



# LA CAJA NEGRA DE LA BIOTECNOLOGÍA

**Integración de la inteligencia artificial con la biología sintética:**  
Afrontar los riesgos, controversias y desigualdades de la biología generativa



SEPTIEMBRE 2024



AFRICAN CENTRE  
FOR BIODIVERSITY



TWN  
Third World Network

**El Centro Africano para la Biodiversidad** (ACB por sus siglas en inglés) tiene una larga y respetada trayectoria en investigación y cabildeo. Nuestro enfoque geográfico actual es el sur y el este de África, con amplias redes continentales y globales. Trabajamos en investigación, análisis, cabildeo e intercambio de destrezas y buscamos informar y amplificar las voces de los movimientos sociales que luchan por la seguridad alimentaria en África.



**AFRICAN CENTRE  
FOR BIODIVERSITY**

© **El Centro Africano para la Biodiversidad**

www.acbio.org.za

PO Box 29170, Melville 2109, Johannesburg, South Africa.

Tel: +27 (0)11 486-1156



**Investigado y redactado por** Jim Thomas, [Scan the Horizon](#), anteriormente estuvo en el Grupo [ETC](#).

**La revisión externa** estuvo a cargo de Maywa Montenegro de Wit, Profesora Adjunta del Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad de California en Santa Cruz, que realizó importantes aportes junto con Dan McQuillan, profesor de informática creativa y social del Goldsmiths College (Reino Unido).

**Orientación editorial de la directora ejecutiva** de ACB, Mariam Mayet

**Corrección de textos en inglés por** Liz Sparg

**Traducción:** Carolina Stephenson

**Diseño y maquetación:** Xealos

**Agradecimientos**

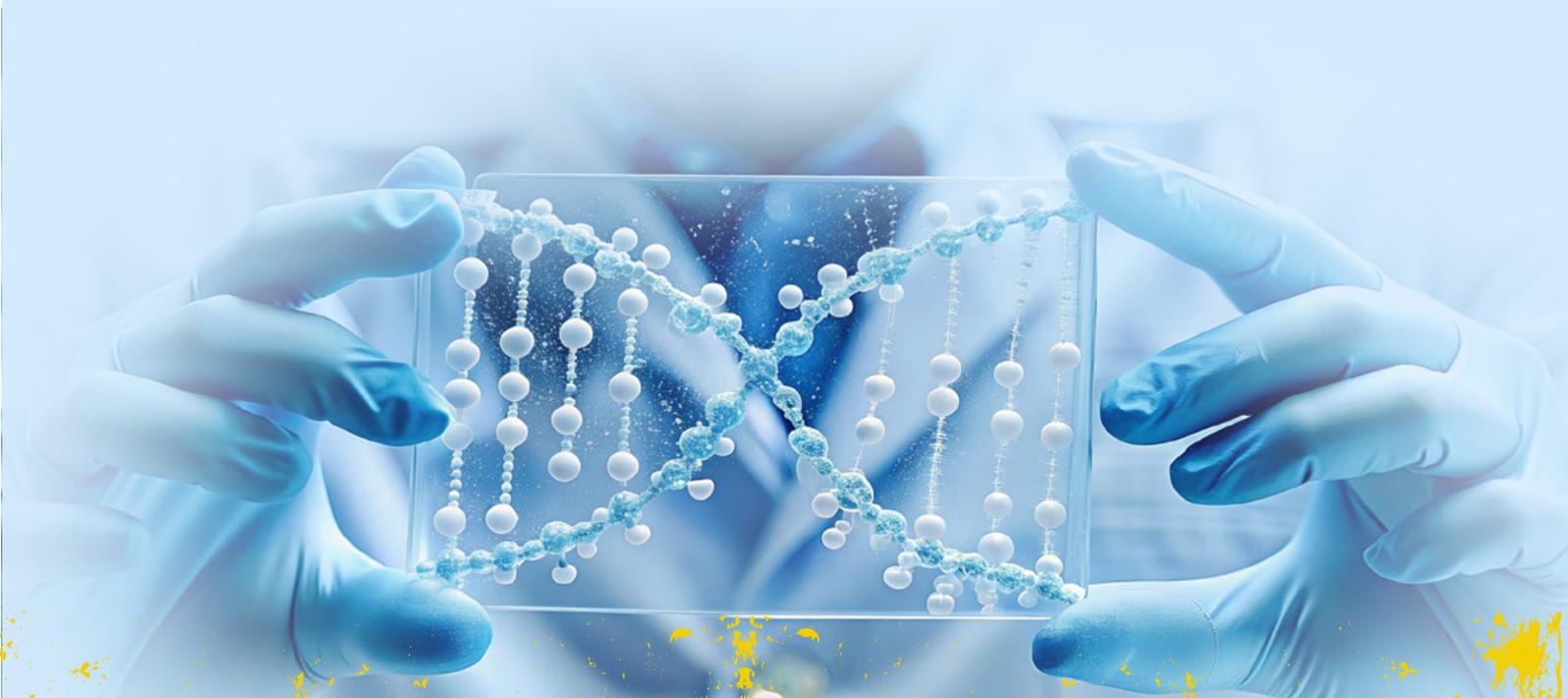
Queremos dar las gracias al ETC Group y a la Third World Network por revisar el texto y colaborar con ACB en las cuestiones planteadas en este informe. El ACB agradece, además, el apoyo generoso de donantes varios. Los puntos de vista y opiniones expresadas en este informe corresponden al ACB, y no necesariamente reflejan la política oficial o la posición de nuestros donantes.

# Índice

<b>Abreviaturas</b>	<b>4</b>
<b>Resumen</b>	<b>5</b>
El tema en cuestión	6
Repercusiones políticas	7
Cómo llegamos hasta aquí: Antecedentes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)	7
Conceptos básicos: ¿Qué son la "biología sintética" y la "inteligencia artificial" (IA)?	12
<b>Cómo convergen la IA y la biología sintética</b>	<b>14</b>
1. Biodiseño: biología generativa	15
La ingeniería genética se convierte en una "caja negra" (y queda fuera de la supervisión del CDB)	18
Qué partes de los sistemas genéticos pueden ahora ser biodiseñadas por la IA?	20
2. Bioproducción: impulsar la biotecnología	21
3. Sistemas biodigitales: el ejemplo de los cultivos "listos para robots"	22
4. Biocomputación: el ejemplo de los organoides cerebrales	22
<b>La fiebre de la biología generativa: los titanes de la tecnología entran en la biología (y la política de biotecnología/biodiversidad)</b>	<b>23</b>
<b>Implicaciones para el CDB: cinco cuestiones urgentes</b>	<b>26</b>
1. ¿La biología generativa de la IA socava los acuerdos de acceso y distribución de beneficios del Protocolo de Nagoya y la gobernanza de la DSI?	26
2. ¿Socava la biología generativa de la IA los acuerdos de bioseguridad del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología?	27
3. ¿Plantea la biología generativa de la IA riesgos de bioseguridad/armas biológicas?	29
4. La integración de la IA con la biología sintética, ¿mejorará o empeorará la salud y la sostenibilidad?	29
5. ¿Cuáles son las implicaciones de la integración de IA/ biología sintética para los conocimientos y prácticas tradicionales?	31
<b>Hacia el futuro del CDB</b>	<b>32</b>
<b>Glosario de términos clave</b>	<b>34</b>

# Abreviaturas

<b>AHTEG</b>	Grupo Ad Hoc de Expertos Técnicos
<b>IA</b>	Inteligencia artificial
<b>CDB</b>	Convenio sobre la Diversidad Biológica
<b>COP</b>	Conferencia de las partes
<b>DSI</b>	Información de secuencia digital
<b>OMG</b>	Organismos modificados genéticamente
<b>TRUG</b>	Tecnología de restricción del uso genético
<b>LLMs</b>	Grandes modelos lingüísticos
<b>mAHTEG</b>	Grupo ad hoc multidisciplinar de expertos técnicos (en biología sintética)
<b>SBSTT</b>	Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico
<b>SynBio</b>	Biología sintética



# Resumen

El Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CDB) y sus protocolos son el principal instrumento mundial de supervisión de la biotecnología moderna y se han adaptado con éxito a medida que han ido surgiendo nuevos avances en este campo. Las herramientas actuales de inteligencia artificial (IA) "generativa", más conocidas por chatbots de texto como ChatGPT, se aplican ahora para generar nuevas secuencias digitales para organismos genéticamente modificados (OGM) y proteínas. Estos modelos, desarrollados por grandes empresas de tecnología digital, se entrenan con grandes cantidades de secuencias digitales de ADN o proteínas, encuentran patrones y los aplican para crear nuevas secuencias digitales. Esta nueva industria, denominada "biología generativa" por sus defensores, va acompañada de promesas de que tales herramientas de "biodiseño" de IA pueden ofrecer una serie de soluciones tecnológicas para un mundo más sostenible. Las afirmaciones que se hacen ahora a favor de la biología generativa suenan igual a las especulaciones hechas sobre ciclos anteriores de organismos genéticamente modificados (OGM) y sistemas de inteligencia artificial de primera generación. Ninguno de ellos cumplió con las expectativas comerciales iniciales a medida que surgieron nuevos problemas.

Más allá del bombo publicitario, el campo de la biología generativa representa una audaz apropiación de la información de secuencias digitales (DSI) del mundo sobre recursos genéticos. Tanto si surgen bioproductos fiables como si no, ya estamos observando una importante inversión en estos desarrollos y a poderosos actores digitales que impulsan el ciclo del bombo publicitario para generar fascinación, esperanza e inversión en la biología generativa. Con la legitimidad que les otorgan los financiadores de Silicon Valley, es probable que las empresas de IA intenten cambiar significativamente las condiciones de gobernanza de la biotecnología moderna, alegando que el enfoque central del CDB de defender la precaución y la equidad ha quedado obsoleto en la era de la IA. El CDB debe estar preparado para separar la realidad de la ficción. Debe redoblar sus esfuerzos de exploración del horizonte, evaluación tecnológica y supervisión, encargando un proceso sensato para comprender las implicaciones de la integración de la biología sintética con la IA. Las Partes del CDB deben examinar y reforzar los mecanismos de supervisión del Convenio en materia de biotecnología ante un panorama tecnológico en rápida evolución.



COP 15, Biodiversidad de la ONU - © Wikimedia Commons

## El tema en cuestión

La aplicación de herramientas de IA a la ingeniería genética y biotecnología implica cambios importantes que se examinan con más detenimiento en este informe:

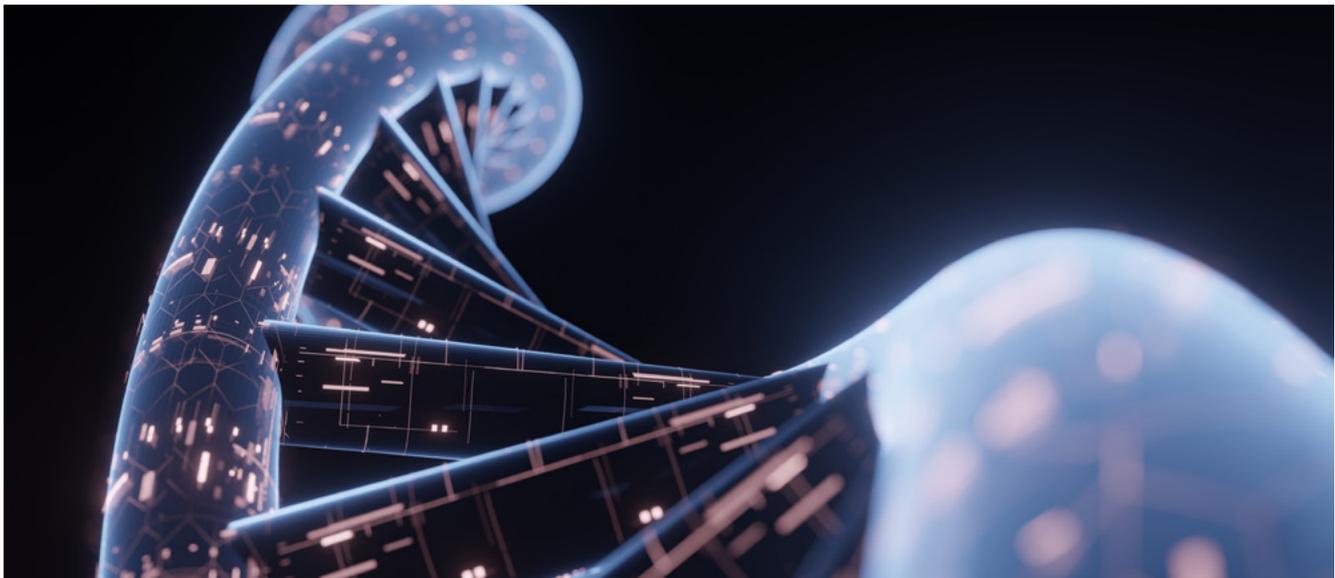
**a) Biotecnología de "caja negra":** el uso de la IA para diseñar digitalmente sistemas genéticos traslada el proceso de ingeniería genética a una "caja negra" algorítmica incognoscible en la que las decisiones individuales de diseño no pueden rastrearse ni explicarse. Este carácter opaco de "caja negra" del biodiseño de la IA, que se describe con más detalle a continuación, es inherente a la IA generativa. En el contexto de la biotecnología, desafía las capacidades actuales de evaluación de la bioseguridad, socava los requisitos de supervisión y elimina la trazabilidad necesaria para garantizar un reparto justo y equitativo de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos o para apoyar los sistemas de responsabilidad y compensación. Los acuerdos sobre el rastreo del origen de la DSI, que de por sí ya son acuerdos difíciles, están a punto de convertirse en un reto infame o imposible como resultado del uso de herramientas de IA.

