

Ciencias sociales, riesgos y biología sintética: una revisión de la literatura*

Social sciences, risks and synthetic biology: A review of the literature

ARTURO VALEJOS-ROMERO

Departamento de Ciencias Sociales
Universidad de la Frontera
Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile
arturo.vallej@ufrontera.cl
<https://orcid.org/0000-0002-0393-7275>

CÉSAR CISTERNAS IRARRÁZABAL

Núcleo de Ciencias Sociales
Universidad de La Frontera
Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile
cesar.cisternas@ufrontera.cl
<https://orcid.org/0000-0002-4510-4239>

IGNACIO RODRÍGUEZ

Departamento de Ciencias Sociales
Universidad de la Frontera
Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile
ignacio.rodriguez@ufrontera.cl
<https://orcid.org/0000-0003-3925-5759>

MINERVA CORDOVÉS-SÁNCHEZ

Doctorado en Cs. Agroalimentarias y Medioambiente
Universidad de la Frontera
Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile
mcordoves@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0513-7837>

PATRICIO PADILLA

Departamento de Ciencias Sociales
Universidad de la Frontera
Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile
patricio.padilla@ufrontera.cl
<https://orcid.org/0000-0002-4651-3253>

ESTE ARTÍCULO ESTÁ SUJETO A UNA: LICENCIA "CREATIVE COMMONS
RECONOCIMIENTO-NO COMERCIAL" (CC-BY-NC)

* Este trabajo ha sido financiado por ANID (Chile), Proyecto Fondecyt 1210714 y la Dirección de Investigación de la Universidad de La Frontera con los proyectos DIUFRO DI20-045 y DI19-0030.

DOI: https://doi.org/10.24197/st.Extra_2.2021.213-239

RECIBIDO: 22/06/2020

ACEPTADO: 11/09/2020

Resumen: El artículo presenta una revisión de la investigación sobre los riesgos relacionados con la biología sintética desde las ciencias sociales, identificando sus principales líneas de investigación, sus problemáticas y los desafíos más relevantes que sus propios investigadores y promotores han calificado como importantes debido a las consecuencias sociales que podría tener. La revisión cubre 50 artículos indexados en Web of Science (WoS) y SCOPUS, publicados entre los años 2009 y abril de 2020. El trabajo identificó cuatro áreas de investigación sobre los riesgos de la biología sintética: riesgos, regulación, gobernanza y controversias, reconociendo los desafíos en cada uno de ellos.

Palabras clave: Biología Sintética, Riesgos, Controversias, Regulación, Gobernanza.

Abstract: The article presents a review of the research social science on the risks related to synthetic biology, identifying the main lines of research, their problems and the most relevant challenges, which their own researchers and promoters have described as being of high importance and incidence in the profound social consequences it could have. The review covers 50 articles indexed in Web of Science (WoS) and SCOPUS, published between 2009 and April 2020. The work identified four areas of research on the risks of synthetic biology: risks, regulation, governance, and controversies, recognizing the challenges and opportunities in each of them.

Keywords: Synthetic Biology, Risks, Controversies, Regulation, Governance.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la investigación que se ha generado en ciencias sociales sobre los riesgos relacionados con la biología sintética. Esta revisión, por un lado, se justifica por la fructífera y sostenida co-evolución entre ciencias sociales y biología sintética (Trump et al., 2019), donde temas, problemas y preguntas se han ido planteando a lo largo del tiempo de manera productiva y constante en un campo actualmente relevante y controvertido (Dieguez, 2017). Por otro lado, la investigación general sobre riesgos ha sido fructífera en el tiempo, no obstante la marcada incertidumbre social ha tensionado las decisiones (Trump et al., 2020) y su aceptación (Meyer, 2017). Por lo tanto, en esta relación e implicancia las decisiones pueden traer consigo riesgos y probables consecuencias sociales y ambientales (Luhmann, 1992) en un área emergente, que además de estar marcadas por la incertidumbre, la condiciona una alta contingencia y complejidad social, que estarían en la base de las controversias actuales que ha tenido el área de estudio que plantea este trabajo. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es identificar y describir las principales áreas de investigación –temas, problemas, tensiones y desafíos- en el campo de los riesgos relacionados con la biología sintética, que sus propios investigadores y promotores han calificado importantes por sus potenciales y profundas consecuencias sociales (Diéguez, 2020; Ferry, 2017).

La biología sintética es un área interdisciplinaria cuya finalidad es el desarrollo, rediseño y fabricación de piezas, dispositivos y sistemas biológicos, para comprender y aplicar de mejor forma los diversos procesos biológicos naturales, así como la conceptualización de la vida a nivel teórico (Katz et al., 2018). Uno de sus objetivos ha sido la creación de formas de vida artificial a partir de materia no viva para dilucidar las bases biológicas de su origen (Keshava et al., 2018). En este sentido, esta área científica se fundamenta en el supuesto de que existe un mecanismo básico de la vida, clave para la transición entre la vida y la materia inerte (Di Paola y Giuliani, 2018).

En la década de 1960, la biología molecular se convirtió en un campo liderado por equipos multidisciplinarios compuestos por bioquímicos, biólogos, genetistas, matemáticos, químicos, físicos, informáticos e ingenieros. Este contexto disciplinar sirvió de plataforma para la biología sintética, que comenzó a tomar forma en la década de 1990 e intentó llevar la biología molecular un paso más allá. La colaboración multidisciplinaria siguió siendo central en esta nueva área disciplinaria, siendo especialmente relevante para su desarrollo el interés de los informáticos en aplicar los principios de la ingeniería y la comunicación (Nesbeth, 2016).

Su acelerado desarrollo en la última década, lo que fue posibilitado gracias al libre acceso a bases de datos genéticos, ha derivado en la consolidación del campo (Keshava et al., 2018) y ha hecho imaginables avances radicales en cuanto al conocimiento y control de la vida, el organismo humano y la medicina. Este campo se ha convertido en una de las tecnologías emergentes que suelen liderar el debate

moral, político y científico entre bioconservadores y bioprogresistas, debido a sus potenciales consecuencias biológicas (Ferry, 2017). Los riesgos, incertidumbres y controversias sobre su futuro desarrollo lo han convertido en objeto de estudio para las Ciencias Sociales desde sus primeras etapas (Trump et al., 2019), siendo numerosos los trabajos que han abordado el problema de sus implicaciones éticas, legales y sociales (Douglas y Stemerding, 2014; Marris, 2015; Rose et al., 2018; Funk et al., 2019; Holm, 2019; Pei, Gaisser y Schmidt, 2012).

Además, ha existido una falta de claridad sobre el apoyo social y político a este campo tecnocientífico emergente (König et al., 2016) y las advertencias de sectores del propio mundo científico sobre sus posibles riesgos y efectos sobre la biodiversidad global (Lai et al., 2019). En este contexto, algunos autores han sugerido que la colaboración entre biología sintética y ciencias sociales es clave para enfrentar estos desafíos, evaluar los riesgos potenciales asociados y lograr un avance fundamental para maximizar sus beneficios (Shapira, Youtie y Li, 2015; Trump et al., 2019) o revertir sus significados y externalidades (Meyer, 2017).

La revisión de la literatura se realizó a partir de un corpus de 50 artículos indexados en Web of Science (WoS) y SCOPUS, publicados entre los años 2009 y 2020, lo que ha permitido dar cuenta del estado del arte de la investigación sobre las líneas de trabajo que abordan los probables riesgos futuros que, desde una perspectiva social, la biología sintética ha generado en su desarrollo.

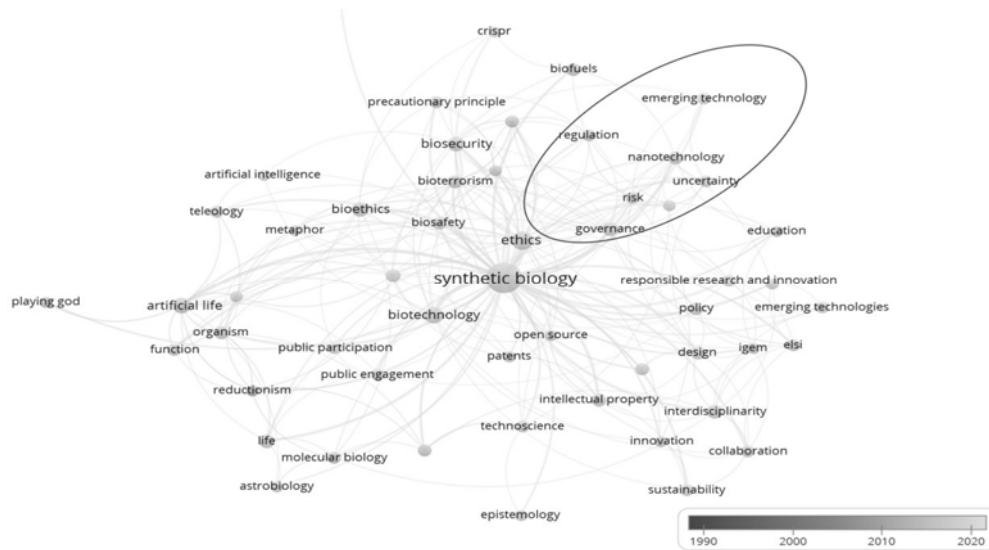
Ante lo planteado nos preguntamos ¿qué temas y problemas han destacado y tratado las ciencias sociales sobre los riesgos de la biología sintética? ¿Desde qué marcos han trabajado los investigadores los problemas observados? ¿Qué desafíos futuros han delineado?

