdisciplinar. De esta manera, considero que este enfoque resulta fructífero toda vez que procura la existencia de un espacio de debate, reflexión y propuestas en torno a las implicaciones de diversas tecnociencias, como la biología sintética.

El surgimiento y desarrollo de la biología sintética ha implicado una serie de reconfiguraciones en distintos ámbitos disciplinares. De acuerdo con la literatura analizada a lo largo de la investigación, es posible deducir que en el ámbito científico el desarrollo de este campo es visto como una consecuencia o continuación de los desarrollos en materia de ingeniería genética

iniciado en la pasada década de 1970. En esta tesitura, es posible explicar por qué la biología sintética no ha sido conceptualizada o diferenciada de los otros tipos de biotecnología.

Asimismo, en el ámbito científico existen personajes que están enfocados en lograr una verdadera revolución en torno a lo que comprendemos como la vida. Uno de los principales es Craig Venter, quien es un hito ya en el ámbito de la biología sintética, pues se considera que a partir de la creación de Synthia ha comenzado una nueva era en la biotecnología.

De acuerdo con los datos disponibles, si bien, durante los últimos 9 años ha habido avances significativos en el desarrollo de la biología sintética, aún se está lejos de alcanzar todos los productos prometidos. Si bien, las implementaciones de la biología sintética abarcan diversos ámbitos, los productos actuales están enfocados en el ámbito de la medicina, como es el caso de la producción de artemisinina para tratar la malaria. Otro de los ámbitos es el de la producción de biomateriales, en el cual podemos destacar la producción de la seda sintética, recientemente desarrollada por *The North Face*. No obstante, de acuerdo con los datos de la NAS, las aplicaciones que prometen ser más innovadoras aún se encuentran en fase de desarrollo.

Es cierto que la biología sintética promete ser de gran ayuda en la solución de algunas problemáticas existentes. Sin embargo, también es cierto que puede propiciar que algunas problemáticas se exacerbén, así como provocar el surgimiento de nuevos retos que abarquen no sólo el ámbito científico, sino también social.

A lo largo del primer capítulo he expuesto una serie de elementos que considero de gran relevancia. La importancia del análisis de dicha sección radica en que los elementos sopesados son los que considero como factores condicionantes para desarrollar una perspectiva en relación con el *status* de la biología sintética. Eso me permite afirmar que, debido a cuestiones de metodología y contexto de dicha actividad, es posible considerarla como distinta a la técnica del ADN recombinante.

En esta tesitura, es importante destacar que los enfoques característicos de la biología sintética representan ya un elemento que permite formular criterios de demarcación. Los enfoques *top-down* y *bottom-up* de la biología sintética se han desarrollado con objetivos distintos a los que se han perseguido con la técnica del ADN recombinante. En este sentido, la biología sintética lo que *grosso modo* pretende es comprender la manera en que surgió la materia viva así como los procesos biológicos para poder intervenir en ellos, con el fin de modificarlos y reconstruir o reinventar la naturaleza.

Esta pretensión de reinventar la naturaleza desencadena una serie de problemáticas éticas y sociales. En este marco, disciplinas como el derecho o la economía tienen mucho que aportar a través de ese marco común que les une con las ciencias llamado bioética. De acuerdo con los textos consultados, la mayoría de las problemáticas relacionadas con el ámbito de la bioética ya han sido debatidos o analizados por diversos actores, desde pensadores de distintos enfoques hasta instituciones y organizaciones no gubernamentales. Sin embargo, dado que el lenguaje que se utiliza en la biología sintética representa un reto a la manera en que se comprende la vida y el valor que se le otorga, se ha abierto un campo de problemas que, conforme avanza la práctica de la biología sintética las implicaciones éticas se complejizan.