**Biotecnología potenciada:** la industria afirma que dejar que los robots de IA diseñen formas de vida, proteínas y partes genéticas (biología generativa) automatiza y acelera el diseño de nuevos organismos, que quizá nunca hayan existido en la naturaleza. Este enfoque es un intento de aumentar la eficiencia de los sistemas de producción biotecnológica y, si resulta eficaz, puede aumentar significativamente el número total de nuevas formas de vida y proteínas que se producen, desencadenando un diluvio de tales entidades biotecnológicas novedosas que entran en el mercado o en los ecosistemas. Esto aumenta la necesidad de capacidad humana para regular, supervisar y llevar a cabo evaluaciones de bioseguridad. También plantea graves amenazas para la bioseguridad.

**Riesgos biodigitales:** Una característica del desarrollo tecnológico actual es el auge de los sistemas ciberfísicos, sistemas más complejos del mundo real controlados por tecnologías digitales, como la inteligencia artificial, los sensores y la automatización. Estos sistemas ciberfísicos incluyen cada vez más organismos, componentes y productos de la biología sintética, lo que difumina la frontera entre los ámbitos biológico y digital (lo que se conoce como convergencia biodigital). Estos sistemas híbridos "biodigitales", compuestos en parte por organismos o componentes modificados genéticamente, serán diseñados, gestionados o supervisados cada vez más por la IA, lo que reducirá el protagonismo del ser humano y dará lugar a nuevos riesgos y vulnerabilidades. Sus defensores esperan que, en el futuro, los propios sistemas de IA puedan basarse en el uso de biocomputadoras transgénicas. Si esto llegara a ser posible, traería nuevos riesgos de bioseguridad y cuestiones bioéticas al seno de las industrias digitales.

## Repercusiones políticas

Los gobiernos ya están tratando de ponerse al día con los efectos secundarios, los errores y los enigmas de gobernanza creados por los programas de "IA generativa" de primera generación -como ChatGPT, mientras que descubren la extralimitación de las pretensiones formuladas inicialmente por los desarrolladores de IA. El CDB, con tres décadas de experiencia en el seguimiento de la política biotecnológica mundial, se encuentra en una posición única para evaluar el campo emergente de la "biología generativa" y ofrecer un asesoramiento sensato antes de que los riesgos de la IA se mezclen irrevocablemente con los de la ingeniería genética. En la decimosexta Conferencia de las Partes (COP 16) del CDB, que se celebrará en octubre y noviembre de 2024, los gobiernos tendrán la opción de encargar una evaluación de "inmersión más profunda" para comprender mejor la serie de retos políticos derivados de la rápida integración de la IA con la biología sintética, y proponer cómo abordar esos retos de manera oportuna dentro del marco de precaución y justicia. Los acuerdos alcanzados en la COP 16 sobre la DSI también deben garantizar firmemente que los gigantes de la IA digital que ahora acumulan DSI para entrenar modelos de biología generativa estén firmemente cubiertos por los requisitos relacionados a la utilización comercial de DSI.



Biología sintética - © kksr, Shutterstock

## Cómo llegamos hasta aquí: Antecedentes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)

Durante tres décadas, las Partes del CDB han tomado medidas audaces y cautelares para mantener actualizados el Convenio y sus protocolos con los rápidos avances de la biotecnología moderna. En un principio, el CDB vio la luz ante el primer cultivo comercial de OGM que se liberaba en los países desarrollados.<sup>1</sup> Las oportunas decisiones posteriores del CDB han seguido y abordado los nuevos avances de la biotecnología a medida que han ido surgiendo, incluida la gestión de los movimientos transfronterizos y el comercio mundial de OGM, la tecnología de restricción del uso genético (GURTS o "semillas terminator"), la necesidad de evitar la biopiratería, el auge de la biología sintética y los organismos diseñados sintéticamente, el desarrollo de las derivas genéticas (una tecnología que provoca mutaciones en las poblaciones silvestres) y el uso no regulado de DSI (véase la Figura 1). El siguiente paso lógico en el camino del CDB es abordar la integración de la IA con la biología sintética.

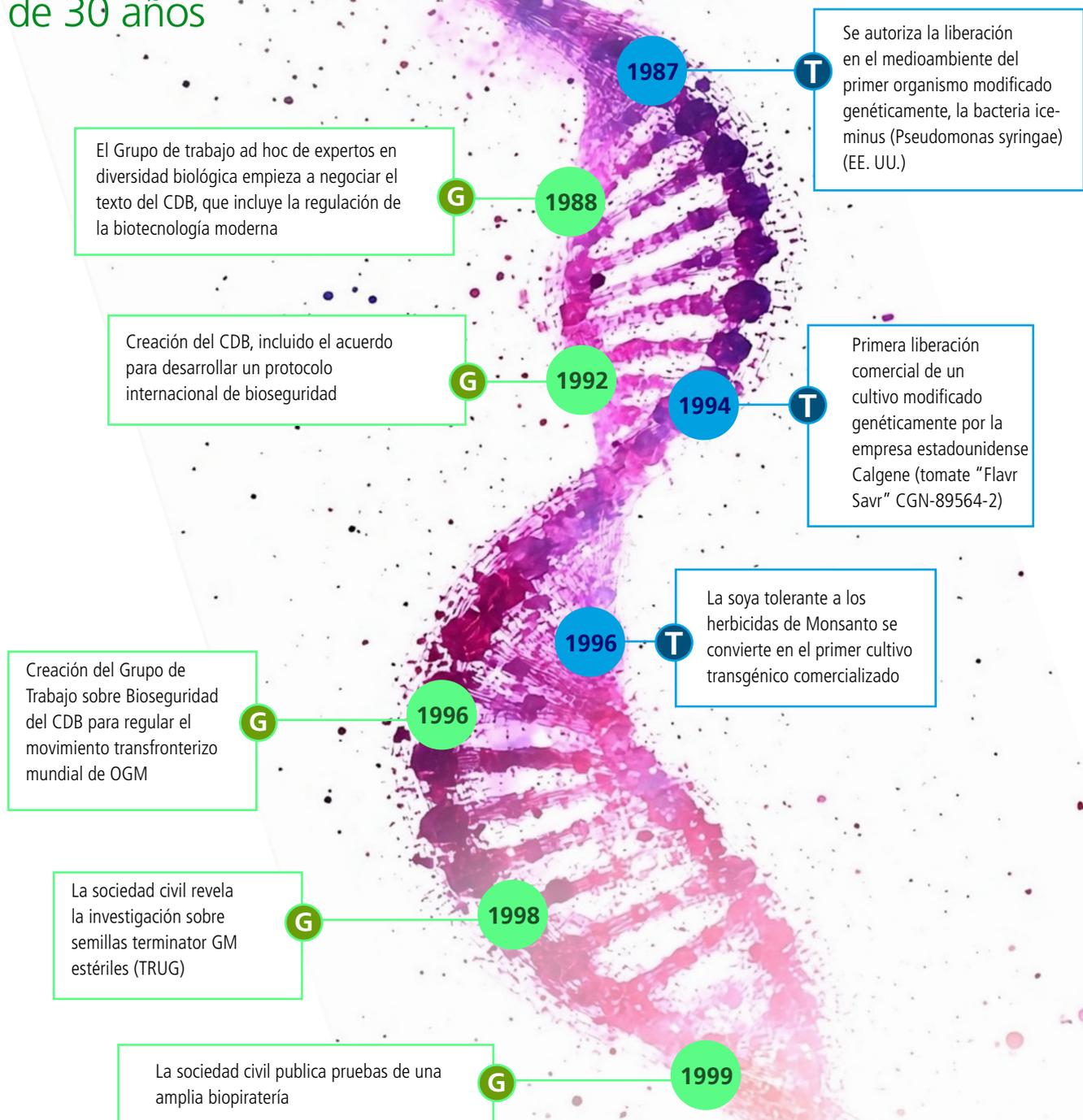
<sup>1</sup> Miller, S.K. 1994. "La primera genética molesta al lobby alimentario", *New Scientist*, 28 de mayo, <https://www.newscientist.com/article/mg14219270-700-genetic-first-upsets-food-lobby/>

**FIGURA 1**

# Cómo ha respondido el CDB a los principales avances de la biotecnología a lo largo de 30 años

**G** Principales avances en materia de gobernanza en el marco del CDB y los protocolos

**T** Principales avances tecnológicos



Aprobación del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad

G

2000

El CDB establece una moratoria de facto sobre las TRUG específicas de una variedad (TRUG-V)

G

2000

Inicio de las negociaciones para abordar el acceso justo y equitativo y el reparto de beneficios de los recursos genéticos en el marco del CDB

G

2002

Craig Venter lanza la primera expedición mundial de muestreo oceánico para la DSI

2004

T

Grupos de la sociedad civil piden una moratoria para la biología sintética

G

2006

Primera conferencia internacional sobre biología sintética celebrada en Boston (Estados Unidos)

2004

T

Craig Venter y sus colegas publican los detalles del primer organismo sintético

2010

T

El CDB aborda por primera vez el tema de biología sintética en una decisión de la COP

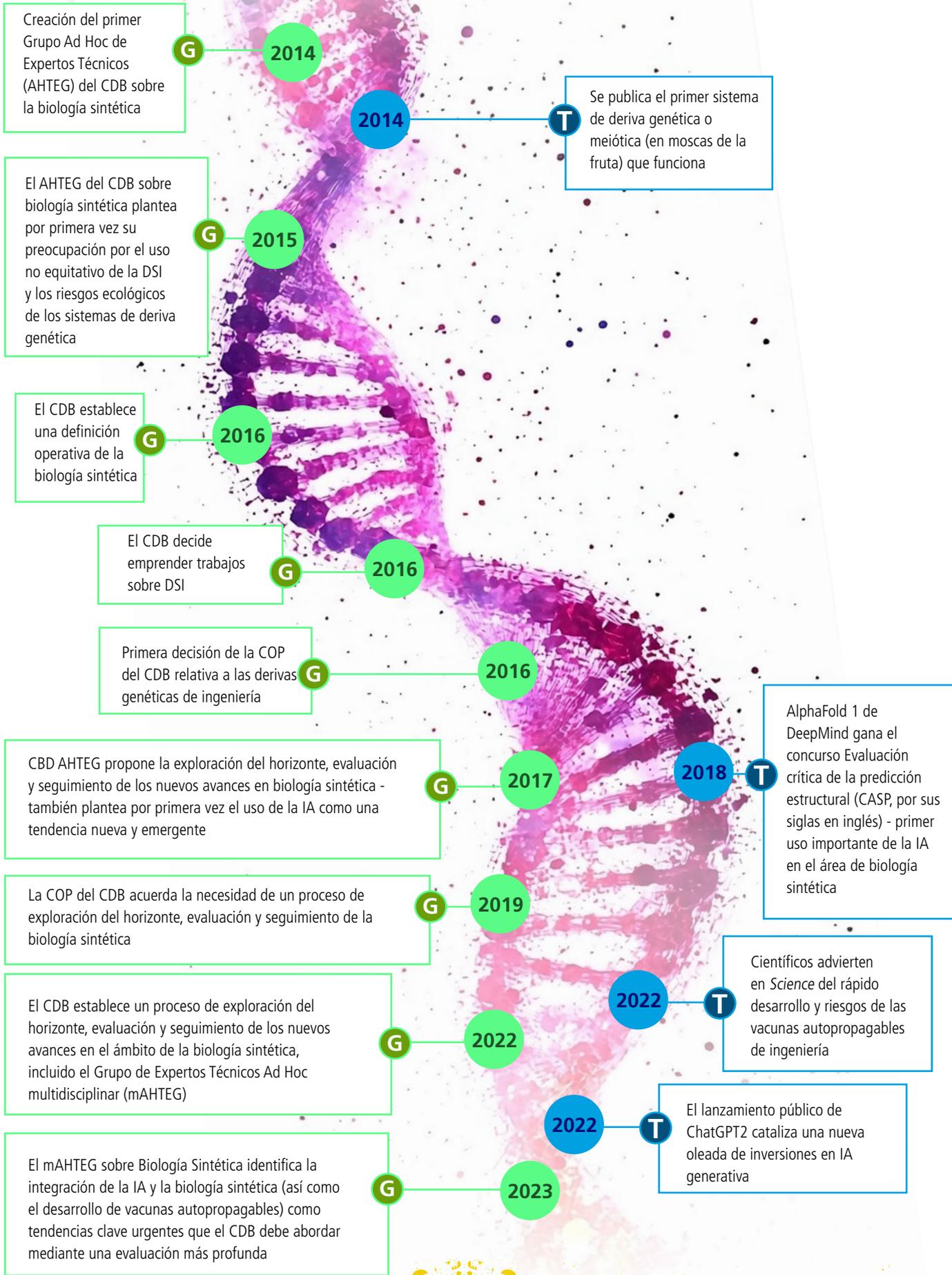
G

2010

Adopción del Protocolo de Nagoya sobre Acceso y Distribución en los Beneficios y del Protocolo Suplementario de Nagoya-Kuala Lumpur sobre Responsabilidad y Compensación