2. METODOLOGÍA

Para la revisión que presentamos de la literatura en ciencias sociales sobre los riesgos asociados a la biología sintética, se utilizaron las bases de datos SCOPUS y Web of Science (WoS), por ser las de más amplia cobertura en publicaciones actuales y relevantes (Aghaei Chadegani et al., 2013).

La definición de los términos de la investigación se basó en la elaboración de una red semántica (Figura 1), que analizó 54 palabras claves con al menos 5 ocurrencias, generada con el apoyo del software VOS-Viewer (van Eck y Waltman 2010). Esta red conformada por 530 artículos indexados en sub-áreas de las ciencias sociales que contienen el término en inglés “synthetic biology” en título, resumen o palabras clave, permitió identificar los conceptos relacionados con el campo de estudio y la frecuencia y co-ocurrencia de las palabras clave usadas.

Figura 1: Red semántica de palabras clave en las sub-áreas de ciencias sociales



Fuente: Elaboración de los autores

La red identificó un clúster de seis palabras clave: “riesgo”, “regulación”, “gobernanza”, “incertidumbre”, “nanotecnología” y “tecnología emergente”, las cuales se destacaron por la frecuencia de aparición en la red. Entre estos términos, los cuatro primeros fueron seleccionados para la búsqueda, excluyendo los conceptos de “nanotecnología” y “tecnología emergente” por no tener relación directa con el campo de investigación sobre los riesgos de la biología sintética.

Complementariamente, los términos incluidos en el comando de búsqueda se eligieron en base a un análisis cualitativo de las palabras clave asociadas a las publicaciones sobre biología sintética, tanto en el campo de las ciencias sociales como de las ciencias de la vida. Así, seleccionamos los términos “synthetic biology”, “synthetic life”, “synthetic cell” y “artificial cell”, por ser los más frecuentes, y que a su vez diferían en mayor medida entre sí, manteniendo un vínculo temático directo con nuestro campo de estudio.

En consecuencia, las ecuaciones de búsqueda se construyeron considerando los términos mencionados en el párrafo anterior en combinación con las palabras clave destacadas por la red semántica: “riesgo”, “regulación”, “gobernanza” e “incertidumbre”. Usamos operadores booleanos “Y” y “O” para combinar ambos conjuntos de términos de búsqueda y, de esta manera, limitarlo solo a artículos que trataran los riesgos asociados con la biología sintética en el contexto de las ciencias sociales. Para WoS la búsqueda se restringió a las publicaciones incluidas en el Social Sciences Citation Index (SSCI), mientras que para SCOPUS, a las disciplinas asociadas a las ciencias sociales. Asimismo, en cuanto al marco temporal, no se fijó un año de inicio, debido a la ausencia de antecedentes claros sobre el inicio de la

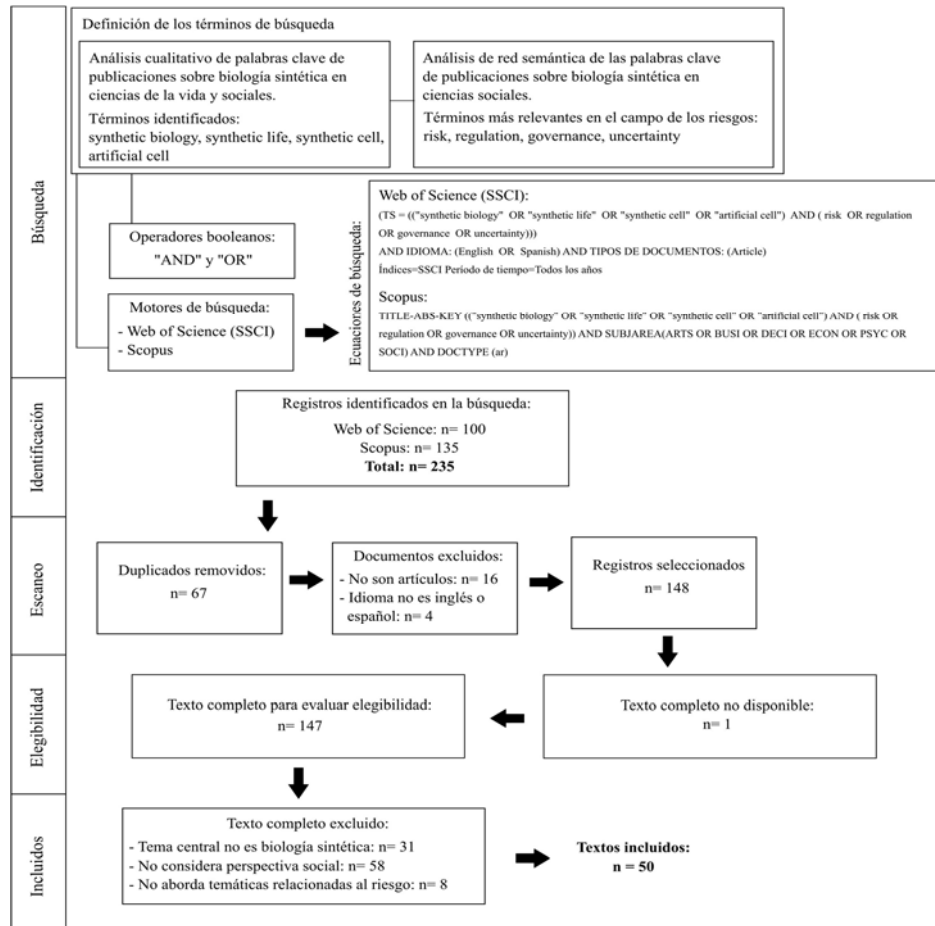
investigación sobre riesgos relacionados desde una perspectiva social, para lo cual se consideró hasta abril de 2020.

Adicionalmente, siguiendo la estrategia de búsqueda y muestreo descrita en la Figura 2, se consideraron como criterios de exclusión: (1) artículos en un idioma diferente al inglés o español; (2) publicaciones que no fueran artículos originales; (3) publicaciones que no estuvieran disponibles como documento completo en formato digital; (4) publicaciones cuyo tema central fuera diferente a la biología sintética; (5) artículos que no consideraron el tema y problemas de investigación en el campo de los riesgos.

Cabe mencionar que las publicaciones aquí incluidas no constituyen la totalidad de trabajos que refieren a la relación entre riesgos y biología sintética desde las ciencias sociales. Sin embargo, ofrecen una visión general de la literatura relevante y permiten sacar conclusiones sobre los enfoques recientes y la evolución de esta temática.

Finalmente, para el análisis en profundidad de las publicaciones seleccionadas, se plantearon las siguientes preguntas: (a) ¿Qué se investiga? (b) ¿Cuáles son los problemas o brechas que identifica la investigación? (c) ¿En qué línea de investigación se inscribe el trabajo?, y (d) ¿Cuáles son los principales desafíos?

Figura 2: Estrategia de búsqueda y muestreo



Fuente: Elaboración de los autores

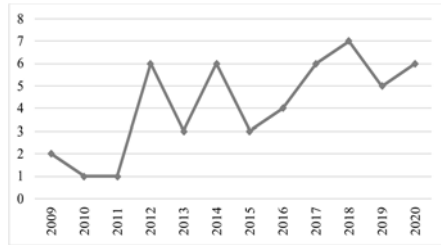
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 50 artículos, publicados entre los años 2009 y 2020, que muestran cuatro líneas de investigación dominantes: gobernanza, regulación, controversias y riesgos. En general, la literatura sobre los riesgos en torno a la biología sintética en las ciencias sociales ha sido incipiente, sin embargo, existe una tendencia a incrementar la producción, convirtiéndose en un campo emergente en proceso de consolidación (Gráfico 1).

Los estudios publicados entre los años 2009 y 2020 se centran en áreas de investigación como regulación y controversias, seguidas de áreas como gobernanza y riesgos (Gráfico 2). En términos generales, los estudios cuantitativos han utilizado principalmente encuestas y estudios Delphi, mientras que los estudios cualitativos

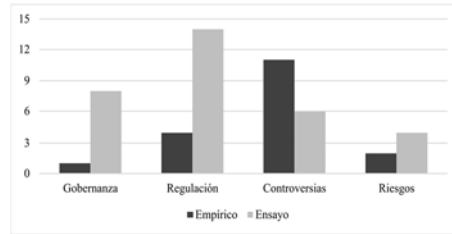
han utilizado revisiones documentales, entrevistas, grupos focales y observación participante (Gráfico 3).