Como he argumentado en el segundo capítulo, las fuentes axiológicas en torno a la biología sintética son ambivalentes. Por un lado, el contexto en el que surge, denominado por Rifkin como el de la triple crisis del siglo XXI, propicia que sea valorada como una tecnociencia muy potente, misma que puede sernos útil en el enfrentamiento a los problemas que padecemos, tales como la pérdida de biodiversidad o la disminución de los recursos energéticos. Asimismo, se le considera como una tecnociencia clave para poder mejorar a la especie humana, de tal manera que podríamos afirmar que la misma biología sintética representa la existencia de las condiciones materiales para ejecutar el proyecto transhumanista.

Por otro lado, además de despertar una serie de esperanzas, la biología sintética ha exacerbado algunos temores. Unos relacionados con las figuras que han emergido de la ciencia ficción, otros, relacionados con experiencias previas que ha tenido la humanidad. En este sentido, la biología sintética ha propiciado que se crea que es posible modificar de manera radical los ciclos biológicos con un grado de seguridad y control nunca visto.

Desde luego, es importante resaltar que no se trata de condenar o satanizar este tipo de prácticas. En nuestra vida cotidiana, nos la habemos todos los días con productos que son resultado de la biotecnología. Si bien, a través de la ingeniería genética se ofrecen soluciones a diversas problemáticas, es necesario cuestionar si ésta en verdad constituye la solución o es sólo una parte de la misma. En esta tesitura, se puede hacer mención a lo mostrado en el segundo capítulo, según lo cual las aplicaciones de la biología sintética pueden ser de gran utilidad para la atención de graves problemáticas. No obstante, también puede desencadenar otras problemáticas igual de graves y ante las cuales no estamos preparados.

El análisis de las implicaciones bioéticas nos permite mostrar la complejidad del problema. La reflexión sobre las problemáticas desencadenadas por la biología sintética no debe ser materia de una sola disciplina, ya que se encuentra inmersa en una serie de complejidades sociales, económicas e incluso científicas que obligan a procurar un diálogo interdisciplinario para evaluar de mejor manera los potenciales beneficios y riesgos de esta tecnociencia.

Uno de los puntos centrales a analizar es el de la idea de control. En este sentido, es posible afirmar que, de acuerdo con lo desarrollado, la implementación de principios relacionados con la biotecnología, como lo es el de precaución, debe tener en cuenta las nuevas características de los organismos vivos que han sido manipulados, y en función de ello determinar en qué casos y cómo llevar a cabo la implementación del principio de precaución.

En el aspecto social podemos encontrar diversas preocupaciones propiciadas por el auge de la biología sintética. A lo largo del tercer capítulo he esbozado las que considero son las principales problemáticas: la propiedad y el acceso a los recursos genómicos. En este marco, es importante señalar que uno de los puntos más polémicos es el relacionado con el concepto mismo de propiedad y su relación con la figura de la patente y el significado del término innovación.

En este sentido, el desarrollo de la biotecnología, en específico de la biología sintética se constituye como un reto para diversas instituciones. Esto implica que las aplicaciones contempladas para la biología sintética se salgan del marco normativo estipulado hasta el momento. Es en este tipo de problemáticas donde radica la importancia de plantear una definición que permita operativizar y normar este tipo de actividades, no sólo por el hecho de que haya que normarlas o porque la biotecnología sea mala por sí misma, sino porque al desconocer todos sus efectos, es mejor adoptar una postura prudente y responsable más que permitir un desarrollo sin norma o regulación alguna.

De esta manera, si bien definiciones operativas como las que ofrecen el CDB son importantes, estas pueden resultar insuficientes si no se incorporan a un marco jurídico que armonice las prácticas biotecnológicas en países que están considerados como clave para el florecimiento de este tipo de actividades.

Considero que la necesidad de regular este tipo de actividades deriva, además de los aspectos de bioseguridad, de la vertiente económica. Los datos ofrecidos en el estudio *Synthetic Biology: Global Markets* elaborado por la BCC Research, señalan que los intereses económicos que rodean al desarrollo de la biología sintética son muy altos. La triplicación que el valor de este mercado sufrirá en un lapso de 5 años es muestra de la velocidad con la cual se está conformando como un mercado confiable.