G

2010





Edición de genes de IA - © Rawpixel.com, Shutterstock

A la luz del rápido desarrollo de nuevas biotecnologías en el campo de la biología sintética, las Partes en la COP 14 del CDB en 2018 acordaron la necesidad de un proceso amplio y regular de exploración del horizonte, evaluación y monitoreo que podría identificar tendencias y desarrollos clave en materia de biología sintética con suficiente antelación para tomar medidas de gobernanza.<sup>2</sup> Dicho proceso se puso en marcha formalmente en la COP 15 de 2022 para ayudar al CDB a seguir siendo relevante para los desarrollos que se producen en el campo de la biología sintética.<sup>3</sup> Un foro abierto en línea -seguido de una serie de reuniones virtuales

y presenciales del mAHTEG sobre Biología Sintética- identificó cinco tendencias clave para las que se llevó a cabo una evaluación inicial. Entre ellas figuraba el tema "Integración de la inteligencia artificial con la biología sintética".<sup>4</sup> En su informe al OSACTT 26, los expertos del mAHTEG instaron a las Partes del CDB a actuar en el tema de la integración de la IA y la biología sintética. El mAHTEG advirtió que "el desarrollo acelerado de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en el campo de la biología sintética puede tener impactos adversos significativos en los objetivos, principios y disposiciones del Convenio y que esos impactos potenciales necesitan una evaluación más profunda."<sup>5</sup>

El mAHTEG propuso:<sup>6</sup>

- El CDB inicia un proceso de formulación de políticas.
- "Una petición al Grupo Ad Hoc multidisciplinar de Expertos Técnicos para que lleve a cabo una nueva evaluación que desemboque en un informe que aborde, entre otras cosas, los impactos potenciales sobre la bioseguridad, el uso sostenible de la biodiversidad, el acceso equitativo y el reparto de beneficios, los aspectos sociales, económicos y culturales, los impactos sobre los conocimientos y prácticas tradicionales, y otros asuntos relevantes."
- La secretaría del CDB elabora una serie de publicaciones técnicas sobre IA y participa en las actividades del sistema de las Naciones Unidas sobre IA.
- Las Partes "considerarán el desarrollo de acuerdos de gobernanza eficaces y equitativos para los conjuntos de datos de inteligencia artificial, los modelos fundacionales, las herramientas algorítmicas de biodiseño, las herramientas científicas automatizadas y el uso de organismos, componentes y productos de biología sintética en sistemas ciberfísicos".

Lamentablemente, en el OSACTT 26 del CDB, los debates constructivos sobre biología sintética se vieron gravemente obstaculizados por un pequeño grupo de países alineados con la industria biotecnológica que declararon que deseaban interrumpir el proceso de exploración del horizonte, evaluación y seguimiento que se había acordado previamente.<sup>7</sup> A pesar de las obstrucciones de este pequeño grupo, se redactaron unos términos de referencia entre corchetes que incluían una petición para que el mAHTEG:

2 Decisión del CDB de la ONU CBD/COP/DEC/14/19 - 30 de noviembre de 2018: "Acuerda que se necesita una exploración amplia y regular del horizonte, el seguimiento y la evaluación de los desarrollos tecnológicos más recientes para revisar la nueva información relativa a los posibles impactos positivos y negativos potenciales de la biología sintética en relación con los tres objetivos del Convenio y los del Protocolo de Cartagena y el Protocolo de Nagoya".

3 UN CBD Decisión CBD/COP/DEC/15/31 párrafo 4

4 26ª reunión del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico (OSACTT) tuvo lugar en Nairobi, Kenia, del 13 al 18 de mayo de 2024. Este órgano funciona en el marco del CDB y asesora a la Conferencia de las Partes sobre cuestiones científicas, técnicas y tecnológicas relacionadas con la aplicación del Convenio.

5 Informe del Grupo multidisciplinar ad hoc de expertos técnicos en biología sintética contenido en CBD/SBSTTA/26/4 - Anexo 1

6 Ibid

7 Sirinathsinghji, Eva. 2024. "Los debates sobre biología sintética, en la cuerda floja", SBSTTA 26 Daily Eco report of the CBDA, 18 de mayo, <https://cbd-alliance.org/sites/default/files/2024-05/ECO-6-SBSTTA-26.pdf>.

**“Continuar la evaluación en profundidad, incluso sobre [sus] posibles impactos [positivos y negativos] [a la luz de][sobre] los objetivos del Convenio [ecológicos, socioeconómicos -incluidas las posibles amenazas a los medios de subsistencia, el uso sostenible de la biodiversidad- y las consideraciones éticas y culturales, y teniendo especialmente en cuenta a los pueblos indígenas y las comunidades locales, las mujeres y los jóvenes] de: (i) Los posibles impactos de la integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la biología sintética”.**<sup>8</sup>

En la CoP 16 del CDB, las Partes tienen la oportunidad de garantizar que dicha evaluación de la integración de la IA/biología sintética siga adelante, en línea con el enfoque de precaución, y que no siga bloqueada por intereses industriales.

## Conceptos básicos: ¿Qué son la “biología sintética” y la “inteligencia artificial” (IA)?

La biología sintética engloba varios avances nuevos y emergentes de la biotecnología moderna (también conocida como ingeniería genética). Los primeros organismos genéticamente modificados se crearon en un laboratorio utilizando una bacteria (*Agrobacterium tumefaciens*) y enzimas de restricción para transferir ADN de un organismo al genoma de otro (una técnica conocida como ADN recombinante o ADNr). Sin embargo, los biotecnólogos recurren cada vez más a una familia de tecnologías de “edición genética”, como CRISPR/Cas, que cortan y modifican el ADN del huésped mediante enzimas guiadas por ARN combinadas con diferentes vías de reparación celular. La edición de genes puede utilizarse para eliminar una sola base con el fin de desactivar la función de un gen (un “knockout”); también puede consistir en insertar pequeñas secuencias o genes completamente nuevos, incluso procedentes de donantes “transgénicos”, para corregir o ganar función. Al igual que las técnicas de ingeniería genética anteriores, estas técnicas de edición de genes se anuncian actualmente por sus avances sin precedentes en velocidad, bajo costo y precisión. Sin embargo, cualquiera de estas características técnicas puede exacerbar los daños medioambientales y las desigualdades sociales existentes. Además, la historia de la biotecnología demuestra que cada generación de avances o descubrimientos se proclama habitualmente como superior a la tecnología a la que desplaza, “propensa a errores”, pero al poco tiempo muestra también sus propios errores.<sup>9</sup> La edición de genes, por ejemplo, sigue enfrentándose a problemas técnicos, como los efectos no deseados.

Mientras que la edición de genes y el ADNr para la agricultura evolucionaron en gran medida en la intersección de la biología molecular y el cultivo de plantas y animales, la biología sintética tiene raíces teóricas y metodológicas en la ingeniería. La biología sintética aplica principios de ingeniería para desarrollar nuevas partes, dispositivos y sistemas biológicos o para rediseñar sistemas existentes en la naturaleza. Los biólogos sintéticos -que abarcan campos de informática, biología de sistemas, ingeniería y biofísica, entre otros- diseñan cada vez más nuevos códigos de ADN en una computadora y fabrican cadenas sintéticas de ADN a partir de productos químicos.<sup>10</sup> También buscan nuevas formas de diseñar, construir y utilizar

<sup>8</sup> Decisión 26/4 del SBSTTA del CDB de la ONU - CBD/SBSTTA/REC/26/4, disponible en <https://www.cbd.int/doc/recommendations/sbstta-26/sbstta-26-rec-04-en.pdf>.

<sup>9</sup> “Los cambios involuntarios inducidos por CRISPR/CAS causan nuevos riesgos”, *Testbiotech*, última modificación 4 de diciembre de 2019, <https://www.testbiotech.org/en/news/unintended-changes-induced-crisprcas-cause-novel-risks/>

<sup>10</sup> Schmidt, M. 2010. “Xenobiología: una nueva forma de vida como herramienta definitiva de bioseguridad”, *Bioessays*. 32(4):322-31. doi: 10.1002/bies.200900147. PMID: 20217844; PMCID: PMC2909387; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20217844/>

moléculas genéticas distintas del ADN, como el ARN, y proteínas como las enzimas, junto con elementos reguladores genéticos. Según su formación, los biólogos sintéticos tienden a tratar las moléculas genéticas vivas como si fueran códigos de software programables para organismos, esforzándose por reescribir ese "código" con fines industriales. Este enfoque reductor tiene sentido dentro de las limitaciones y condiciones de un modelo en un laboratorio. Sin embargo, la vida no funciona como una computadora y la metáfora de la máquina suele fallar en los sistemas complejos del mundo real.<sup>11</sup>

**La inteligencia artificial (IA)** es un conjunto de tecnologías basadas principalmente en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, utilizadas para el análisis de datos, predicciones y pronósticos, categorización de objetos, procesamiento del lenguaje natural, recomendaciones, recuperación de datos, etc.

**La IA tradicional**, también conocida como IA basada en reglas o determinista, se basa en reglas y algoritmos preprogramados para realizar tareas específicas. Este tipo de IA existe desde hace décadas y ha evolucionado con los avances informáticos. A diferencia de los conjuntos de datos abiertos utilizados en la IA generativa, los sistemas de IA tradicionales suelen utilizar conjuntos de datos estructurados y curados y modelos adaptados a fines concretos. Por ello, estos sistemas de IA se utilizan a menudo en los sectores financiero, manufacturero y sanitario para resolver problemas limitados y realizar tareas repetitivas.

**El software de "IA discriminativa"** puede aprender sus propias reglas. Toma grandes conjuntos de datos no estructurados y los clasifica por sí mismo en grupos significativos o identifica imágenes o patrones. Para ello, primero se "entrena" al software de IA con otros datos y se le ayuda a establecer asociaciones hasta que desarrolla sus propios modelos (con ponderaciones estructuradas) para hacer distinciones. Este proceso de entrenamiento, inspirado en las redes neuronales del cerebro, se denomina "aprendizaje automático".

**La IA generativa** difiere en aspectos clave. Al igual que la IA tradicional y la IA discriminativa, la IA generativa se entrena con grandes conjuntos de datos. Pero mientras que la IA tradicional se limita a la predicción basada en reglas y la IA discriminativa clasifica los datos existentes, los modelos de IA generativa utilizan sus conjuntos de datos de entrenamiento para generar nuevos ejemplos de datos. Por tanto, la IA generativa es capaz de crear nuevos resultados a partir de un espacio vectorial que ha generado a través de los datos aprendidos. Por ejemplo, mientras que un sistema de IA discriminativa se entrena para distinguir entre distintas imágenes de animales, a una IA generativa se le puede pedir que busque relaciones dentro de sus datos para generar una nueva imagen de un "gato" basándose en los materiales que ha visto y en el modelo que ha desarrollado. La IA generativa suele utilizar grandes cantidades de datos de entrenamiento recogidos en Internet para sintetizar imágenes, generar texto o transferir un estilo.

Desde finales de 2019, cuando se lanzó al público ChatGPT-2, la gran mayoría de la IA generativa en uso se basaba en modelos de transformadores (grandes modelos de lenguaje) y modelos de difusión (véase el glosario). Por ejemplo, el popular programa de IA generativa ChatGPT es un modelo de lenguaje de gran tamaño basado en transformadores que utiliza su enorme conjunto de datos de entrenamiento de lenguaje extraído de Internet para crear textos que parezcan creíbles. Programas como Stable Diffusion,

11 Boudry, M., y Pigliucci, M. 2013. "La medida errónea de la máquina: Biología sintética y el problema con las metáforas de ingeniería", Estudios en Historia y Filosofía de Ciencias Parte C: Estudios en Historia y Filosofía de Ciencias Biológicas y Biomédicas volumen 44, número 4, parte B.

DALL-E y Midjourney hacen lo mismo con las imágenes (para disgusto de los artistas y diseñadores que se apropian de sus creaciones). Estos programas utilizan sus reglas internas para predecir cuál podría ser la imagen o cadena de palabras correcta para satisfacer la consulta en lenguaje natural del usuario ("prompt"). Esa predicción puede parecer creíble, pero si se analiza más detenidamente puede ser errónea (y a menudo lo es; véase el recuadro sobre alucinaciones, sesgos y envenenamiento de datos por parte de la IA). Los informáticos Arvind Narayanan y Sayash Kapoor explican que la falibilidad de los grandes modelos lingüísticos como ChatGPT se debe en parte a que la IA es incapaz de determinar la causalidad o el contexto, que dan sentido al lenguaje.<sup>12</sup> Los modelos se limitan a establecer vínculos estadísticamente probables, funcionando como lo que los expertos han descrito como un "loro estocástico".<sup>13</sup> A diferencia de la IA en la ciencia ficción, estos sistemas no "aprenden" realmente de forma comparable al aprendizaje del cerebro humano/animal; la IA no es deliberativa, consciente o, a pesar de su nombre, "inteligente". Sin embargo, es un potente motor de predicción basado en una gran cantidad de datos.