Gráfico 1: Publicaciones por año tema



Fuente: Elaboración de los autores

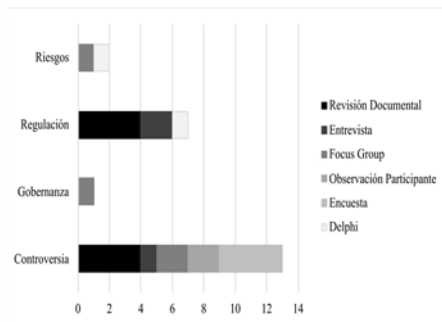
Gráfico 2: Tipo de artículo por tema



Fuente: Elaboración de los autores

En cuanto a los grupos de investigación, podemos observar en la Figura 3, específicamente en los círculos más amplios, autores como a) Xenos y Brossard, b) Anciillotti, Rerimassie, Sterminding y Lindfelt, c) Ribeiro y Beckman, d) Marris y Frow, e) Torgersen y Bauer, y f) Kuzma y Trump.

Gráfico 3: Técnicas metodológicas



Fuente: Elaboración de los autores

Figura 3: Red de autores

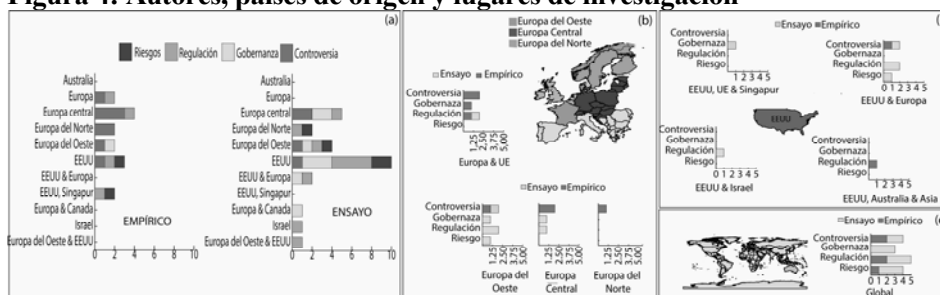


Fuente: Elaboración de los autores

En cuanto a las regiones en el mundo, Europa lidera la investigación, excepto en las regiones de la Europa ibérica y mediterránea, y en Centro y Sudamérica no se identificaron estudios (Figura 4). La figura presenta el (a) País de origen de los autores, indicando el tema y el tipo de investigación que abordan (empírica y ensayo); (b) la distribución de la investigación por tema y sección de investigación según la región europea en la que se lleva a cabo; (c) la distribución por tema y sección de investigación de las publicaciones de acuerdo con los grupos de países (que incluyen

a EE.UU.) en los que se desarrollan; y (d) la distribución por tema y sección de investigación de las publicaciones desarrolladas a escala mundial

Figura 4: Autores, países de origen y lugares de investigación



Fuente: Elaboración de los autores

Por último, podemos ver en la descripción que la revisión de la literatura identificó cuatro líneas principales de investigación en un campo mencionado por la literatura como importante, según los impactos sociales que puede producir (Dieguez, 2020; Ferry, 2017), los que pasamos a describir.

3.1. Los riesgos de la biología sintética

Una de las áreas identificadas son los riesgos, en el entendido que estas tecnologías emergentes estarían asociadas a la generación de nuevos impactos o externalidades (Ahteensuu, 2017; Cummings y Kuzma, 2017) y la necesidad de regulación y supervisión adicionales (Ahteensuu, 2017).

Dado que estos riesgos están en el imaginario público, es decir, asociados a la percepción (Marris, 2015; Bauer y Bogner, 2020), se ha encontrado que los biólogos sintéticos y los actores políticos que la apoyan exhiben un miedo similar al miedo público (Marris, 2015). Esta “fobia” a la “fobia” de diferentes actores, que temen principalmente las respuestas del público a la biología sintética, ha sido el motor que impulsa el trabajo de ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) y ha influido en su comportamiento, aunque este enfoque ha sido criticado por considerar que excluye preguntas como: ¿Acelerar la comercialización es necesariamente una contribución al bien público? ¿En qué condiciones se pueden obtener los beneficios esperados deseados? ¿Cómo se comparan las soluciones proporcionadas por la biología sintética con las alternativas, incluidas las que no involucran ciencia de vanguardia? ¿Quién ha definido los problemas a abordar y cómo? (Marris, 2015).

En respuesta a estos temores, se han propuesto estrategias para comenzar a diseñar programas de investigación para informar las evaluaciones de riesgos ecológicos y la gestión de riesgos de sus aplicaciones. Kuiken et al. (2014) describen talleres diseñados para brindar un espacio a los grupos interdisciplinarios de biólogos

sintéticos, científicos naturales y sociales y otras partes interesadas, para que identifiquen peligros ecológicos prioritarios, donde han reconocido similitudes con peligros asociados con organismos genéticamente modificados (OGM) en los últimos 20 años. Sin embargo, comprender y evaluar los efectos ecológicos potenciales de las aplicaciones de la biología sintética, de una manera participativa y adaptativa, también requerirá amplias colaboraciones interdisciplinarias. Así, las áreas comunes -donde los biólogos sintéticos, los científicos naturales y sociales y otras partes interesadas pueden comenzar a comprender la investigación de los demás-, como validar las hipótesis de investigación de riesgos y diseñar programas de investigación específicos e interdisciplinarios son cruciales para proponer y realizar investigaciones que sirvan de base para evaluaciones de riesgos ecológicos y medidas de gestión.

3.2. La regulación de la biología sintética

Esta área constituye un tema relevante, donde la investigación busca explicar la adaptación a los cambios tecnológicos, así como la integración de diferentes grupos de interés, convirtiéndose en un factor clave en su desarrollo.

Dadas las implicaciones legales, éticas y sociales que tiene la regulación y sus marcos, un enfoque para abordar la biología sintética desde las ciencias sociales es el modelo de respuesta adaptativa al riesgo. Este modelo destaca la importancia de integrar diferentes grupos de interés vinculados a este campo, debido a su alto grado de incertidumbre, lo que contribuiría a la revisión y actualización constante de los sistemas regulatorios (Mukunda, Oye y Mohr, 2009), así como apelar y propiciar la promoción de un diálogo interdisciplinario basado en enfoques de múltiples partes interesadas (Nordberg et al., 2018).

Para la construcción de modelos adaptativos de riesgo, institucionalmente se ha enfatizado la necesidad de identificar los factores involucrados en la no adaptación de los entes reguladores que, al limitar los procesos de adaptación a los cambios tecnológicos, promueven brechas regulatorias, particularmente en la formulación de políticas internacionales. (Rabitz, 2019). Para minimizar estos factores, Rabitz (2019) sugiere que los procesos de evaluación científica tengan un mayor peso en la formulación de políticas. Además, debido a que la evaluación de riesgos de la biología sintética estaría en su primera fase de desarrollo, Mandel y Marchant (2014) recomiendan una selección de alternativas de "leyes blandas" que podrían proporcionar rápidamente medidas flexibles y adaptables para ayudar a llenar las lagunas normativas. Esto permitiría que una tecnología prometedora como esta se desarrollara lo más rápido posible, sin dejar de proteger adecuadamente ante los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Por otro lado, algunos autores han señalado la necesidad de actuar a diferentes escalas para garantizar la efectividad de estos modelos de respuesta adaptativa. En

este punto, la literatura propone a) incorporar mayor peso a los procesos de evaluación científica en la formulación de políticas internacionales (Rabitz, 2019), b) considerar las realidades institucionales y políticas de un Estado, para determinar su capacidad en la aplicación de estrategias de regulación adaptativa a nivel nacional (Greer y Trump, 2019), y c) reconocer el potencial de auto-gobernanza en la industria privada para la regulación de tecnologías peligrosas (Maurer y Von Engelhardt, 2013).

El carácter excepcional de la tecnología y su potencial sin precedentes presenta grandes desafíos, pero también la oportunidad de desarrollar líneas de jurisprudencia relevantes y adaptar leyes y reglamentos. Las crecientes intersecciones y superposiciones entre leyes, derechos y normativas deben ser tenidas en cuenta en el análisis legal mediante la aplicación de una perspectiva sistémica (Nordberg et al., 2018), así como la promoción de un desarrollo de capacidades de inteligencia en seguridad en salud que permitirían gestionar los potenciales riesgos emergentes asociados con la biología sintética (Walsh, 2020).