Asimismo, un dato que es de llamar la atención es que nuestro país figure como una nación clave para el desarrollo de la biología sintética. En este sentido, es necesario crear marcos regulativos por las condiciones sociales, económicas y de biodiversidad de nuestro país. Toda vez que somos un país megadiverso y con altos índices de pobreza, es importante reflexionar sobre el tema de la apropiación de los recursos naturales y su relación con el conocimiento tradicional.

He centrado el análisis en el aspecto de la propiedad toda vez que a partir de este tópico se originan una serie de problemáticas que, paradójicamente, terminan perjudicando el avance tecnocientífico. En este sentido, la literatura consultada nos permite señalar que el asunto de las patentes podría convertirse en una problemática fuerte para la consolidación de la biología sintética.

De acuerdo con el desarrollo del primer capítulo, es posible afirmar que en él se encuentran las bases para el desarrollo posterior de los capítulos 2 y 3. En esta tesitura, a lo largo del capítulo 2 la consideración de revisar los principios éticos con los cuales la *Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues* se sustenta en la existencia de diferencias entre la biología sintética y sus productos en comparación con los OGM y la técnica del ADN recombinante. En este sentido, se ha señalado que incluso la manera en que se decida la implementación del principio de precaución en el ámbito de la bioseguridad está relacionada con la definición de esta tecnociencia.

Asimismo, en el capítulo tercero, las problemáticas sociales señaladas y su regulación se encuentran atravesadas por las mismas consideraciones conceptuales. De esta manera, la existencia de leyes que regulen la distribución de los beneficios y riesgos generados por el desarrollo de la biología sintética depende de la manera en que esta sea definida. El problema más dramático, considero, se encuentra en el aspecto de las implicaciones sociales, toda vez que dadas las condiciones de los países que se consideran claves para el desarrollo de la biología sintética

muestran ya una brecha de desigualdad que puede incrementarse debido a las implementaciones biotecnológicas y a la posibilidad de patentar los organismos creados.

En este sentido es que resulta importante la definición de la biología sintética y establecer los criterios que la hacen diferente de otras tecnociencias. Con base en lo desarrollado a lo largo de los tres capítulos, considero que es posible afirmar que una definición de la biología sintética debe contemplar no sólo la metodología, sino los objetivos para los que se crean los organismos sintéticos.

De esta manera, considero que es posible ofrecer una definición de la biología sintética en estos términos: la biología sintética es un conjunto de técnicas de manipulación de material genético. Está caracterizada por la unión de enfoques y métodos propios de la biología, ingeniería y ciencias de la computación. A través del ensamblaje o rediseño del material genético produce o modifica organismos vivos o sistemas biológicos, los cuales pueden tener aplicaciones útiles en diversos ámbitos, como la medicina, el medio ambiente o la industria.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez López, Gloria Margarita, *Legislación y políticas públicas en biotecnología en México*, México, Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. Cámara de Diputados, LXI legislatura, 2009.

Bergin, John, *Synthetic Biology: Global Markets*. Disponible en: <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-global-markets.html> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Boldt, Joachim [edit], *Synthetic Biology. Metaphors, Worldviews, Ethics and Law*, Friburgo, Springer VS, 2016, 234 p.

Bolívar Zapata, Francisco, *Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos*, México, Academia Mexicana de las Ciencias, 2017.

Braidotti, Rosi, *Lo Posthumano* [trad. de Juan Carlos Gentile], México, Gedisa, 2015, 253 p.

Buchanan, Allen, *et al*, *From chance to choice. Genetics and justice*, Nueva York, Cambridge University Press, 2000, 398 p.

Buchanan, Allen, *Beyond Humanity? The ethics of biomedical enhancement*, Nueva York, Oxford University Press, 2011, 299 p.

Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, XIII/17, Biología sintética, 16 de diciembre de 2016. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-17-es.doc> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

_____ *Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, 14/19, Biología sintética*, 30 de noviembre de 2018, p. 4. Disponible

en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-19-es.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Church, George, Ed Regis, *Regenesis: how synthetic biology will reinvent nature and ourselves*, Nueva York, Basic Books, 2012.