Hasta ahora, la IA generativa está demostrando ser más publicidad que sustancia. Sus casos de prueba, como ChatGPT, están demostrando que la simple adición de una mayor cantidad de datos no equivale a una mayor precisión o poder predictivo. Como todos los modelos, estos sistemas se ven obstaculizados por las limitaciones y los sesgos de los datos con los que se entrenan (de nuevo, véase la siguiente sección sobre alucinaciones, sesgos y envenenamiento de datos de la IA), pero también por los supuestos erróneos que subyacen a la tecnología.

# Cómo convergen la IA y la biología sintética

**El punto de vista de los "titanes de la tecnológica":**

**"Ahora se están traspasando los límites. Nos acercamos a un punto de inflexión con la llegada de estas tecnologías de orden superior, las más profundas de la historia. La próxima ola tecnológica se basa principalmente en dos tecnologías de propósito general capaces de operar tanto a los niveles más grandiosos como a los más granulares: la inteligencia artificial y la biología sintética."**

**– Mustafa Suleyman, consejero delegado de Microsoft AI, fundador de Infection AI y cofundador de DeepMind (ahora propiedad de Google)<sup>14</sup>**

<sup>12</sup> <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691249131/ai-snake-oil>

<sup>13</sup> <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3442188.3445922>

<sup>14</sup> Suleyman, M. *La ola que viene: Tecnología, poder y el mayor dilema del siglo XXI*. 2023. Crown Publishing Group, Random House, p.55

La IA y la biología sintética se están integrando al menos de cuatro maneras, que se describen con más detalle a continuación:

**Biodiseño (biología generativa):** modelos de IA que generan nuevas secuencias genéticas o proteínicas. El diseño es digital, pero luego se utiliza la ingeniería de proteínas y la bioquímica para convertirlo en moléculas biológicas sintéticas.

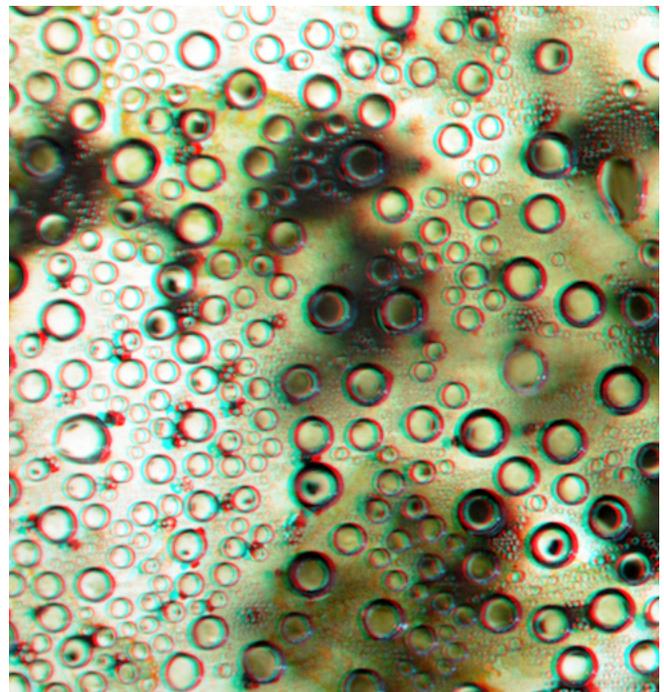
**Bioproducción:** uso de la IA para mejorar el hardware y la eficiencia de los procesos utilizados en la producción biotecnológica industrial (como la fermentación en cubas o el cultivo celular en placas de Petri).

**Sistemas biodigitales (ciberfísicos):** sistemas técnicos que mezclan componentes de IA y biología sintética (por ejemplo, el uso de cultivos artificiales o pulverizadores de ARN en la agricultura digital, donde la toma de decisiones se lleva a cabo mediante algoritmos).

**Biocomputación:** uso de ADN, células, bacterias u otras partes biológicas manipuladas como hardware computacional para procesos de IA.

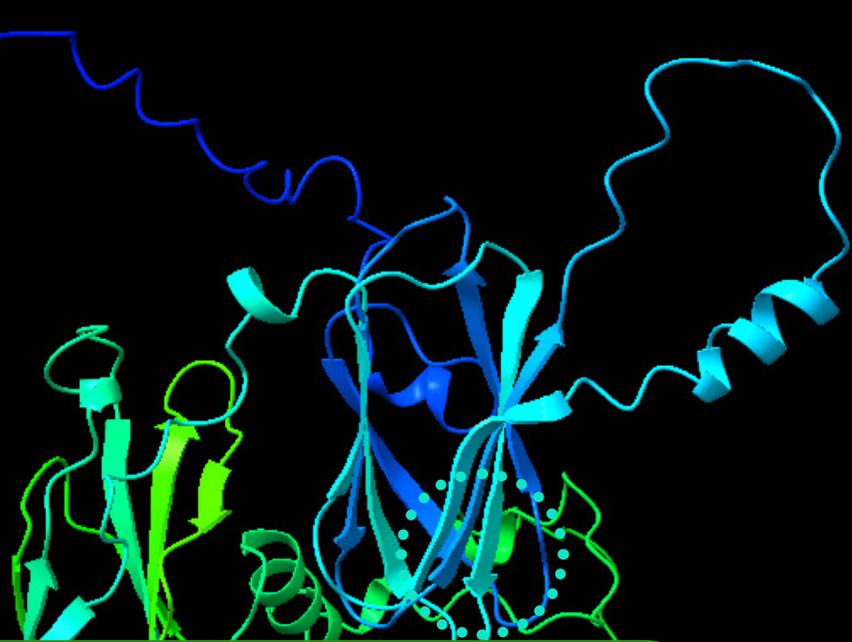
## 1. Biodiseño: biología generativa

Del mismo modo que los modelos generativos de IA para texto e imágenes pueden parecer capaces de crear nuevos textos o imágenes seleccionando y reorganizando los conjuntos masivos de datos en los que se han entrenado, los modelos de IA entrenados en grandes cantidades de información biológica pueden parecer capaces de generar nuevas disposiciones de moléculas biológicas que parezcan creíbles, incluidas nuevas secuencias de ADN y proteínas. La idea es que, en lugar de entrenar a una IA LLM en textos de idiomas como el inglés o francés, el mismo modelo puede entrenarse en lo que los biólogos sintéticos describen de forma simplista como "lenguajes" biológicos, como el código del ADN o la secuencia de aminoácidos que componen las proteínas. El software de IA desarrolla entonces su propio modelo para clasificar y "entender" esos códigos biológicos que, a su vez, pueden generar "nuevos" lenguajes biológicos, como nuevos códigos de ADN para genomas o nuevas disposiciones de aminoácidos para nuevas proteínas. Todos estos procesos dependen de que primero se acepte una comprensión muy reductora (e incompleta) del funcionamiento de los sistemas genéticos.



Biodiseño - © wim hoppenbrouwers, Flickr

# AlphaFold de Google: el “momento ChatGPT” de la biología generativa



La innovadora “prueba de concepto”, para permitir que los modelos de IA interpreten la biología y lleven a cabo la biología sintética, fue un modelo de IA llamado AlphaFold, desarrollado por DeepMind, filial de IA de Google. AlphaFold se entrenó inicialmente con datos que describían 170 000 proteínas de un repositorio público de secuencias y estructuras de proteínas.<sup>15</sup>

Su objetivo era discernir cómo las proteínas organizadas en determinadas secuencias de aminoácidos pasan a plegarse en estructuras funcionales específicas. A principios de este siglo, la labor científica necesaria para explicar el vínculo entre el código de cualquier proteína individual y cómo se pliega posteriormente en una forma que podría ocupar la longitud de todo un doctorado. En 2018, AlphaFold predijo con éxito las estructuras de plegamiento de 13 proteínas a partir de su código proteico y, para 2021, Google afirmaba que AlphaFold 2 había predicho las estructuras de plegamiento de todos los códigos proteicos conocidos (casi 200 millones de proteínas)<sup>16</sup>, aunque otros observaron que se trataba de una afirmación exagerada y no respaldada por la ciencia de laboratorio.<sup>17</sup>

Asombrados por estos resultados (y por los comunicados de prensa de Google), las publicaciones científicas proclamaron que la IA AlphaFold había “resuelto” el problema del plegamiento de las proteínas. En marzo de 2024, Google DeepMind lanzó AlphaFold 3, que, según afirman, no solo puede predecir la estructura de cualquier proteína, sino también “la estructura y las interacciones de todas las moléculas de la vida con una precisión sin precedentes.”<sup>18</sup> Google afirmó en sus comunicados de prensa que AlphaFold 3 es capaz de predecir la estructura de cualquier ADN, ARN, ligandos, proteínas y más, y también predecir cómo estas biomoléculas podrían interactuar entre sí a nivel celular. Tras haber entrenado un modelo supuestamente capaz de hacer predicciones tan potentes sobre las biomoléculas básicas de la vida, las empresas de IA generativa tratan ahora la predicción como un hecho y afirman que pueden generar de forma fiable proteínas, ADN, ARN y otras estructuras nuevas y nunca vistas para la ingeniería genética, utilizando el biodiseño generativo dirigido por IA. Así, la “biología generativa” se ha establecido como una nueva industria. En particular, hay una avalancha de nuevas empresas de “diseño de proteínas” mediante IA inspiradas en AlphaFold (véase más adelante).

15 “Método del año 2021: Predicción de la estructura de proteínas”, *Nat Methods* 19, 1 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41592-021-01380-4>.

16 Callaway, Ewen. 2022. “Todo el universo de las proteínas”: La IA predice la forma de casi todas las proteínas conocidas”. *Nature*. 608 (7921): 15–16.

17 Terwilliger TC, Liebschner D, Croll TI, Williams CJ, McCoy AJ, Poon BK, Afonine PV, Oeffner RD, Richardson JS, Read RJ, Adams PD. 2024. “Las predicciones AlphaFold son hipótesis valiosas y aceleran, pero no sustituyen la determinación experimental de la estructura”, *Nat Methods*. 21(1):110-116. doi: 10.1038/s41592-023-02087-4. Epub 2023 Nov 30. PMID: 38036854; PMCID: PMC10776388. Incluye la observación: “Observamos que como la predicción AlphaFold no tiene en cuenta la presencia de ligandos, iones, modificaciones covalentes o condiciones ambientales, no cabe esperar que represente correctamente los numerosos detalles de las estructuras proteicas que dependen de estos factores”.

18 Google DeepMind Lab, Equipo AlphaFold, “AlphaFold 3 predice la estructura y las interacciones de todas las moléculas de la vida”, May 8, 2024, <https://blog.google/technology/ai/google-deepmind-isomorphic-alpha-fold-3-ai-model/#life-molecules>.



## Una advertencia

Aunque AlphaFold impresionó a muchos como un ejemplo de gran ciencia impulsada por la IA, los científicos especializados en proteínas que trabajan en laboratorios ya están alertando para que no se dejen cegar por las capacidades exageradas de la biología generativa.<sup>19</sup> Como todos los sistemas de IA, AlphaFold no resuelve el plegamiento de proteínas per se, sino que se limita a ofrecer predicciones probables. Los científicos especializados en proteínas todavía tienen que hacer el trabajo de laboratorio para comprobar la exactitud de esas predicciones digitales y, en varios casos y clases de proteínas, se demuestra que las predicciones son erróneas o engañosas. Esto repite la forma en que el bombo comercial inicial de la IA generativa en texto (ChatGPT) o imágenes (Dall-E o Midjourney) ocultó los verdaderos problemas y límites de la tecnología de IA generativa. También refleja la exageración de las primeras afirmaciones sobre la precisión del ADN y la posterior edición de genes. Existe una preocupación razonable de que, en la carrera comercial que se está llevando a cabo para utilizar modelos de IA generativa para generar nuevos sistemas genéticos vivos, los responsables políticos puedan estar ignorando errores y peligros. A diferencia del texto o los gráficos digitales, las nuevas formas de vida y proteínas diseñadas digitalmente pueden tener un impacto biológico muy directo e impredecible en el mundo vivo, especialmente si se diseñan de forma incorrecta, se basan en suposiciones erróneas y se liberan de forma irresponsable.

<sup>19</sup> Véase el hilo de Reddit, "Las personas están sobreestimando AlphaFold y es un problema", [https://www.reddit.com/r/labrats/comments/1b1l68p/people\\_are\\_overestimating\\_alphafold\\_and\\_its\\_a/](https://www.reddit.com/r/labrats/comments/1b1l68p/people_are_overestimating_alphafold_and_its_a/)

## La ingeniería genética se convierte en una "caja negra" (y queda fuera de la supervisión del CDB)

Una metáfora importante que se ha desarrollado a partir de los estudios críticos sobre IA es el concepto y los riesgos de la "caja negra".<sup>20</sup> El "problema de la caja negra" se refiere al modo opaco en que un sistema de IA desarrolla su propio modelo durante el "entrenamiento", aplicando ponderaciones estadísticas a determinadas conexiones que observa. El enorme número de operaciones realizadas hace que el razonamiento de este modelo autogenerado sea poco transparente e incognoscible para un observador humano, incluso para un experto técnico. Por consiguiente, cuando un sistema de IA generativa genera una imagen determinada o realiza una predicción concreta, no es posible interpretar o explicar por qué ha generado ese resultado, por ejemplo, por qué ha elegido una palabra, imagen o secuencia genética determinada.