Otra área en la que las ciencias sociales ha abordado el tema de su regulación son las políticas públicas efectivas. En este sentido, los autores examinados han propuesto diversas estrategias relacionadas con la regulación de esta tecnología (Thomas, 2011; Forsberg et al., 2016; Tait y Wield, 2019; Sinden, 2018; Ribeiro y Shapira, 2019; Trump et al., 2018). Una de estas estrategias está asociada a herramientas analíticas formales para la toma de decisiones, basadas en indicadores cuantitativos que servirían como primer paso para orientar la gobernanza de las tecnologías emergentes. Mediante estos indicadores se buscaría integrar la información disponible a través de pruebas, así como el juicio de expertos sobre los impactos asociados a las innovaciones (Trump et al., 2018). Así también, tales juicios deberían incluir insumos al modelo de decisión que estén respaldados por deliberaciones más amplias a través de expertos, grupos de interés y formuladores de políticas públicas, e integrarse en procesos participativos para construir diferentes escenarios de gobernanza y opciones de gestión de riesgos. Para la implementación de un modelo de decisión como el descrito, Tait y Wield (2019) afirman que se requiere un incentivo desde las políticas científicas a la innovación en las ciencias de la vida.

Lo anterior plantea la necesidad de examinar las estrategias de toma de decisiones, para lo cual el análisis de escenarios surge como una alternativa para este tipo de estrategias y el diseño de políticas públicas (Sinden, 2018). Sinden (2018) afirma que este tipo de análisis podría navegar con éxito en este traicionero terreno político, lo que permitiría pasar de fórmulas densas y técnicas, que son la impronta de modelos como el análisis costo-beneficio, a formas más transparentes e historias breves y accesibles que permitirían a legos una mejor comprensión de este tipo de tecnología.

Sin embargo, como expone Thomas (2011), también se debería considerar la forma en que interactúan las decisiones gubernamentales y el derecho internacional de comercio e inversión en la promoción de la biología sintética. La importancia de

tal interacción radica en el derecho internacional público y el derecho comercial y de inversiones podría entrar en conflicto con iniciativas para declarar, por ejemplo, aspectos de la fotosíntesis como patrimonio común de la humanidad y, por tanto, abiertos al surgimiento de privilegios a los monopolios intelectuales. Por lo tanto, es importante que se realicen esfuerzos para reducir la posibilidad de tales conflictos, en particular mediante la ampliación de las consideraciones regulatorias, la legitimidad democrática, la transparencia, la responsabilidad del comercio internacional y los procesos de resolución de disputas por inversión (Thomas 2011).

Una forma de promover decisiones políticas sobre la regulación de la biología sintética (Forsberg et al., 2016) sería la evaluación integrada de la ciencia y las tecnologías emergentes. Para ello, los autores proponen TranSTEP (Trans Domain Technology Evaluation Process), un modelo que permitiría integrar todas las visiones sobre evaluación y ayudaría a los tomadores de decisiones y políticos a alinear y ponderar los consejos de asesores de diferentes dominios. El propósito de este enfoque sería evaluar las diferentes visiones en su complejidad como problemas de política, facilitando la comunicación entre los ámbitos de asesoramiento e integrando las evaluaciones actuales.

Otro aspecto clave en esta área de trabajo, que ofrecería la oportunidad de avanzar hacia una mejor regulación de estas tecnologías emergentes, es la colaboración interdisciplinaria (Pauwels, 2012; Meyer, 2013; Wallach, Saner y Marchant, 2018). Pauwels (2012), por un lado, propone la colaboración interdisciplinaria en las ciencias de la vida bajo el título de "nueva biología", ya que estas habrían comenzado a enfocarse en la resolución de problemas sociales como propósito explícito de investigación, produciendo visiones imaginarias de nuestros futuros biotecnológicos y nuevos desafíos para el gobierno. Por otro lado, Meyer (2013) enfatiza que los científicos sociales no deberían reducir su análisis a categorías como lo social, lo legal o lo ético, sino ofrecer relatos relacionales de cómo se entrelazan la historia, el gobierno, la geopolítica y los debates sobre la biología sintética.

Un ejemplo para los estudios éticos desde las ciencias sociales es lo que plantea Rager-Zisman (2012), al analizar en Estados Unidos e Israel las implicaciones de las actitudes éticas y respuestas regulatorias en biología sintética. El autor afirma que estamos en medio de una gran revolución científica que tiene como objetivo desarrollar la ingeniería de la biología y la capacidad de crear vida sintética, cuya finalidad sería mejorar la calidad de vida de las generaciones futuras, pero donde lamentablemente habría un lado negativo de estos interesantes desarrollos, ya que las instituciones locales, nacionales y globales aún son incapaces de controlar las fuerzas que luchan a favor y en contra del desarrollo de este tipo de tecnología emergente. Ante este problema, Mali y Kramberger (2014) destacan la importancia de contar con un modelo adecuado para su regulación social, y así evitar las posibles y numerosas implicaciones negativas, a través de la comprensión de los aspectos éticos, legales y sociales de los avances recientes en las nuevas ciencias.

Por último, los modelos de regulación presentan desafíos para su sostenibilidad, por lo que se han reconsiderado las formas tradicionales de regulación (Hilgartner, 2012; Delborne, Kokotovich y Lunshof, 2020). En este sentido, Hilgartner (2012) contrasta el modo tradicional de regulación de la propiedad intelectual y la perspectiva emergente de la tecnología abierta, como parte de la evaluación de su viabilidad, afirmando que los modelos de marcos regulatorios de código abierto pueden abordar las crecientes presiones sobre cómo gestionar los derechos de propiedad asociados a las tecnologías emergentes en el marco democrático.

3.3. La gobernanza de la biología sintética

En respuesta a las limitaciones de los modos tradicionales de regulación, la literatura destaca formas de gobernanza como la complementaria y la anticipatoria. Uno de estos enfoques complementarios es la gobernanza de la innovación, que según Stemerding et al. (2019) enfatiza la necesidad de herramientas y una infraestructura de co-creación como requisitos cruciales para prácticas inclusivas, reflexivas y receptivas en la construcción del futuro.

En este enfoque, las ciencias sociales han planteado la necesidad de considerar la gobernanza en la formulación de políticas como una respuesta a los desafíos que conlleva su surgimiento (van Doren y Heyen, 2014), para lo que se han propuesto cambios en la investigación de las implicaciones éticas, legales y sociales (Douglas y Stemerding, 2014). En términos prácticos, Douglas y Stemerding (2014) plantean, en salud humana por ejemplo, una postura menos antagónica para afrontar el desafío que plantea la articulación de políticas concretas, contribuyendo de manera crítica y colaborativa a los debates sobre cómo, y bajo qué condiciones, la biología sintética podría abordar importantes problemas y objetivos de salud pública y humana a nivel mundial. En este sentido, Wiek et al. (2012) proponen discutir el imaginario de ésta como una oportunidad para dar forma a este campo, avanzar hacia resultados sostenibles, y realizar recomendaciones sobre cómo los financiadores de investigación podrían aprovechar esta oportunidad.

Uno de los puntos que la gobernanza ha enfatizado en este campo científico es la inclusión de la ciudadanía. En este desafío, Pauwels (2012), Meyer (2013) y Delborne, Kokotovich y Lunshof (2020) han evaluado la idoneidad de un modelo derivado del enfoque SLO (Social License to Operate), encontrando que es inapropiado, ya que propone una concepción limitada de la inclusión. En consecuencia, estos autores proponen modelos de Investigación e Innovación Responsable (RRI), Ciencia Responsiva, y asumen la experiencia del programa de Biocontrol Genético de Roedores Invasores (GBIRD), como una oportunidad para ampliar la conversación sobre cómo reconocer, respetar, e incluir valores públicos en la gobernanza de la biología sintética. De esta manera, sería necesario diseñar nuevos enfoques de gobernanza, perfeccionar los métodos utilizados para analizar el impacto

de las tecnologías emergentes y comprender mejor los valores que dan forma a nuestras decisiones (Wallach, Saner y Marchant, 2018).

Debido al alto grado de incertidumbre en torno a la biología sintética, un tema recurrente en la investigación que se encuentra en la revisión de la literatura tiene que ver con la gobernanza anticipatoria. Según Mukunda, Oye y Mohr (2009), las estrategias de gobernanza deben diseñarse asumiendo que deben actualizarse a medida que la información esté disponible. Por otro lado, Ribeiro y Shapira (2019) han identificado cinco áreas de interés para la gobernanza anticipatoria y el desarrollo responsable de la biología sintética: a) atención a aspectos de justicia social y distributiva; b) particularidades políticas y geográficas de los arreglos sociotécnicos; c) supuestos sobre sostenibilidad ambiental; d) consecuencias de la evolución de las infraestructuras, formas de trabajo y modelos de negocio sobre las nuevas formas de producción; y e) la forma en que los ciudadanos perciben la incertidumbre de las nuevas tecnologías en el contexto de sus prácticas cotidianas.