Comfort, Nathaniel, “La genómica social está abriendo nueva puerta a la supremacía racial”, en *MIT Technology Review*, 20 de noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.technologyreview.es/s/10638/la-genomica-social-esta-abriendo-nueva-puerta-la-supremacia-racial> [Consultado el 21 de diciembre de 2018].

Concha, Miguel, “Criminalización de los campesinos mexicanos”, en *La Jornada*, Opinión, sábado 12 de octubre de 2019. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2019/10/12/opinion/014a1pol> [Consultado el 19 de octubre de 2019].

Cooper, Melinda, *Life a surplus. Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*, Washington, University of Washington Press, 2008.

Cotler Ávalos, Helena, “Autosuficiencia alimentaria, sí, ¿pero con cuáles suelos?”, en *Sin embargo*, “Sección México”, 4 de diciembre de 2018. [Consultado el 19 de octubre de 2019].

Cumbers, John, “New This Ski Season: A Jacket Brewed Like Spider’s Silk”, en *Forbes*, 28/08/2019. Disponible en <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2019/08/28/new-this-ski-season-a-jacket-brewed-from-spider-silk/#6079e6d8561e> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Davis, Jamie A., *Synthetic Biology. A Very Short Introduction*, New York, Oxford University Press, 2018

Diéguez, Antonio, *Transhumanismo. La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*, Barcelona, Herder, 2017.

Domínguez, Daniel, “Directrices rumbo al establecimiento de políticas públicas en materia de biología sintética en México”, Trabajo de titulación como Ingeniero Biotecnólogo, IPN, 2013. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/comunicacion/inf-grupos-trabajo/gt-bios/gt-bios-sesiones-trabajo/gt-bios-segunda/5034-3-directrices-rumbo-al-establecimiento-de-politicas-publicas-en-materia-de-biologia-sintetica-en-mexico/file> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

ETC Group, *Sitio Oficial*. Disponible en: <https://www.etcgroup.org/issues/patents-biopiracy> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Ferry, Luc, *La revolución transhumanista. Cómo la tecnomedicina y la uberización del mundo van a transformar nuestras vidas* [trad. de Alicia Martorell], Madrid, Alianza Editorial, 2017, 215 p.

French, K.E., “Harnessing synthetic biology for sustainable development”, en *Nature. International Journal of Science*, 2/04/2019, p. 250. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0270-x> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Gibson, Daniel *et al.*, “Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome”, en *Science*, disponible en línea: <http://science.sciencemag.org/content/sci/329/5987/52.full.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2019]

González Valenzuela, Juliana [coord.], *Perspectivas de bioética*, México, F.C.E.-UNAM-CNDH, 2008.

Hacking, Ian, “La filosofía de la ciencia según Lakatos”, en *Revoluciones científicas*, México, F.C.E., 1985.

Hottois, Gilbert, *¿El transhumanismo es un humanismo?* [trad. de José Vicente Bonilla Pardo], Bogotá, Universidad el Bosque, 2016. e-book.

J. Craig Venter Institute, *First Self-Replicating, Synthetic Bacterial Cell Constructed by J. Craig Venter Institute Researchers*. Disponible en: <https://www.jcvi.org/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell-constructed-j%C2%A0craig-venter-institute-researchers> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Jonas, Hans, *El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*, Madrid, Herder, 1995.

Kevles, Daniel A., “Ananda Chakrabarty Wins a Patent: Biotechnology, law, and Society, 1972-1980”, en *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 25, No. 1 (1994), pp.111-135. Disponible en: https://www.jstor.org/stable/27757736?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Kubli, Fausto, *Régimen jurídico de la bioseguridad de los organismos genéticamente modificados*, México, IJ-UNAM, 2009. Disponible en: <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/2637-regimen-juridico-de-la-bioseguridad-de-los-organismos-geneticamente-modificados>

Kumar Singh, Kshitij, *Biotechnology and Intellectual Property Rights. Legal and Social Implications*, India, Springer, 2015.