Para la ingeniería genética, ocultar las decisiones de biodiseño en la "caja negra" supone un cambio fundamental y trascendental en el modo en que se llevan a cabo las intervenciones de ingeniería genética, al no tomar en cuenta a los humanos en las decisiones de diseño. Antes, un ingeniero genético humano seleccionaba o alteraba una secuencia genética digital o real existente o secuencias de proteínas por una razón concreta explicable o una conjetura que pudiera corroborar. A continuación, los probaba experimentalmente para llegar a un resultado, normalmente documentando el proceso. Ahora, un sistema automatizado de IA aplica un modelo interno autogenerado que no puede explicarse, basado en predicciones estadísticas a partir de un análisis repetitivo de miles o millones de secuencias. A continuación, la computadora selecciona combinaciones de secuencias genéticas extraídas de sus datos de entrenamiento, pero no identifica la fuente, y las encadena en una nueva secuencia. Así es como las decisiones de biodiseño genético se trasladan a una "caja negra" desconocida.

Por supuesto, crear un proceso de caja negra es una decisión que los diseñadores de un sistema de IA deciden tomar y con la que apuestan. En ese sentido, deberían ser directamente culpables de cualquier resultado de su invención.

<sup>20</sup> Véase, por ejemplo, «Explicación del misterioso problema de la caja negra de la IA», Universidad de Michigan-Dearborn, acceso July 25, 2024, <https://umdearborn.edu/news/ais-mysterious-black-box-problem-explained>.

Los sistemas de IA que llevan a cabo ingeniería genética de caja negra tienen al menos tres implicaciones importantes que afectan a la gobernanza:

1. **Bioseguridad** - Si el sistema de IA que diseña una intervención de ingeniería genética no puede explicar ni por qué seleccionó una secuencia genética ni siquiera de qué material de partida se extrajo esa secuencia, resulta difícil realizar un análisis independiente de bioseguridad de ese diseño. Las incertidumbres asociadas a la ingeniería genética aumentan enormemente, al igual que la incapacidad para detectar problemas, errores y equivocaciones.
2. **Acceso y distribución de beneficios** - Si el diseñador de una intervención de ingeniería genética no revela de qué secuencias digitales se ha extraído o aprendido el diseño (y mucho menos de dónde procede la fuente natural original), no es posible distribuir los beneficios al poseedor original de ese recurso genético ni que ese poseedor original ejerza derechos sobre el acceso. De este modo, resulta imposible garantizar un acceso adecuado y un reparto justo y equitativo de los beneficios.
3. **Responsabilidad y reparación** - Si el diseñador de una intervención genética es un sistema informático probabilístico automatizado que genera su propio modelo opaco para tomar decisiones, puede no estar claro quién es legalmente responsable cuando algo sale mal en el resultado. No hay control humano ni rendición de cuentas sobre el proceso de ingeniería genética. Aunque los desarrolladores de sistemas de IA saben que están construyendo sistemas de caja negra que pueden estar plagados de errores, algunos tribunales han dictaminado que los desarrolladores de IA que proporcionan software para automóviles autoconducidos no son responsables de los accidentes de tráfico mortales, en los que un humano es técnicamente un conductor de apoyo.<sup>21</sup> Sin embargo, la ley es menos clara en el caso de los automóviles totalmente autónomos.<sup>22</sup>

Estas tres áreas ("bioseguridad", "acceso y distribución en los beneficios" y "responsabilidad y compensación") describen los propósitos de los tres protocolos del CDB (Protocolo de Cartagena, Protocolo de Nagoya y Protocolo de Nagoya-Kuala Lumpur) que apoyan la gobernanza de la biotecnología y su impacto en el mundo vivo. Además, el CDB intenta abordar las consideraciones socioeconómicas que también surgirán cuando los sistemas de IA se adentren en la biotecnología. Al trasladar la ingeniería genética a la caja negra, la integración de la IA con la biología sintética desafía directamente el enfoque básico de gobernanza que el CDB ha establecido sobre el campo de la biotecnología moderna.



21 David Shepardson and Heather Somerville, "Uber no es penalmente responsable en el accidente mortal de conducción autónoma de 2018 en Arizona: Fiscal", Reuters, March 5, 2019,

22 Jenna Greene, "Columna: Los problemas de los autos sin conductor superan las leyes de responsabilidad civil", Reuters, 11 de diciembre de 2023, <https://www.reuters.com/legal/transactional/column-driverless-car-problems-are-outpacing-liability-laws-2023-12-11/>.



## Qué partes de los sistemas genéticos pueden ahora ser biodiseñadas por la IA?

**ADN y ARN** – Los LLM de IA entrenados en todas las DSI existentes en el mundo pueden generar nuevas secuencias de ADN o ARN para aplicaciones en biología sintética.

**Tomamos todos los datos de ADN disponibles -tanto de ADN como de ARN de virus y bacterias que conocemos-, unos ciento diez millones de genomas. Hemos aprendido un modelo lingüístico y ahora podemos pedirle que genere nuevos genomas.**

– Anima Anandkumar, NVIDIA Corporation, describe el modelo GenSLM de NVIDIA<sup>23</sup>

**Proteínas** - Basándose en el éxito de AlphaFold en la predicción de estructuras proteicas, docenas de empresas afirman ahora que sus plataformas de IA pueden generar diseños de proteínas nunca vistos con características comerciales novedosas. Algunas trabajan incluso en generadores de texto a proteína.

**La nueva idea es, ¿puedo hacer un modelo de fundación que... hable "proteínas" igual que GPT4 habla inglés?**

– Jason Kelly, CEO de Ginkgo Bioworks (asociado con Google Ai)<sup>24</sup>

**Editores de genes** - En la última década, las herramientas clave para la ingeniería genética han sido las proteínas de edición de genes como CRISPR-Cas 9, originalmente encontradas en bacterias naturales. Empresas de IA como Profluent utilizan ahora la IA generativa para generar nuevas proteínas artificiales de edición genética que, según afirman, cortan, empalman y sustituyen el ADN y el ARN de forma más eficiente que CRISPR.<sup>25</sup>

**Epigenética** – Ingenieros de la Universidad de Toronto asociados a la empresa emergente TBG Therapeutics han desarrollado un sistema de IA llamado ZFdesign que genera dedos de zinc (ZF). Estos actúan como factores de transcripción, elementos epigenéticos que activan o desactivan distintas partes del ADN. Los investigadores introducen datos de miles de millones de interacciones entre las proteínas ZF y el ADN en un modelo de aprendizaje automático, que a continuación genera dedos de zinc diseñados que se unen a una secuencia de ADN determinada.<sup>26</sup> La IA generativa también se utiliza para la modificación de histonas, otro mecanismo epigenético.<sup>27</sup>

23 Kristen Ye, "El Podcast de IA- Anima Anandkumar sobre el uso de la IA generativa para afrontar retos mundiales- Ep203", NVIDIA, consultado el 25 de julio de 2024, <https://blogs.nvidia.com/blog/anima-anandkumar-generative-ai/>.

24 Jason Kelly speaking on No Priors Podcast ep34: "DNA as Code – Cell Programming and AI ", YouTube, subido por No Priors Podcast, <https://www.youtube.com/watch?v=snt-fMsCDVI..>

25 Callaway E. 2024. "'ChatGPT para CRISPR' crea nuevas herramientas de edición genética", *Nature* 629(8011):272. doi: 10.1038/d41586-024-01243-w. PMID: 38684833.

26 Ichikawa DM, Abdin O, Alerasool N, Kogenaru M, Mueller AL, Wen H, Giganti DO, Goldberg GW, Adams S, Spencer JM, Razavi R, Nim S, Zheng H, Gionco C, Clark FT, Strokach A, Hughes TR, Lionnet T, Taipale M, Kim PM, Noyes MB. 2023. "Un modelo universal de aprendizaje profundo para el diseño de dedos de zinc permite la reprogramación de factores de transcripción", *Nat Biotechnol* 41(8):1117-1129. doi: 10.1038/s41587-022-01624-4. Epub 2023 Ene 26. PMID: 36702896; PMCID: PMC10421740.

27 DaSilva LF, Senan S, Patel ZM, Janardhan Reddy A, Gabbita S, Nussbaum Z, Valdez Córdova CM, Wenteler A, Weber N, Tunjic TM, Ahmad Khan T, Li Z, Smith C, Bejan M, Karmel Louis L, Cornejo P, Connell W, Wong ES, Meuleman W, Pinello L. 2024. "Difusión del ADN: Aprovechando modelos generativos para controlar la accesibilidad de la cromatina y la expresión génica mediante elementos reguladores sintéticos, bioRxiv [Preprint]. 1:2024.02.01.578352. doi: 10.1101/2024.02.01.578352. PMID: 38352499; PMCID: PMC10862870.



Bioproducción - © Greg Emmerich, Flickr, CC BY-SA 2.0

## 2. Bioproducción: impulsar la biotecnología

Los sistemas de IA también pueden rediseñar el *hardware*, la infraestructura y el flujo de trabajo de la biotecnología industrial, como los procesos de laboratorio, instalaciones de fermentación y cultivos celulares. También pueden permitir que los robots realicen parte del trabajo de laboratorio, por ejemplo, utilizando la visión artificial en lugar de científicos humanos. Cultivar células modificadas genéticamente o fermentar bacterias o levaduras modificadas en un biorreactor (una gran cuba de acero) es complicado y propenso a la contaminación y otros problemas. Se afirma que, mediante el uso de la IA para supervisar y automatizar los procesos, los sistemas de bioproducción pueden ser más eficientes o capaces de identificar, prevenir o combatir contaminantes o desequilibrios.<sup>28</sup> Si la bioproducción gestionada por IA puede aumentar la velocidad o la cantidad de la producción, esto puede hacer que los productos genéticamente modificados que antes no podían producirse en cantidades más allá del laboratorio sean industrialmente viables. Esto, a su vez, requiere que los gobiernos aumenten su capacidad humana de supervisión, evaluación de riesgos, evaluación tecnológica, regulación, depuración y retirada. Estas mismas capacidades también pueden ser utilizadas por agentes malintencionados para producir toxinas o agentes de doble uso para la guerra biológica en grandes cantidades.

<sup>28</sup> Amgining Technologies, "Cómo la IA está revolucionando la industria de la fermentación", 15 de marzo de 2024, <https://www.linkedin.com/pulse/how-ai-revolutionizing-fermentation-industry-amginingtech-1dsec/>

### 3. Sistemas biodigitales: el ejemplo de los cultivos "listos para robots"

Una característica del desarrollo tecnológico actual es el auge de los sistemas ciberfísicos: sistemas más complejos del mundo real controlados por tecnologías digitales, como la inteligencia artificial, los sensores y la automatización. Estos sistemas ciberfísicos incluyen cada vez más organismos, componentes y productos de biología sintética que desdibujan la frontera entre los ámbitos biológico y digital (lo que se conoce como convergencia biodigital). Un ejemplo es el uso de cultivos modificados genéticamente y pulverizadores de ARNi en sistemas agrícolas digitales gestionados por IA. Por ejemplo, la empresa de biotecnología InnerPlant ha modificado la soya y otros cultivos para que emitan una proteína fluorescente cuando están sometidos a estrés (por ejemplo, cuando necesitan agua o son atacados por plagas). Esta fluorescencia se sintoniza para ser detectada por sensores montados en maquinaria agrícola dotada de inteligencia artificial, que puede, en respuesta, aplicar agua o pesticidas.<sup>29</sup> En efecto, las plantas modificadas genéticamente se han biodiseñado para estar "preparadas para robots", es decir, para comunicarse de forma única con la maquinaria agrícola operada por IA. Juntos, los cultivos de bioingeniería y la maquinaria agrícola de IA permiten que un sistema ciberfísico más grande de agricultura digital cambie la agricultura, un sistema que bloquea el uso de pesticidas y macrodatos.

### 4. Biocomputación: el ejemplo de los organoides cerebrales

Actualmente, los modelos de IA se basan en la computación a gran escala mediante chips de silicio en bastidores de servidores en grandes almacenes con temperatura controlada, conocidos como centros de datos. Estos centros consumen continuamente enormes cantidades de energía, agua y refrigerantes químicos. Los desarrolladores de hardware de inteligencia artificial buscan alternativas de bajo consumo energético a la computación basada en el silicio. Una de ellas podría ser la utilización de la biología sintética para crear células vivas o ADN que realicen cálculos, lo que se conoce como biocomputación. Aunque este sueño de la bioinformática es antiguo, los enormes costos energéticos y de recursos de la actual IA basada en el silicio lo están convirtiendo en un objetivo renovado. En una prueba de principio, una empresa australiana, Cortical Labs, ha construido circuitos computacionales de inteligencia artificial a partir de organoides cerebrales (células cerebrales cultivadas). Los bioingenieros han entrenado estos sencillos circuitos vivos de inteligencia artificial para que jueguen a juegos de computadora o reconozcan el habla.<sup>30</sup> Si las partes biológicas sintéticas se generalizan en la computación, los riesgos de la ingeniería genética y la tarea de gestionar la contaminación biológica se convertirán en un campo industrial totalmente nuevo.