En este tipo de gobernanza parece haber consenso en que esta tecnología necesita ser supervisada. Por tanto, para que la gobernanza anticipatoria sea eficaz, se deben abordar los problemas relacionados con la supervisión y los factores que determinan su aceptación (Kuzma y Tanji, 2010; Mandel y Marchant, 2014; Sinden, 2018; Hagen, 2016; Oliver, 2018). Sin embargo, queda la pregunta de qué tipo de sistema de monitoreo sería el más adecuado para lograr los objetivos y cómo estos podrían conciliar las cuestiones relacionadas con la propiedad intelectual, la transparencia, la participación pública, la bioseguridad, la biotecnología y los valores en la toma de decisiones (Kuzma y Tanji, 2010).

En este sentido, Hagen (2016) analiza críticamente las agendas de la comunidad científica y las instituciones para evitar la oposición a la biología sintética en el debate público, mientras que Kuzma y Tanji (2010) anticipan preocupaciones sociales en torno a ella, identificando problemas de política asociados con su supervisión (antes de su desarrollo), argumentando que para algunas aplicaciones, como la síntesis de partes biológicas o sistemas de partes no vivas, las estrategias permisivas promoverán mayor bienestar social. Para otras aplicaciones, como células vivas altamente diseñadas en medicina, alimentación, agricultura y medio ambiente, serían apropiados regímenes más restrictivos.

A nivel institucional, existen desafíos que enfrentan diferentes países como Estados Unidos, la Unión Europea y Singapur en torno a la regulación de la biología sintética. Autores como Trump (2017) examinan, en primer lugar, la cultura de riesgo regulatorio en los países antes mencionados y, en segundo lugar, cómo un enfoque impulsado por TAPIC (modelo de gobernanza, llamado así por sus componentes fundamentales: transparencia, rendición de cuentas, participación, integridad y capacidad) puede identificar las brechas en la gobernanza de la biología sintética y priorizar sus necesidades futuras, basándose en el estado actual de la ciencia. Un enfoque desde este modelo, serviría para identificar brechas y necesidades de una gobernanza adaptativa, siendo clave para esto revisar a) las limitaciones que puede

acarrear el tener datos insuficientes para una correcta evaluación de riesgos y b) situaciones en las que los arreglos institucionales existentes no sean plenamente capaces de regular el proceso de desarrollo sin la participación y el empoderamiento de los actores asociados a la industria, la academia y las ONGs.

A lo anterior, existen desafíos para la gobernanza anticipatoria que se relacionan con la dificultad de articular políticas concretas en torno a estas tecnologías emergentes. En este sentido, van Doren y Heyen (2014) examinan la naturaleza y el propósito de las evaluaciones de la biología sintética en Alemania y analizan su papel en los procesos de formulación de políticas. En general, el estado actual de las evaluaciones parece estar caracterizado por una fase de desarrollo inicial y una falta de enfoques participativos.

Dado el potencial de la biología sintética para resolver problemas, sería inmoral, según este relato, no evitar controversias y regulaciones innecesarias, por lo que el principal problema con la narrativa de compromiso y legitimación de esta es que no toma en cuenta la dimensiones políticas inherentes a las perspectivas éticas y sociales. Así lo ratifica Oliver (2018), al visibilizar las limitaciones de la economía del comportamiento para entender su aceptación pública, afirmando que incluso si las variables relevantes pudieran limitarse a las asumidas tradicionalmente por el CBA (Análisis Costo-Beneficio), no habría suficiente información disponible para producir evaluaciones completamente informadas de sus aplicaciones. Sin embargo, otros factores no contemplados por Oliver (2018), que podrían impactar en el CBA, incluyen el efecto influyente de los pares o la cobertura mediática de fenómenos que podrían estar asociados indirectamente con ella (como el terrorismo). Wallach, Saner y Marchant (2018) proponen un enfoque más amplio que el CBA para la gobernanza de este tipo de tecnología, considerando las múltiples formas en que el conocimiento científico podría incorporarse al debate de políticas públicas. Expresan que será necesario un convenio colectivo, pero es poco probable que sea suficiente para la formulación de políticas sobre aplicaciones tan complejas.

Por lo tanto, el desarrollo de la capacidad de abordar los riesgos asociados con las bioeconomías sintéticas de manera anticipatoria requiere la capacidad de modelar transformaciones bioeconómicas complejas que incluyen disciplinas biológicas, económicas, de ingeniería y sociológicas (Miller, 2015). Esto significa que dichos enfoques deben ampliarse para incluir a) un tratamiento más sofisticado de la dimensión social, ecológica y epidemiológica de las bioeconomías, b) más análisis cruzado que vayan más allá de los límites de los productos individuales y las cadenas de suministro para comprender cómo se cruzan múltiples sistemas y cadenas de productos y c) nuevos métodos para estudiar la dinámica de sistemas complejos que mezclan lo que se puede medir cuantitativamente y modelar computacionalmente con estrategias de investigación que examinan la dinámica social e institucional, entre otros (Miller, 2015).

Finalmente, y como propuesta para avanzar en los métodos de gobernanza anticipatoria para biología sintética, Cummings y Kuzma (2017) desarrollan un

modelo de Evaluación de Riesgo Social (SRES). Desde un punto de vista teórico, para los autores este modelo ilustra la aplicabilidad del paradigma psicométrico para su evaluación y describen cómo el SRES puede incorporarse a los modelos de gobernanza anticipatoria como instrumento de selección para priorizar la investigación, la recopilación de información y el diálogo ante la limitada capacidad de los sistemas de gobernanza. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que obtiene datos sobre casos específicos de biología sintética con el objetivo de desarrollar la teoría y herramientas para la gobernanza del riesgo.

3.4. Las controversias de la biología sintética

Las controversias han sido relevantes en el desarrollo de la biología sintética (Stemerding et al., 2019), por lo que es necesario abordarlas y problematizarlas para comprender su aceptación y rechazo. Las ciencias sociales han abordado este tema, por un lado, considerando las negociaciones, oposiciones, imaginarios y percepciones (Marris, Jefferson y Lentzos, 2014; Ineichen, Biller-Andorno y Deplazes-Zemp, 2017; Akin et al., 2017; Rose et al., 2018) y, por otro lado, el rol de los medios de comunicación en la aceptación de estas tecnologías.

En cuanto a los imaginarios de la biología sintética, la literatura ha evidenciado que las preocupaciones predominantes refieren a los riesgos y no a la inmoralidad inherente a estas tecnologías (Ineichen, Biller-Andorno y Deplazes-Zemp, 2017). Por ejemplo, se han realizado estudios en estudiantes universitarios que demuestran que para este colectivo las asociaciones atribuidas a la biología sintética eran más positivas que las de la biotecnología agrícola, pero no tan favorables como las de la nanotecnología. Estos resultados, como indicaciones generales, sirven de orientación para investigar el imaginario de las tecnologías emergentes de manera longitudinal y prospectiva.

Contradictoriamente, con respecto a las actitudes hacia esta tecnología, Akin et al. (2017) han descubierto que los estadounidenses expresan más reservas sobre la desventaja moral de esta que sobre otros temas. El estudio realizado por estos autores revela que valores y predisposiciones, como la religiosidad, la deferencia a la autoridad científica y la confianza en los científicos, están vinculados al apoyo a esta tecnología. Esto se explicaría por las diferentes percepciones, que pueden reflejar un rango de puntos de vista sobre los aspectos morales y regulatorios de la ciencia, basados en diferentes valores y juicios profesionales (Rose et al., 2018).

Entre las distintas percepciones asociadas a la biología sintética, se ha destacado la comprensión de la naturalidad o antinaturalidad como un atributo que genera preocupación entre las personas, tanto laicas como expertas. Según Ditlevsen et al. (2020), a pesar de tener diferentes entendimientos de lo natural, ambos grupos comparten una preocupación por sus posibles aplicaciones, considerando la naturalidad de esta tecnología emergente en sus argumentos.

Otro tema emergente en esta relación es la interacción entre los sistemas sociales y biológicos para comprender la percepción pública y su debate (Lentzos, 2009; Ancillotti et al., 2016; Rerimassie, 2016; Marris y Calvert, 2020). En esta línea se han explorado las controversias en torno a la biología sintética y el futuro, aunque con menor frecuencia, en lo que respecta al debate público, donde Torgersen y Schmidt (2013) han evaluado modelos que permiten proyectar cómo evolucionaría este debate. Su propuesta busca evitar compararla con la Biotecnología y distanciarse de los marcos de riesgo, como un aspecto que podría parecer deseable para quienes promueven la tecnología, pero menos deseable para quienes buscan estimular un debate público. Ahora bien, la comparación con la nanotecnología, por ejemplo, puede tomarse como un éxito en términos de imagen pública de la tecnología, pero no en términos de simulación de un debate público. Por lo tanto, cuando se desea simular un debate público, se debe aclarar la conceptualización del público, haciendo explícita cualquier agenda potencial, incluso si esto resulta en un conflicto, ya que este último puede verse como el mejor estímulo para el debate (Torgersen y Schmidt, 2013). Sin embargo, el desconocimiento generalizado del público, debido principalmente a la ausencia de productos que acerquen la tecnología a las personas -a diferencia de los OGM-, genera una mayor polémica que la biología sintética. Esto se evidenciaría si se utiliza el modelo de la "puerta de resonancia", el cual muestra que existen pocos argumentos que apoyen una potencial controversia y que esta sea similar a las contradicciones que ocurren con los cultivos genéticamente modificados (Torgersen y Hampel, 2012). Sin embargo, cuando se dé a conocer públicamente su incorporación a la industria alimentaria, como puede ser el caso del uso de vacunas sintéticas en la producción animal, dicha "pasividad" podría cambiar (Ditlevsen et al., 2020).