Latour, Bruno, *Cara a cara con el planeta. Una nueva mirada sobre el cambio climático alejada de las posiciones apocalípticas*, México, Siglo XXI, 2017.

_____, *Cogitamus. Seis cartas sobre las humanidades científicas*, Buenos Aires, Paidós, 2012.

_____, *Down to Earth. Politics in the New Climatic Regime*, EUA, Polity Press, 2018.

_____, *Esperando a Gaia. Componer el mundo común mediante las artes y la política*. Disponible en <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/downloads/124-GAIA-SPEAP-SPANISHpdf.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Linares Salgado, Jorge, Elena Arriaga [coords.], *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, UNAM, 2016.

Linares Salgado, Jorge, *Ética y mundo tecnológico*, México, F.C.E., 2008, 517 p.

_____, “The Promises of Synthetic Biology: New Bioartefacts and Their Ethical and Societal Consequences”, en Belén Laspra y José Antonio Cerezo [eds.], *Spanish Philosophy of Technology. Contemporary Work from the Spanish Speaking Community*, Switzerland, Springer, 2018

Lucht, Wolfgang, “*Seeking the Anthropocene*”, en *Nature. International Journal of Science*, No. 558, 7 de junio de 2018.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Preparing for Future Products of Biotechnology*, Washington, DC, The National Academies Press. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.17226/24605> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Nesbeth, Darren, *Synthetic Biology Handbook*, Florida, CRC Press, 2016.

O'Neill, Onora, *Autonomy and Trust in Bioethics*. Oxford University Press, 2002.

Organización de las Naciones Unidas, *Convenio sobre la diversidad Biológica*, Artículo 1, Naciones Unidas, 1992. Disponible en <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Organización Mundial de la Propiedad, “Patentes”, en OMPI, *Sitio Oficial*: <https://www.wipo.int/patents/es/> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

PNUD, *Sitio Oficial*. Disponible en: <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/presscenter/articles/2017/05/30/arranc>

a-el-proyecto-para-la-implementaci-n-del-protocolo-de-nagoya-en-m-xico.html

[Consultado el 1 de octubre de 2019].

Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, *New directions. The ethics of synthetic biology and emerging technologies*, Washington D.C., 2010

Rajan, Kaushnik Sunder, *Biocapital. The constitution of postgenomic life*, Durham, Duke University Press, 2007, 343 p.

Regis, Ed, *What is Life? Investigating the nature of life in the age of synthetic biology*, New York, Oxford University Press, 2008.

Riechmann, Jorge, *Un buen encaje en los ecosistemas. Segunda edición (revisada) de Biomímesis*, Madrid, Los libros de la catarata, 2014.

_____ *La habitación de Pascal. Ensayos para fundamentar éticas de suficiencia y políticas de autocontención*, Madrid, Los libros de la catarata, 2009.

_____ *Transgénicos: el haz y el envés. Una perspectiva crítica*, Madrid, Los libros de la catarata, 2004.

Rifkin, Jeremy, *The biotech century: harnessing the gene and remaking the world*, Nueva York, Jeremy P. Tarcher / Penguin, 1999, 271 p.

Schmidt, Markus, *Synthetic Biology. Industrial and Environmental Applications*, Londres, Wiley-Blackwell, 2012,

_____ *et al*, [eds.], *Synthetic Biology. The technoscience and Its Societal Consequences*, New York, Springer, 2010, 186p.

Sloterdijk, Peter, *¿Qué sucedió en el siglo XX?*, Madrid, Siruela, 2018.

_____ *Normas para el parque humano, Una respuesta a la Carta sobre el humanismo de Heidegger*, Madrid, Siruela, 2006.

Subramanian, Meera, Anthropocene now: influential panel votes to recognize Earth's new epoch", en *Nature. International Journal of Science*, 21/05/2019.

<https://www.nature.com/articles/d41586-019-01641-5> [Consultado el 1 de octubre de 2019].

Zalasiewicz, Jan, "When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal", en *Quaternary International*, Volumen 383, 5 de octubre de 2015.