Agri AI robots - © Steve Long, Flickr

<sup>29</sup> "Productos", InnerPlant, consultado el 25 de julio de 2024, <https://innerplant.com/products/>.

<sup>30</sup> A dhiti Iyer, 13 de marzo de 2024, ¿Es la inteligencia artificial la nueva IA? Preguntas en torno al blog "Brainoware" - <https://blog.petrieflom.law.harvard.edu/2024/03/13/is-oi-the-new-ai-questions-surrounding-brainoware/>

# La fiebre de la biología generativa: los titanes de la tecnología entran en la biología (y la política de biotecnología/biodiversidad)

Una de las características más sorprendentes de la biología sintética impulsada por la IA es que gran parte del trabajo está siendo dirigido por las mayores empresas tecnológicas del mundo. La mayoría de estos nuevos líderes de la IA/biología sintética son titanes digitales, sin experiencia previa en biotecnología o en la gestión de la biodiversidad, pero con amplia experiencia en la aplicación de modelos de negocio monopolísticos y en eludir las normativas. Están firmando acuerdos conjuntos o adquiriendo empresas biotecnológicas más pequeñas. Estas empresas de datos actúan a partir de metáforas comunes en biología sintética que afirman que los sistemas vivos pueden manipularse de forma simplista, como máquinas biológicas que funcionan con código y pueden programarse y depurarse. Sin embargo, en realidad, el mundo "húmedo" de la biología, los ecosistemas y los procesos vitales no suele parecerse en nada a la informática o la codificación; e implican riesgos vivos bastante novedosos. Los titanes de la tecnología digital procedentes de la cultura de Silicon Valley de "moverse rápido y ser disruptivos"<sup>31</sup> pueden estar mal equipados para gestionar los riesgos biológicos.



Biochemistry - © Day Of Victory Studio, Shutterstock

31 El mantra de Silicon Valley de "moverse rápido y romper cosas" se atribuye a menudo a Mark Zuckerberg de Meta/Facebook - ver <https://www.snopes.com/fact-check/move-fast-break-things-facebook-motto/>

# Los gigantes tecnológicos en juego

**Google/Alphabet:** Google DeepMind (laboratorio de investigación de IA) desarrolló el programa AlphaFold. Google tiene una empresa conjunta con Ginkgo Bioworks, líder en biotecnología sintética, para generar nuevas proteínas.<sup>32</sup> También ha creado su propia empresa de biotecnología, Isomorphic Labs, que utiliza la IA para generar nuevos fármacos para grandes empresas farmacéuticas.<sup>33</sup>

**Microsoft** - El director general de Microsoft AI, Mustafa Suleyman, publicó recientemente un libro de gran repercusión (titulado *The Coming Wave*) sobre cómo la convergencia de la biología sintética con la IA transformará la sociedad (y creará nuevos riesgos).<sup>34</sup> Su empresa está desarrollando varias herramientas de IA generativa para la biología sintética, incluida una plataforma médica generativa llamada BioGPT.<sup>35</sup>

**Amazon** - En junio de 2024, el mayor proveedor mundial de servicios de datos en la nube anunció que colaboraba con una empresa llamada EvolutionaryScale para albergar ESM3, una plataforma de IA de biología generativa entrenada en "miles de millones de secuencias de proteínas que abarcan 3800 millones de años de evolución".<sup>36</sup> Según Amazon, ESM3 puede comprender datos biológicos complejos procedentes de diversas fuentes y generar proteínas totalmente nuevas que nunca han existido en la naturaleza. Por su parte, el Fondo Bezos para la Tierra (asociado al fundador de Amazon, Jeff Bezos, y su novia) ha puesto en marcha un programa de 100 millones de dólares denominado "IA para el clima y la naturaleza", centrado en el uso de la IA generativa para obtener proteínas alternativas y otros materiales.<sup>37</sup> Amazon también está interesada en la bioinformática de organoides cerebrales.<sup>38</sup>

**NVIDIA** - El mayor fabricante de chips de IA del mundo también está al frente de la biología generativa. Su plataforma de IA GenSLM se ha entrenado con cientos de miles de genomas para generar nuevos genomas microbianos y virales. En particular, han desarrollado secuencias COVID candidatas para vacunas y parecen haber predicho con éxito algunas nuevas variantes de Covid.<sup>39</sup> Nvidia también colabora con la plataforma ESM3 de Amazon.<sup>40</sup>

32 Jake Wintermute, "Google y Ginkgo: Los datos a escala se unen a la IA" - <https://www.ginkgobioworks.com/2023/08/29/google-and-ginkgo-foundry-scale-data-meets-ai/>

33 <https://www.isomorphiclabs.com>

34 Suleyman, M. *La ola que viene: Tecnología, poder y el mayor dilema del siglo XXI*. 2023. Crown Publishing Group, Random House, p.55

35 Newton, W. 2023. "¿Qué es BioGPT y qué significa para el cuidado de la salud?" 9 Feb, <https://www.clinicaltrialsarena.com/news/biogpt-healthcare/>

36 Wood, M. 2024. "Revolucionando la biología generativa con AWS y EvolutionaryScale" 25 de junio, <https://aws.amazon.com/blogs/industries/revolutionizing-generative-biology-with-aws-and-evolutionaryscale/>

37 "IA para el clima y la naturaleza", Bezos Earth Fund, consultado el 25 de julio de 2024, <https://www.bezosearthfund.org/ai-climate-nature>.

38 Lee, Z. 2023. "Esta empresa emergente de IA quiere ser la próxima NVIDIA construyendo ordenadores impulsados por células cerebrales", Forbes, 21 de junio, <https://www.forbes.com/sites/zinnialee/2023/06/21/cortical-labs-brain-computer/>.

39 Salian, I. 2023. "Gen AI para el genoma: LLM predice las características de las variantes COVID", Nvidia Blog, 13 nov, <https://blogs.nvidia.com/blog/generative-ai-covid-genome-sequences/>.

40 Nagel, B. 2024. "NVIDIA y una empresa de investigación biológica respaldada por AMS lanzan el modelo 'ESM3'", 26 de junio, <https://pureai.com/Articles/2024/06/26/Bioresearch-ESM3-Model.aspx>.

**Meta (Facebook)** - En 2022, Meta presentó su plataforma ESMfold como rival de Alphafold de Google. Meta afirmaba que ESMfold albergaba más de 600 millones de estructuras de proteínas y era 60 veces más rápida que Alphafold.<sup>41</sup> Sin embargo, el proyecto se cerró en 2023 en medio de grandes despidos del personal de Meta.<sup>42</sup>

**Salesforce** - Esta empresa estadounidense líder en la nube de datos ha desarrollado ProGEN, un LLM de IA para generar nuevas proteínas. ProGEN se entrenó introduciendo las secuencias de aminoácidos de 280 millones de proteínas diferentes en un modelo de aprendizaje automático.<sup>43</sup> Como prueba de concepto, Salesforce afinó el modelo con 56 000 secuencias de un solo tipo de proteína: las lisozimas (utilizadas para ingredientes alimentarios).<sup>44</sup>

**Alibaba** - En 2023, científicos del gigante tecnológico chino Alibaba publicaron los resultados de su plataforma de IA LucaProt, entrenada para identificar virus de ARN. Según los investigadores, LucaProt identificó 161 979 especies potenciales de virus ARN y 180 supergrupos de virus ARN. Afirmaron,

**Este estudio marca el inicio de una nueva era en el descubrimiento de virus, al proporcionar herramientas computacionales que ayudarán a ampliar nuestra comprensión de la virósfera global de ARN y de la evolución de los virus.**<sup>45</sup>

41 Rosenbush, S. 2023. "Científicos de DeepMind y Meta impulsan la fusión de inteligencia artificial y biología", *Wall Street Journal* - 22 de marzo, <https://www.wsj.com/articles/scientists-at-deepmind-and-meta-press-fusion-of-ai-biology-4b92af6f>.

42 Wodecki Jr, B. 2023. "Meta despide al equipo responsable de un revolucionario modelo de plegamiento de proteínas", *AI Business*, 8 de agosto.

43 Madani, A. s.f. "ProGen: Inteligencia artificial para generar proteínas", Salesforce AI Research, consultado el 25 de julio de 2024, <https://blog.salesforceairesearch.com/progen/>.

44 Universidad de California. 2023. "La tecnología de la IA genera proteínas originales desde cero", *Physics.org*, 26 de enero, <https://phys.org/news/2023-01-ai-technology-generates-proteins.html>.

45 Xin Hou, Yong He, Pan Fang, Shi-Qiang Mei, Zan Xu, et al. 2023. "La inteligencia artificial redefine el descubrimiento de virus de ARN", *bioRxiv*; doi: <https://doi.org/10.1101/2023.04.18.537342>

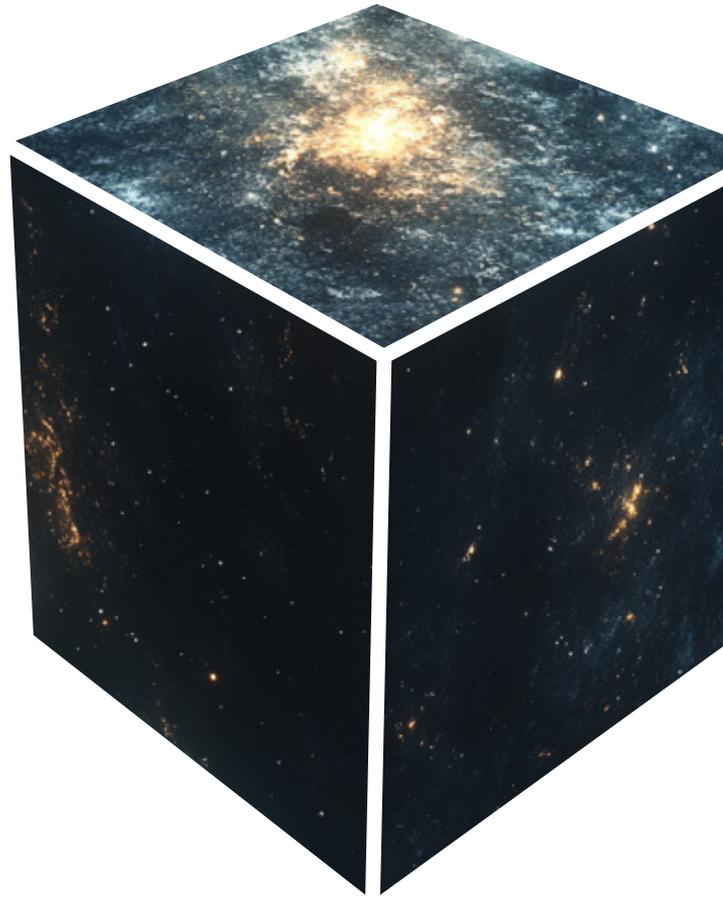
# Implicaciones para el CDB: cinco cuestiones urgentes

En medio de la actual avalancha de grandes empresas tecnológicas, inversiones y bombo publicitario en torno a la biología generativa y el uso de la IA para impulsar la producción biotecnológica, las Partes del CDB necesitan urgentemente encontrar respuestas, al menos, a las siguientes cinco preguntas:

## 1. ¿La biología generativa de la IA socava los acuerdos de acceso y distribución de beneficios del Protocolo de Nagoya y la gobernanza de la DSI?

Los acuerdos actuales sobre acceso y distribución de beneficios derivados de la utilización de recursos genéticos dependen de que se trace una línea clara desde el acceso original a un recurso genético (por ejemplo, la toma de una muestra de semilla o tejido) hasta la utilización comercial final de ese conocimiento (por ejemplo, en un producto editado genéticamente). Esto puede implicar el seguimiento de la digitalización de la información de secuencias (por ejemplo, códigos de ADN, secuencias de proteínas) y su almacenamiento en bases de datos de DSI. Sin embargo, el funcionamiento de la biología generativa impulsada por la IA oculta todo esto en una caja negra algorítmica, rompiendo cualquier vínculo entre los actos de acceso y los actos de utilización. De este modo, se pierde la oportunidad de compartir los beneficios o de que las comunidades ejerzan un derecho de veto sobre los usos finales.

Está claro, por las grandes inversiones que fluyen hacia la llamada biología generativa, que los gigantes tecnológicos creen que se pueden obtener enormes beneficios generando nuevas proteínas, secuencias de ADN, virus y similares. Para generar estas biomoléculas, los titanes de la tecnología están acaparando (gratuitamente) toda la DSI disponible actualmente en las bases de datos y utilizándola como datos de entrenamiento. Sin embargo, a la hora de repartir los beneficios, afirman que no es posible identificar qué recursos genéticos originales específicos hicieron que sus modelos sugirieran un resultado concreto. Debido a la naturaleza de caja negra de la IA generativa, argumentarán que los gobiernos, los reguladores o incluso los expertos no pueden rastrear el vínculo entre el acceso y la utilización. Esto tendrá implicaciones para las actuales negociaciones sobre DSI y reforzará el argumento a favor de un mecanismo multilateral y un fondo mundial. Las grandes empresas tecnológicas que utilicen modelos de IA generativa basados en DSI deberían ser identificadas claramente como empresas que utilizan DSI con fines comerciales y deberían contribuir al fondo que se ha creado.