Finalmente, Bauer y Bogner (2020) afirman que se han generado y reproducido los marcos establecidos de debates tecnológicos previos, como la ética, el riesgo, el progreso social y científico, la economía y la gobernanza, por lo que la profundización en los análisis de las narrativas, temas y argumentos de estos marcos y debates, nos ayudaría a mostrar que han tenido importantes reconfiguraciones. De ello se desprende que los marcos tradicionales que sirvieron para problematizar la biotecnología, es decir, la ética, los riesgos y la economía (Bogner y Torgersen, 2015) ahora se han vuelto menos relevantes, lo que llevaría al desplazamiento de la noción tradicional de la "tecnología como conflicto" (Torgersen y Schmidt, 2013). En cambio, el debate actual sobre biología sintética se ha desplazado a tres marcos: (1) la tendencia hacia meta-marcos; (2) el optimismo tecnológico; y (3) el papel ambiguo de la biología del bricolaje ("Hágalo usted mismo"). Ahora, estos marcos están abordando, según Gronvall (2018), los riesgos potenciales asociados con el avance y su democratización para la seguridad nacional e internacional.

En cuanto a los medios de comunicación, estos son y serán cruciales para aceptar la biología sintética. Las ciencias sociales han explorado, por un lado, cómo se ha dado su cobertura en los medios (Gschmeidler y Seiringer, 2012; Ancillotti et

al., 2016; Su et al., 2020), principalmente como una estrategia para comprender hasta qué punto la comunicación sobre este tipo de tecnología influye en la percepción de las mismas. En los medios alemanes, por ejemplo, esta no se ha separado claramente de la tecnología genética (Gschmeidler y Seiringer, 2012). En este sentido, muchas metáforas y analogías utilizadas para describir la tecnología genética también se pueden encontrar en su cobertura; sin embargo, las metáforas de ingeniería son más prominentes. Otro ejemplo es un estudio sobre la prensa nórdica (Ancillotti et al., 2016) en el que se evidenció que su cobertura fue impulsada por eventos y que existían sorprendentes similitudes entre países según el escenario, el uso del idioma y temas cubiertos. Los estudios mostraron una marcada dependencia de sus fuentes, principalmente científicas y de stakeholders, impulsando así la agenda mediática. La presentación en los medios fue positiva, con una visión optimista de los beneficios futuros y muy poca discusión sobre los riesgos potenciales (Su et al., 2020). En general, el panorama que se perfila es ambivalente, por lo que las perspectivas de un mayor desarrollo del debate público son inciertas.

4. CONCLUSIONES Y DESAFÍOS PARA LAS CIENCIAS SOCIALES

Desde sus inicios, la biología sintética se ha asociado a las ciencias sociales por el interés de comprender sus riesgos, gobernarlos y aprovechar los beneficios que ofrece. Sin embargo, crece la necesidad de un trabajo interdisciplinario, donde las ciencias sociales deben profundizar, reevaluar su rol y colaborar con las ciencias naturales para explicar los traslapes entre historia, gobernabilidad, geopolítica y debates públicos en el marco del desarrollo que ha experimentado (Meyer, 2013). Así, el trabajo interdisciplinario permitiría dar mayor claridad a la definición formal de biología sintética, aspecto que actualmente representa una limitación en el desarrollo de la investigación interdisciplinaria.

Por lo tanto, esta revisión nos permite identificar las formas en las que los riesgos implicados en la biología sintética interactúan, influyen y se coproducen, constituyendo un campo fructífero para futuros análisis. Asimismo, la revisión sugiere que en el futuro podría haber diferentes formas de problematizarla (y las tecnologías emergentes), distintas a las perspectivas de riesgo, ética o economía, viendo particularmente prometedora su relación con las tecnologías de la información (por ejemplo, el fenómeno de los biohackers) (Bogner y Torgersen, 2015).

El principal desafío en torno a los riesgos estaría vinculado a su comunicación, debido al desconocimiento público de esta tecnología, que en general se aborda de manera genérica junto a tecnologías como los OGM. Esto ha llevado a la generación de sesgos creados por la “fobia a la biología sintética”, que ha impulsado el modelo ELSI y que como estrategia de gestión de riesgos es limitada, por lo que es necesario desarrollar estrategias nuevas, más amplias y que incluyan a múltiples actores en su desarrollo.

Además, la comunicación de riesgos no debería provocar un pánico falso o innecesario entre las personas, principalmente debido a) a la alta incertidumbre que aún existe en torno a esta tecnología, b) sus limitadas aplicaciones visibles al público, y c) el hecho de que sus riesgos se asocian principalmente con su mal uso y no con la tecnología como tal. Por eso es necesario desarrollar una investigación responsable en torno al diseño y desarrollo de la biología sintética, que permita anticiparnos y prepararnos ante los potenciales riesgos de sus posibles aplicaciones.

En consecuencia, la literatura muestra los riesgos y la comunicación como relevantes, pues están creando una audiencia científica y generalizada que se difunde a través de los medios de comunicación. Queda por ver si estas audiencias se reforzarán o antagonizarán entre sí en relación a cómo estaría incrustada afectivamente en el discurso público y cómo reaccionarían los científicos a esta recepción (Gschmeidler y Seiringer, 2012). Dada la incertidumbre y los miedos que produce este tipo de tecnología, también se puede deducir la importancia de la comunicación de riesgos, no tanto enfocada a los medios de comunicación, sino asociada a instituciones políticas, privadas y de la sociedad civil que tendrán el propósito de comunicar de manera confiable y transparentemente sus ventajas y desventajas.

Los desafíos de la regulación ante las lagunas legales sería promover formas más flexibles y adaptables a través de un "derecho indicativo/flexible", que estuviera orientado a proteger el desarrollo y su impacto en la población y el medio ambiente (Rabitz, 2019; Mandel y Marchant, 2014). En este punto, la literatura enfatiza en leyes cambiantes y adaptables basadas en la nueva información que se puede generar, respondiendo eficazmente a la demanda de regulación, sin limitar el rápido desarrollo tecnológico (Rabitz, 2019; Mandel y Marchant, 2014; Mukunda, Oye y Mohr, 2009). Por otro lado, es relevante considerar el desempeño de las leyes a escala nacional e internacional, así como también tener en cuenta los sistemas de inteligencia ante los impactos de la biología sintética (Walsh, 2020; Greer y Trump, 2019; Nordberg et al., 2018).

Otro desafío a explorar es la cuestión de si el análisis de escenarios, como estrategia de toma de decisiones, puede trasladarse con éxito al dominio de las políticas públicas, donde la toma de decisiones está marcada por grandes disparidades de riqueza, poder, objetivos, prioridades y valores que difieren ampliamente entre las partes interesadas (Sinden, 2018). Por lo tanto, una forma de promover decisiones políticas sobre su regulación sería la evaluación integrada de la ciencia y las tecnologías emergentes. Este aspecto es declarado y explorado por Forsberg et al. (2016), quienes entienden la necesidad de un enfoque integrado para evaluar la complejidad del tema como problemas de política, facilitando la comunicación entre los ámbitos de asesoramiento e integrando las evaluaciones actuales.

Los desafíos de la gobernanza están asociados con la incertidumbre que rodea a la biología sintética y su ausencia en el debate público. Este punto exigiría que las estrategias de gobernanza se anticipen a los posibles riesgos, por lo que las políticas

públicas para su regulación deben construirse bajo un esquema de adaptación, que permita su actualización y corrección a partir de la nueva información disponible (Mukunda, Oye y Mohr, 2009). Así también, en esta dimensión existiría un relación entre quién gobierna y las consecuencias en el rol de la toma de decisiones. Por lo tanto, la apertura a esta tecnología es parte de la discusión, en contraste con la propiedad intelectual privada la cual parece ser efectiva en este ámbito (Nordberg et al., 2018).