Este serio desafío al paradigma actual de reparto equitativo de los beneficios refleja luchas similares que están surgiendo en el ámbito de la política de IA. Artistas, escritores, periodistas, fotógrafos y diseñadores han emprendido acciones legales contra empresas de IA que han entrenado sus modelos a partir de imágenes y escritos suyos extraídos de Internet (es decir, de forma gratuita).<sup>46</sup> Incluso han escrito programas informáticos para identificar obras de arte específicas en conjuntos de datos de entrenamiento.<sup>47</sup> Las empresas tecnológicas alegan que pueden eludir el pago de derechos de autor porque sus sistemas sólo se "entrenan" con esos datos y los nuevos resultados que generan son "novedosos" y diferentes. Es probable que expongan los mismos argumentos a los titulares de los derechos originales de los recursos genéticos. Puede ser necesario que los gobiernos insistan en que se cobre un impuesto o una licencia a las empresas de IA por cualquier uso de DSI en conjuntos de datos de entrenamiento. Puede haber formas técnicas de obligar a las empresas de IA a mantener la trazabilidad y forzar a la biología generativa a ser explicable, en lugar de basarse en una caja negra. Al menos una empresa emergente de biología generativa, Basecamp Research, con sede en el Reino Unido, ya afirma que su modelo de IA está preparado para Nagoya.<sup>48</sup>

## 2. ¿Socava la biología generativa de la IA los acuerdos de bioseguridad del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología?

Las decisiones del CDB y del Protocolo de Cartagena obligan a las Partes a realizar evaluaciones de bioseguridad de los organismos vivos modificados y a evaluar los riesgos de los productos, componentes y organismos desarrollados mediante biología sintética. Esto está en consonancia con el enfoque de precaución. Para evaluar la seguridad biológica de un nuevo organismo o producto, los evaluadores necesitan conocer ciertos tipos de información: necesitan saber qué recursos genéticos se añadieron y el organismo del que proceden (organismo donante), así como entender por qué se seleccionaron esas secuencias. Cuando el biodiseño genético se lleva a cabo en una caja negra de IA, los evaluadores de bioseguridad pueden verse privados de esta y otra información importante, necesaria para llevar a cabo evaluaciones de seguridad y de otro tipo (por ejemplo, socioeconómicas).

La historia reciente de la IA generativa en otros ámbitos también alerta sobre la posibilidad de que los organismos o proteínas diseñados por IA no sean fiables, lleven incorporadas decisiones de biodiseño inesperadas (e inexplicables) y estén diseñados con sesgos problemáticos (véase el recuadro sobre alucinaciones, sesgos y envenenamiento de datos de la IA).<sup>49</sup> La combinación de los riesgos e incertidumbres asociados a la ingeniería genética con los riesgos e incertidumbres emergentes que acompañan a la IA generativa crea una receta perfecta para catástrofes del tipo "cisne negro" (riesgos inusuales de gran impacto que no se pueden prever).

Una preocupación más amplia para los reguladores es lo que se ha llamado "el problema del ritmo". A medida que el diseño y la construcción automatizados de organismos, virus y proteínas sintéticos resulten más fáciles y dependan menos del trabajo humano de laboratorio, los reguladores pueden esperar un aluvión creciente de solicitudes de OGM y materiales novedosos que tendrán que ser evaluados y supervisados. Algunos expertos militares ya están advirtiendo contra la idea de dejar la evaluación de la bioseguridad de los productos y organismos generados por IA en manos de evaluadores de bioseguridad automatizados, argumentando la importancia de incorporar y mantener la experiencia humana.<sup>50</sup>

46 Se puede encontrar un resumen de los casos legales de derechos de autor de IA aquí: "Case tracker: Artificial intelligence, copyrights and class actions", BakerHostetler, consultado el 25 de julio de 2024, <https://www.bakerlaw.com/services/artificial-intelligence-ai/case-tracker-artificial-intelligence-copyrights-and-class-actions/>.

47 Véase <https://haveibeentrained.com>

48 Véase <https://www.basecamp-research.com/biotech>

49 Véase [https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_swan\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_swan_theory)

50 Vindman, C., et al. s.f. *La convergencia de la IA y la biología sintética: El diluvio que se acerca, preimpresión*, consultado el 25 de julio de 2024, <https://arxiv.org/pdf/2404.18973>.

## Alucinaciones, prejuicios y envenenamiento de datos de la IA

Aunque las empresas de IA presentan sus sistemas como competentes para generar textos, imágenes y genomas de organismos vivos, los dos primeros años de sistemas de IA generativa han arrojado problemas muy importantes en cuanto a la calidad y precisión de los resultados. Una parte de estos problemas se debe a que un sistema de IA es tan bueno como su conjunto de datos de entrenamiento, que debe ser cuidadosamente curado, depurado y gestionado para obtener resultados significativos y justos. De lo contrario, la “basura entrante” genera “basura saliente”. Los datos no son “puros e inmaculados”,<sup>51</sup> sino que pueden ser confusos, fáciles de clasificar erróneamente, faltar o estar muy sesgados. Lo que es más importante, los sistemas de IA generativa no están diseñados para crear o verificar la “verdad”, sino sólo para crear resultados que parezcan creíbles. De este modo, puede que nunca alcancen el nivel de la buena ciencia.

Uno de los problemas de salida más comunes de la IA generativa se conoce popularmente como “alucinaciones”. Se trata de un modelo de IA generativa que produce un texto o una imagen que parecen tener sentido, pero que, si se examinan más de cerca, están llenos de errores, mentiras, falsedades y elementos improbables. Por ejemplo, las imágenes generadas por la IA suelen mostrar a personas con seis dedos, texto mezclado o rasgos borrosos. El texto generado por IA puede informar erróneamente sobre hechos, manejar mal los números o inventar referencias. En 2023, los analistas estimaron que los chatbots de IA alucinan el 27% de las veces y que casi la mitad (46%) de sus respuestas contienen errores factuales. Si una imagen digital o un texto está lleno de estos errores alucinatorios (como es habitual) puede resultar molesto o incluso divertido, pero si se crea un organismo vivo o una proteína con errores alucinatorios significativos, podría resultar peligroso.

Sin embargo, los expertos han advertido de que el término “alucinaciones” puede ser una metáfora engañosa, ya que, de hecho, la arquitectura fundamental de los sistemas de IA generativa implica que estos sistemas no están interesados en producir resultados veraces. Los errores no son equivocaciones, sino que forman parte del funcionamiento de la IA generativa. Algunos estudiosos han llegado a sugerir que los sistemas de IA generativa deberían clasificarse científicamente como “máquinas de mentiras”, ya que “sencillamente no están diseñados para representar con exactitud cómo es el mundo, sino para dar la impresión de que eso es lo que hacen”.<sup>52</sup>

Una fuente adicional de errores es un sesgo incorporado a los datos de entrenamiento. Por ejemplo, se ha descubierto que los sistemas de texto de IA reflejan los sesgos sociales contra los estereotipos étnicos y raciales que se encuentran en los datos de entrenamiento o profundizan los sesgos de género y raciales en las decisiones de contratación o jurídicas. Por este motivo, las empresas de IA generativa contratan a muchos miles de anotadores humanos para “limpiar” sus resultados.<sup>53</sup> En un contexto de biodiversidad, la selección de datos biológicos procedentes únicamente de determinados cultivos comerciales o extraídos de ecosistemas y geografías limitados podría incorporar sesgos problemáticos. También se ha demostrado que entidades con motivaciones comerciales o políticas pueden “envenenar” deliberadamente los conjuntos de datos (añadir o eliminar datos específicos) para obtener resultados sesgados u ocultar otras opciones.<sup>54</sup> Por lo tanto, ejercer una sólida gobernanza sobre los conjuntos de datos de formación se convierte en una necesidad política extremadamente importante pero difícil.

51 Bronson, K. 2022. La inmaculada concepción de los datos: Agronegocio, activistas y su política de futuro común. Montreal: McGill-Queen's University Press

52 Hicks, M.T., Humphries, J. & Slater, J. ChatGPT es una porquería. *Ethics Inf Technol* 26, 38 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10676-024-09775-5>

53 Dzieza, J. 2023. “IA es un montón de trabajo”, *The Verge*, 20 de junio.

54 Véase “Envenenamiento de datos: La guía esencial”, *Nightfall AI*, consultado el 25 de julio de 2024, <https://www.nightfall.ai/ai-security-101/data-poisoning>.

### 3. ¿Plantea la biología generativa de la IA riesgos de bioseguridad/armas biológicas?

Uno de los riesgos de la biología generativa de la IA ante el que algunos gobiernos ya están actuando es la posibilidad de que estos sistemas generen nuevos patógenos, toxinas u otros productos que puedan convertirse en armas. Los modelos de biología generativa de IA podrían utilizarse para encontrar proteínas mortales o dañar cultivos, o para rediseñar virus y bacterias para que se propaguen más fácilmente o ataquen a determinadas especies. Al menos un artículo científico sobre un generador de proteínas de IA describe cómo ese sistema puede utilizarse fácilmente para generar artificialmente análogos de venenos naturales como el veneno de serpiente.<sup>55</sup>

### 4. La integración de la IA con la biología sintética, ¿mejorará o empeorará la salud y la sostenibilidad?

Parte de la razón por la que las grandes corporaciones de IA se lanzan a la biología generativa es que esperan proyectar públicamente la visión de una gama potencialmente ilimitada de tecnoadaptaciones especulativas, mejorando así la aceptabilidad social de la IA. En teoría, la biología generativa puede utilizarse para crear nuevas alternativas a las proteínas animales (Alt-proteínas), que, según sus defensores, podrían reducir la intensidad climática de los alimentos procesados. Se imagina que podrían desarrollarse proteínas de IA para materiales que secuestren dióxido de carbono y que nuevos pesticidas o virus diseñados por la biología generativa podrían erradicar los parásitos de la malaria. Las empresas farmacéuticas confían especialmente en poder utilizar las herramientas de la biología generativa para crear nuevos fármacos o sustituir compuestos de productos naturales por nuevos compuestos diseñados mediante biología generativa que puedan patentar y vender.

Por ahora, todas estas promesas son especulativas y se presentan como soluciones tecnológicas demasiado simplistas. El sentido común exige que los gobiernos lleven a cabo una investigación sobre el terreno para separar las exageraciones de las promesas, pero también evaluaciones tecnológicas para comprender las repercusiones y consecuencias sociales reales y probables. La historia de la química sintética y, más recientemente, de los organismos genéticamente modificados ha demostrado que las promesas audaces de la industria deben someterse al escrutinio de la sociedad y al principio de precaución, por si resultan ser falsas soluciones que no funcionan o desencadenan problemas más graves.

En el caso de la integración de la IA con la biología sintética, los responsables políticos deben estar atentos a los costes medioambientales reales que ya están surgiendo de la IA generativa.<sup>56</sup> Kate Crawford, destacada estudiosa de la IA y profesora de investigación de la Universidad del Sur de California, sugiere que fijarse en modelos específicos de IA no tiene sentido y que "si nos fijamos realmente en el panorama general, se trata de un sistema planetario gigantesco". Para que la IA funcione, se necesita una enorme cantidad de datos, así como enormes cantidades de computación. Actualmente, esta computación adopta la forma de chips NVIDIA (H100 y A100) fabricados en Taiwán. El cálculo requiere energía, y la energía necesaria para ejecutar estos modelos es asombrosa: las predicciones oscilan entre 5 y 50 veces más energía que las funciones de búsqueda tradicionales. El calor generado por este procesamiento debe refrigerarse, lo que implica grandes cantidades de agua. Investigadores de la Universidad de California Riverside y de la Universidad de Texas Arlington calcularon que se podrían haber utilizado unos 700 000 litros de agua para refrigerar las

55 Zulfiqar H, Guo Z, Ahmad RM, Ahmed Z, Cai P, Chen X, Zhang Y, Lin H, Shi Z. 2024. "Deep-STP: Un enfoque basado en el aprendizaje profundo para predecir proteínas de toxinas de serpiente mediante el uso de incrustaciones de palabras.", *Front Med (Lausanne)*. doi: 10.3389/fmed.2023.1291352. PMID: 38298505; PMCID: PMC10829051

56 Berreby, D. 2024. "A medida que se dispara el uso de la IA, también lo hacen la energía y el agua que requiere", *Yale E360*, 26 de febrero, <https://e360.yale.edu/features/artificial-intelligence-climate-energy-emissions>.

máquinas que entrenaron ChatGPT-3 en las instalaciones de datos de Microsoft (Li et al. 2023). ChatGPT-4 consume aún más energía, y tanto Microsoft como Google informan de que su consumo energético se ha disparado en los últimos años -un 50% en 5 años en el caso de Google (Malmo, 2024)- debido en gran parte a la IA generativa.