Otro desafío en esta línea es si la biología sintética se guiará o no por las patentes. Según la literatura, esta área problemática busca dar respuesta, entre otras, a la pregunta sobre cómo los derechos de propiedad de las tecnologías emergentes impactan en la toma democrática de decisiones, debido a que estas tecnologías podrían reducirse a monopolios intelectuales. Por lo tanto, un área de trabajo en este tema está relacionada con la realización de un diálogo de múltiples actores para minimizar la posibilidad de conflicto, aumentando la expansión de las consideraciones normativas. Sin embargo, esto llevaría tiempo, lo que implica observar y avanzar hacia el desarrollo de la legislación nacional, y las limitaciones que esto implica a nivel internacional, donde las consideraciones normativas pueden entrar en conflicto con las iniciativas individuales.

Finalmente, lo que debería abordarse de mejor forma, y profundizarse como desafío, es la viabilidad de implementar modelos de políticas públicas de innovación más democráticos y basados en valores que permitan modos de gobernanza más inclusivos, reflexivos y participativos (Tait y Wield, 2019; Delborne, Kokotovich y Lunshof, 2020; B. Trump et al., 2018; Stemerding et al., 2019). Por tanto, la investigación nos urge a seguir avanzando en procesos de formulación de políticas públicas que pasen de enfoques técnicos a marcos deliberativos, transparentes e interdisciplinarios (Sinden, 2018; Pauwels, 2012; Meyer, 2013).

Los desafíos asociados a las controversias, según la revisión de la literatura, están asociados al desarrollo de una estrategia para regular el juicio de los expertos. Esto representa un desafío para las ciencias sociales, en el sentido de que aún hay que profundizar en las diferencias entre las posiciones de los expertos, que pueden variar en función de la percepción de la naturalidad de la biología sintética, más que en aspectos éticos.

Ante las oposiciones y controversias, más allá de las formas de gobernanza, la supervisión y la percepción de los diferentes actores relacionados con la biología sintética, se abre la posibilidad de avanzar hacia una "sociología de la aceptabilidad" (Meyer, 2017). En lugar de etiquetar los discursos que defienden la aceptación social como ingenuos o positivistas, o los opositores como antidemocráticos o demasiado radicales, el enfoque de la aceptabilidad puede ofrecer un punto de entrada útil para problematizar dispositivos como los debates públicos. Por tanto, la sociología de la aceptabilidad debería tender a intentar desarrollar tipos de respuestas complejas y flexibles a las críticas: aceptarlas (tomarlas en serio y tratarlas analíticamente), no

aceptarlas (confrontarlas y mostrar sus limitaciones) o invertirlas (alterar su significados iniciales) (Meyer, 2017).

REFERENCIAS.

- Aghaei Chadegani, A.; Salehi, H., Md Yunus, M. M.; Farhadi, H.; Fooladi, M.; Farhadi, M.; Ale Ebrahim, N. (2013). A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases. *Asian Social Science*, 9 (5), 18–26. <https://doi.org/10.5539/ass.v9n5p18>
- Ahteensuu, M. (2017). Synthetic Biology, Genome Editing, and the Risk of Bioterrorism. *Science and Engineering Ethics*, 23 (6), 1541–1561. <https://doi.org/10.1007/s11948-016-9868-9>
- Akin, H.; Rose, K. M.; Scheufele, D. A.; Simis-Wilkinson, M.; Brossard, D.; Xenos, M. A.; Corley, E. A. (2017). Mapping the landscape of public attitudes on synthetic biology. *BioScience*, 67 (3), 290–300. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw171>
- Ancillotti, M.; Rerimassie, V.; Seitz, S. B.; Steurer, W. (2016). An Update of Public Perceptions of Synthetic Biology: Still Undecided? *NanoEthics*, 10 (3), 309–325. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0256-3>
- Bauer, A.; Bogner, A. (2020). Let's (not) talk about synthetic biology: Framing an emerging technology in public and stakeholder dialogues. *Public Understanding of Science*, 29 (5), 492–507. <https://doi.org/10.1177/0963662520907255>
- Bogner, A.; Torgersen, H. (2015). Different ways of problematising biotechnology – and what it means for technology governance. *Public Understanding of Science*, 24 (5), 516–532. <https://doi.org/10.1177/0963662514539074>
- Cummings, C. L.; Kuzma, J. (2017). Societal Risk Evaluation Scheme (SRES): Scenario-based multi-criteria evaluation of synthetic biology applications. *PLoS ONE*, 12 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168564>
- Delborne, J. A.; Kokotovich, A. E.; Lunshof, J. E. (2020). Social license and synthetic biology: the trouble with mining terms. *Journal of Responsible Innovation*, 0 (0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/23299460.2020.1738023>
- Di Paola, L.; Giuliani, A. (2018). Multiscale synthetic biology: from molecules to ecosystems. En Piemonte, V.; Basile, A.; Ito, T.; Marrelli, L. (Eds.), *Biomedical*

- engineering challenges: a chemical engineering insight* (pp. 97-117) Chichester: Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119296034.ch6>
- Diéguez, A. (2017). *Transhumanismo. La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*. Herder.
- Diéguez, A. (2020). Edición genética en humanos y la necesaria pregunta por los fines. *Encuentros En La Biología*, 12 (170), 11–15.
- Ditlevsen, K.; Glerup, C.; Sandøe, P.; Lassen, J. (2020). Synthetic livestock vaccines as risky interference with nature? Lay and expert arguments and understandings of “naturalness.” *Public Understanding of Science*, 29 (3), 289–305. <https://doi.org/10.1177/0963662520906083>
- Douglas, C. M. W.; Stemerding, D. (2014). Challenges for the European governance of synthetic biology for human health. *Life Sciences, Society and Policy*, 10 (1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40504-014-0006-7>
- Faunce, T. A. (2011). Will international trade law inhibit or promote global artificial photosynthesis? *Asian Journal of WTO and International Health Law and Policy*, 6 (2), 313–347.
- Ferry, L. (2017). *La revolución transhumanista*. madrid: Alianza.
- Forsberg, E. M.; Ribeiro, B.; Heyen, N. B.; Nielsen, R. Ø.; Thorstensen, E.; de Bakker, E.; Klüver, L.; Reiss, T.; Beekman, V.; Millar, K. (2016). Integrated assessment of emerging science and technologies as creating learning processes among assessment communities. *Life Sciences, Society and Policy*, 12 (1). <https://doi.org/10.1186/s40504-016-0042-6>
- Funk, M.; Steizinger, J.; Falkner, D.; Eichinger, T. (2019). From Buzz to Burst—Critical Remarks on the Term ‘Life’ and Its Ethical Implications in Synthetic Biology. *NanoEthics*, 13 (3), 173–198. <https://doi.org/10.1007/s11569-019-00361-4>
- Greer, S. L.; Trump, B. (2019). Regulation and regime: the comparative politics of adaptive regulation in synthetic biology. *Policy Sciences*, 52 (4), 505–524. <https://doi.org/10.1007/s11077-019-09356-0>
- Gronvall, G. (2018). The security implications of synthetic biology. *Survival*, 60 (4), 165–180. <https://doi.org/10.1080/00396338.2018.1495443>

- Gschmeidler, B.; Seiringer, A. (2012). “knight in shining armour” or “frankenstein’s creation”? the coverage of synthetic biology in German-language media. *Public Understanding of Science*, 21 (2), 163–173. <https://doi.org/10.1177/0963662511403876>
- Hagen, K. (2016). Science Policy and Concomitant Research in Synthetic Biology—Some Critical Thoughts. *NanoEthics*, 10 (2), 201–213. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0267-0>
- Hilgartner, S. (2012). Novel constitutions? New regimes of openness in synthetic biology. *BioSocieties*, 7 (2), 188–207. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2012.5>
- Holm, S. (2019). Deciding in the Dark: The Precautionary Principle and the Regulation of Synthetic Biology. *Ethics, Policy and Environment*, 22 (1), 61–71. <https://doi.org/10.1080/21550085.2019.1581419>
- Ineichen, C., Biller-Andorno, N.; Deplazes-Zemp, A. (2017). Image of synthetic biology and nanotechnology: A survey among university students. *Frontiers in Genetics*, 8 (SEP), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00122>
- Katz, L.; Chen, Y. Y.; Gonzalez, R.; Peterson, T. C.; Zhao, H.; Baltz, R. H. (2018). Synthetic biology advances and applications in the biotechnology industry: a perspective. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 45 (7), 449–461. <https://doi.org/10.1007/s10295-018-2056-y>
- Keshava, R.; Mitra, R.; Gope, M.; Gope, R. (2018). Synthetic biology: overview and applications. En Barh, D.; Azevedo, V. (Eds.), *Omics technologies and bio-engineering. Towards improving quality of life* (pp. 63–93). Cambridge: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804659-3.00004-X>
- König, H.; Frank, D.; Heil, R.; Coenen, C. (2016). Synthetic biology’s multiple dimensions of benefits and risks: Implications for governance and policies. En Boldt, J. (Ed.), *Synthetic Biology* (pp. 217–232). Wiesbaden: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-658-10988-2_14
- Kuiken, T.; Dana, G.; Oye, K.; Rejeski, D. (2014). Shaping ecological risk research for synthetic biology. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4 (3), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0171-2>
- Kuzma, J.; Tanji, T. (2010). Unpackaging synthetic biology: Identification of oversight policy problems and options. *Regulation and Governance*, 4 (1), 92–112. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5991.2010.01071.x>

- Lai, H. E.; Canavan, C.; Cameron, L.; Moore, S.; Danchenko, M.; Kuiken, T.; Sekeyová, Z.; Freemont, P. S. (2019). Synthetic Biology and the United Nations. *Trends in Biotechnology*, 37 (11), 1146–1151. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.05.011>
- Lentzos, F. (2009). Synthetic Biology in the Social Context: The UK Debate to Date. *BioSocieties*, 4 (2–3), 303–315. <https://doi.org/10.1017/S1745855209990172>
- Luhmann, N. (1992). *Sociología del riesgo*. México DF: Universidad Iberoamericana y Universidad de Guadalajara.
- Mali, F.; Kramberger, A. (2014). Recent challenges in the social regulation of new emerging technologies: The case of synthetic biology franc Mali, Anton kramberger. *Teorija in Praksa*, 51 (5), 850–865.
- Mandel, G. N.; Marchant, G. E. (2014). The living regulatory challenges of synthetic biology. *Iowa Law Review*, 100 (1), 155–200. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2410179>
- Marris, C. (2015). The Construction of Imaginaries of the Public as a Threat to Synthetic Biology. *Science as Culture*, 24 (1), 83–98. <https://doi.org/10.1080/09505431.2014.986320>
- Marris, C.; Calvert, J. (2020). Science and Technology Studies in Policy: The UK Synthetic Biology Roadmap. *Science Technology and Human Values*, 45 (1), 34–61. <https://doi.org/10.1177/0162243919828107>
- Marris, C.; Jefferson, C.; Lentzos, F. (2014). Negotiating the dynamics of uncomfortable knowledge: The case of dual use and synthetic biology. *BioSocieties*, 9 (4), 393–420. <https://doi.org/10.1057/biosoc.2014.32>
- Maurer, S. M.; Von Engelhardt, S. (2013). Industry self-governance: A new way to manage dangerous technologies. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 69 (3), 53–62. <https://doi.org/10.1177/0096340213486126>
- Meyer, M. (2013). Assembling, governing, and debating an emerging science: The rise of synthetic biology in France. *BioScience*, 63 (5), 373–379. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.5.10>
- Meyer, M. (2017). “Participating means accepting”: debating and contesting synthetic biology. *New Genetics and Society*, 36 (2), 118–136.

<https://doi.org/10.1080/14636778.2017.1320942>

- Miller, C. A. (2015). Modeling risk in complex bioeconomies. *Journal of Responsible Innovation*, 2 (1), 124–127. <https://doi.org/10.1080/23299460.2014.1002060>
- Mukunda, G.; Oye, K. A.; Mohr, S. C. (2009). What rough beast? Synthetic biology, uncertainty, and the future of biosecurity. *Politics and the Life Sciences*, 28 (2), 2–26. https://doi.org/10.2990/28_2_2
- Nesbeth, D. (2016). Introduction. En Nesbeth, D. *Synthetic Biology Handbook* (pp. ix–xiv). New Wales: CRC Press.
- Nordberg, A.; Minssen, T.; Holm, S.; Horst, M.; Mortensen, K.; Møller, B. L. (2018). Cutting edges and weaving threads in the gene editing (ya{cyrillic})evolution: Reconciling scientific progress with legal, ethical, and social concerns. *Journal of Law and the Biosciences*, 5 (1), 35–83. <https://doi.org/10.1093/jlb/lxx043>
- Oliver, A. (2018). Behavioral Economics and the Public Acceptance of Synthetic Biology. *Hastings Center Report*, 48 (February), S50–S55. <https://doi.org/10.1002/hast.819>
- Pauwels, E. (2012). A reflection on the notion of cohabitation within and beyond the walls of life sciences. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 3 (2), 1–10. <https://doi.org/10.4018/jsesd.2012040101>
- Pei, L.; Gaisser, S.; Schmidt, M. (2012). Synthetic biology in the view of european public funding organisations. *Public Understanding of Science*, 21 (2), 149–162. <https://doi.org/10.1177/0963662510393624>
- Rabitz, F. (2019). Institutional Drift in International Biotechnology Regulation. *Global Policy*, 10 (2), 227–237. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12652>
- Rager-Zisman, B. (2012). Ethical and regulatory challenges posed by synthetic biology. *Perspectives in Biology and Medicine*, 55 (4), 590–607. <https://doi.org/10.1353/pbm.2012.0043>
- Rerimassie, V. (2016). Exploring Political Views on Synthetic Biology in the Netherlands. *NanoEthics*, 10 (3), 289–308. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0257-2>
- Ribeiro, B.; Shapira, P. (2019). Anticipating governance challenges in synthetic

- biology: Insights from biosynthetic menthol. *Technological Forecasting and Social Change*, 139 (May 2018), 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.11.020>
- Rose, K. M.; Howell, E. L.; Scheufele, D. A.; Brossard, D.; Xenos, M. A.; Shapira, P.; Youtie, J.; Kwon, S. (2018). The values of synthetic biology: Researcher views of their field and participation in public engagement. *BioScience*, 68 (10), 782–791. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy077>
- Shapira, P.; Youtie, J.; Li, Y. (2015). Social science contributions compared in synthetic biology and nanotechnology. *Journal of Responsible Innovation*, 2 (1), 143–148. <https://doi.org/10.1080/23299460.2014.1002123>
- Sinden, A. (2018). Lessons from Environmental Regulation. *Hastings Center Report*, 48 (February), S56–S64. <https://doi.org/10.1002/hast.820>
- Stemerding, D.; Betten, W.; Rerimassie, V.; Robaey, Z.; Kupper, F. (2019). Future making and responsible governance of innovation in synthetic biology. *Futures*, 109, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.11.005>
- Su, L. Y. F.; Scheufele, D. A.; Brossard, D.; Xenos, M. A. (2020). Political and personality predispositions and topical contexts matter: Effects of uncivil comments on science news engagement intentions. *New Media and Society*. <https://doi.org/10.1177/1461444820904365>
- Tait, J.; Wield, D. (2019). Policy support for disruptive innovation in the life sciences. *Technology Analysis and Strategic Management*, 0 (0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/09537325.2019.1631449>
- Torgersen, H.; Hampel, J. (2012). Calling controversy: Assessing synthetic biology's conflict potential. *Public Understanding of Science*, 21 (2), 134–148. <https://doi.org/10.1177/0963662510389266>
- Torgersen, H.; Schmidt, M. (2013). Frames and comparators: How might a debate on synthetic biology evolve? *Futures*, 48, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.02.002>
- Trump, B. D.; Cummings, C.; Kuzma, J.; Linkov, I. (2018). A decision analytic model to guide early-stage government regulatory action: Applications for synthetic biology. *Regulation and Governance*, 12 (1), 88–100. <https://doi.org/10.1111/rego.12142>

- Trump, B. D. (2017). Synthetic biology regulation and governance: Lessons from TAPIC for the United States, European Union, and Singapore. *Health Policy*, 121 (11), 1139–1146. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2017.07.010>
- Trump, B. D.; Cegan, J.; Wells, E.; Poinssatte-Jones, K.; Rycroft, T.; Warner, C.; Martin, D.; Perkins, E.; Wood, M. D.; Linkov, I. (2019). Co-evolution of physical and social sciences in synthetic biology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 39 (3), 351–365. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1566203>
- Trump, B., Cummings, C., Galaitsi, S.E., Kuzma, J. and Linkov, I. (2020). Synthetic Biology: Perspectives on Risk Analysis, Governance, Communication, and ELSI. In Trump, B., Cummings, C., Kuzma, J. and Linkov, I. (Eds), *Synthetic Biology 2020. Frontiers in Risk Analysis and Governance* (pp 1-18). Switzerland: Springer.
- van Doren, D.; Heyen, N. B. (2014). Synthetic biology: Too early for assessments? A review of synthetic biology assessments in Germany. *Science and Public Policy*, 41 (3), 272–282. <https://doi.org/10.1093/scipol/scu034>
- van Eck, N. J.; Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84 (2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wallach, W.; Saner, M.; Marchant, G. (2018). Beyond Cost-Benefit Analysis in the Governance of Synthetic Biology. *Hastings Center Report*, 48 (February), S70–S77. <https://doi.org/10.1002/hast.822>
- Walsh, P. F. (2020). Improving ‘Five Eyes’ health security intelligence capabilities: leadership and governance challenges. *Intelligence and National Security*, 00 (00), 1–17. <https://doi.org/10.1080/02684527.2020.1750156>
- Wiek, A.; Guston, D.; Frow, E.; Calvert, J. (2012). Sustainability and anticipatory governance in synthetic biology. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 3 (2), 25–38. <https://doi.org/10.4018/jesd.2012040103>