Además, el cálculo de la IA se lleva a cabo en miles de servidores electrónicos, cuya fabricación requiere un gran consumo de agua (para los chips), componentes de baterías industriales y la extracción de metales, tierras raras y otros minerales de la Tierra. El reciente auge de la IA generativa, acelerado por la publicación de ChatGPT, ha desencadenado un boom mundial en la construcción de centros de datos de IA que consumen mucha energía. Esto, a su vez, está revirtiendo los avances en la reducción de emisiones de carbono que tanto ha costado conseguir en el sector energético y está desviando agua dulce de las tierras de cultivo y de las comunidades más pobres para refrigerar los chips de IA. Las mayores empresas de IA, como Microsoft, encabezan ahora un renacimiento de la construcción de instalaciones de energía nuclear para mantener sus centros de datos funcionando.<sup>57</sup> Incluso el intento de suministrar energía renovable a los centros de datos está impulsando una problemática expansión de la extracción de minerales críticos. Las empresas de IA sostienen que con el tiempo la IA será más eficiente desde el punto de vista energético y que también puede contribuir a los esfuerzos para hacer frente al cambio climático. Sin embargo, cada vez preocupa más que la IA esté exacerbando las amenazas ecológicas precisamente en el momento en que los científicos advierten de que queda muy poco tiempo para dar la vuelta a las crisis mundiales del clima y la biodiversidad. El cómputo y la formación en DSI genómica requieren de gran cantidad de energía y recursos y no deberían ser adoptados a la ligera por las Partes que ya luchan por proteger la biodiversidad, el agua, la seguridad alimentaria y los objetivos de "cero emisiones netas".



AI Big data - © frank60, Shutterstock

57 Hiller, J. 2023. "Microsoft apunta a la energía nuclear para impulsar las operaciones de IA", *Wall Street Journal*, 12 de diciembre, <https://www.wsj.com/tech/ai/microsoft-targets-nuclear-to-power-ai-operations-e10ff798>.

## 5. ¿Cuáles son las implicaciones de la integración de IA/ biología sintética para los conocimientos y prácticas tradicionales?

El segundo objetivo del CDB se refiere a la utilización sostenible de la diversidad biológica. Órganos como el Grupo de Trabajo sobre el Artículo 8J desempeñan un papel esencial en la protección de los conocimientos y prácticas tradicionales que sustentan la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Las empresas de biología generativa que pretenden producir alternativas a los productos naturales, incluidos los ingredientes medicinales y alimentarios, pueden estar socavando directamente las cadenas de valor sostenibles que sustentan a millones de pequeños agricultores en todo el mundo. Los recursos genéticos digitales con los que se entrenan los modelos de IA suelen proceder originalmente de los territorios de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Estos recursos se utilizan en sus ceremonias, sistemas alimentarios y formas de vida y existen en estrechas relaciones con las comunidades. Convertir ese conocimiento y esas relaciones en DSI para entrenar sistemas corporativos de IA para la producción de organismos y proteínas sintéticos comerciales amplía los siglos de robo y apropiación colonial que los pueblos indígenas y las comunidades locales han sufrido durante mucho tiempo.<sup>58</sup> Los académicos han denominado a esta nueva ola de apropiación digital de la vida “colonialismo de datos”.

En los próximos años, es probable que a los debates sobre biología generativa se sumen otros debates urgentes sobre las implicaciones del despliegue de sistemas de IA en la silvicultura, uso de la tierra, conservación, gestión marina, restauración, gestión de especies, agricultura y otros ámbitos. Los pueblos indígenas y las comunidades locales -como poseedores originales de los recursos biológicos y de otro tipo que se están extrayendo, entrenando y manipulando a través de la IA- deberían tomar la iniciativa en la toma de decisiones políticas globales en torno a la IA en el CDB y más allá.



Cambio de semillas - © P.Kimeli\_CCAFS, Flickr

58 Couldry, N. & Mejias, U.A. 2020. “Los costos de la conexión: Cómo los datos colonizan la vida humana y se apropian de ella para el capitalismo”, Social Forces, Volumen 99, número 1, p. e6, <https://doi.org/10.1093/sf/soz172>

# Hacia el futuro del CDB

En los próximos años, cabe esperar que las cuestiones sobre cómo la IA transformará la conservación, el uso sostenible y el reparto equitativo de los beneficios se conviertan en un importante tema de debate y acción política que domine todos los programas de la Convención. Por el momento, el tema de la biología generativa y la integración de la biología sintética con la inteligencia artificial es cada vez más importante y urgente para que las Partes lo aborden, separen las exageraciones de la realidad y tomen el control.

Trasladar la ingeniería genética y la producción de biomoléculas novedosas a la caja negra de la IA generativa puede, al final, no cumplir las brillantes promesas que están haciendo actualmente las grandes empresas tecnológicas. Sin embargo, mientras tanto, las Partes deben reconocer que este enfoque socava los tres pilares clave que se han erigido para garantizar un desarrollo justo y cauteloso de la biotecnología: la bioseguridad, el reparto justo y equitativo de los beneficios y los medios de responsabilidad y reparación. También plantea serias consideraciones socioeconómicas.



Cultivo de habas - © Alianza de Bioversity International y el CIAT, Flickr

Al mismo tiempo, se promete que la aplicación de herramientas de IA generativa aumentará el volumen y la complejidad de los organismos y productos de bioingeniería hasta niveles que pueden desbordar las capacidades reguladoras. Esto ocurre exactamente en el momento en que los reguladores necesitan, más que nunca, asegurarse cuidadosamente de que haya un "humano involucrado en el proceso" (human in the loop). La publicidad y las promesas de los gigantes digitales que acaban de tomar las riendas de la bioeconomía deberán ser investigadas y analizadas por seres humanos, no por algoritmos, sobre todo a partir de los conocimientos de los pueblos indígenas y las comunidades locales. El CDB tendrá que mantener su compromiso histórico con el principio de precaución frente al enfoque preferido de Silicon Valley de "moverse rápido y ser disruptivo" (a veces llamado "principio de innovación").<sup>59</sup>

En la COP 16 del CDB, las Partes tienen una oportunidad muy clara y directa para evitar que el tema de la biología generativa dé un vuelco y vacíe las décadas de buen trabajo que ha liderado el CDB, para ayudar a establecer una buena gobernanza sobre la biotecnología. Siguiendo las recomendaciones del mAHTEG sobre Biología Sintética, las Partes deberían:

- Iniciar un proceso de formulación de políticas que aborde la integración de la IA con la biología sintética.
- Solicitar al mAHTEG que lleve a cabo una nueva evaluación de la integración de la IA con la biología sintética, que conduzca a un informe que aborde, entre otras cosas, los impactos potenciales sobre la bioseguridad; el uso sostenible de la biodiversidad; el acceso equitativo y la distribución de beneficios; los aspectos sociales, económicos y culturales; los impactos sobre el conocimiento y las prácticas tradicionales; y otras cuestiones pertinentes.
- Solicitar a la Secretaría del CDB que elabore una serie de publicaciones técnicas sobre la IA y que participe en las actividades del sistema de las Naciones Unidas relativas a la gobernanza de la IA.
- Instar a las Partes a que consideren el desarrollo de acuerdos de gobernanza efectivos y equitativos para los conjuntos de datos de IA; modelos fundacionales; herramientas algorítmicas de biodiseño; herramientas científicas automatizadas; y el uso de organismos, componentes y productos de biología sintética en sistemas ciberfísicos.
- Insistir en que las grandes empresas tecnológicas y de biología generativa que entrenan sus modelos de IA con DSI, están utilizando la DSI con fines comerciales y, por tanto, deben estar sujetas al mecanismo multilateral y a las obligaciones de pago al fondo mundial sobre DSI.

59 Observatorio Europeo de las Empresas. 2018. "La trampa del 'principio de innovación': las industrias detrás de productos de riesgo presionan por una puerta trasera para eludir las normas de seguridad de la UE", 5 de diciembre, <https://corporateeurope.org/en/environment/2018/12/innovation-principle-trap>

# Glosario de términos clave

**Acceso y distribución de beneficios** - Se refiere a cómo se puede acceder adecuadamente a los recursos genéticos con consentimiento, y cómo se reparten de forma justa y equitativa los beneficios que se derivan de su uso con las personas o países que los proporcionan (proveedores).

**Inteligencia artificial (IA)** - conjunto de tecnologías que se basan principalmente en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, y se utilizan para el análisis de datos, predicciones y previsiones, categorización de objetos, procesamiento del lenguaje natural, recomendaciones, recuperación de datos, etc.

**Biocomputación** - Sistemas de moléculas biológicas o células vivas manipuladas que realizan procesos computacionales en lugar de la computación basada en silicio.

**Biodiseño** - Aplicación de métodos y enfoques del diseño creativo e ingeniería al diseño deliberado de materiales y sistemas vivos.

**Bioproducción** - Crecimiento, desarrollo y cosecha de compuestos industriales (por ejemplo, pequeñas moléculas o proteínas) en instalaciones biotecnológicas como cubas de fermentación o cultivos celulares. A veces también se denomina "bioprocesamiento".

**Biotecnología** - El CDB de la ONU define la biotecnología como "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para fabricar o modificar productos o procesos para usos específicos". Suele referirse a las biotecnologías moleculares "modernas", como la manipulación y transferencia de genes, la edición de genes, la tipificación del ADN y la clonación de plantas y animales.

**Problema de la "caja negra"** - La falta intrínseca de transparencia o interpretabilidad externa de los sistemas de IA cuyos modelos internos se ocultan para que no sean comprensibles.

**Sistemas ciberfísicos** - Sistemas más complejos del mundo real en los que las actividades u objetos del mundo real están controlados por tecnologías digitales, como la IA, los sensores y la automatización.

**Aprendizaje profundo** - Una forma de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales multicapa para procesar datos de una forma inspirada en el cerebro humano.

**Modelo de difusión** - Un modelo generativo de IA que aprende añadiendo ruido aleatorio para destruir datos y luego reconstruirlos. Se utiliza, por ejemplo, para Stable Diffusion (creador de imágenes de IA generativa).

**Información de secuencia digital (DSI) sobre recursos genéticos** - Término político que se refiere ampliamente a los datos de secuencia genética y otros datos digitales relacionados. Esto incluye los detalles del ADN, ARN, secuencias de proteínas y otros códigos biológicos moleculares de un organismo que pueden expresarse en forma digital.

**Inteligencia artificial discriminativa:** se centra en clasificar los datos existentes. Para ello, aprende el límite de decisión que separa las distintas clases de datos: por ejemplo, la clasificación de imágenes o la identificación de la taxonomía de las especies.

**IA explicable** - Propuestas para desarrollar modelos de IA que no oculten su funcionamiento en una "caja negra", sino que lo almacenen en un lugar donde sea posible rastrear la razón y la fuente de un resultado concreto (todavía teórico hasta la fecha).

**Modelos de base** - Modelos de IA a gran escala, amplios y adaptables con muchos parámetros, entrenados en una amplia gama de conjuntos de datos de forma autosupervisada. Pueden entrenarse en conjuntos de datos más específicos para distintas aplicaciones.

**IA generativa** - modelos de aprendizaje profundo que pueden tomar datos sin procesar y generar resultados estadísticamente probables cuando se les solicita. Los modelos generativos codifican una representación simplificada de sus datos de entrenamiento y se basan en ella para crear un nuevo trabajo similar, pero no idéntico, a los datos originales.

**Biología generativa** - Término industrial emergente utilizado por empresas que aplican modelos generativos de IA entrenados con información genética o de secuencias biológicas para predecir diseños de nuevas secuencias biológicas (por ejemplo, secuencias de ADN o proteínas).

**Alucinación** - Respuesta generada por la IA que contiene información falsa o engañosa presentada como un hecho. Puede incluir imágenes o fragmentos de texto que parecen creíbles, pero que son imposibles o erróneos.

**"Human in the loop"** - Concepto emergente en el discurso de la IA que describe procesos que se alejan de la automatización total por parte de las máquinas al garantizar que el ser humano sigue siendo el responsable de la toma de decisiones y los resultados.

**Grandes modelos lingüísticos (LLM)** - modelos de aprendizaje automático que ingieren grandes cantidades de texto, a partir del cual analizan, clasifican y, a continuación, generan textos lingüísticos de apariencia creíble.

**Responsabilidad y compensación** - Sistema jurídico establecido en el marco del CDB y, en particular, el Protocolo Suplementario de Nagoya-Kuala Lumpur sobre Responsabilidad y Compensación, que establece un régimen de responsabilidad por los daños causados a la biodiversidad (por ejemplo, por organismos vivos modificados), así como procedimientos para garantizar el reembolso o la reparación de los daños.

**Aprendizaje automático:** uso de sistemas informáticos capaces de aprender y adaptarse sin seguir instrucciones explícitas. Los sistemas de aprendizaje automático utilizan algoritmos y modelos estadísticos para analizar y extraer conclusiones a partir de patrones de datos.

**Biotecnología moderna** - El CDB de la ONU define la "biotecnología moderna" como "la aplicación de:

- técnicas de ácido nucleico in vitro, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o
- fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de reproducción o recombinación y que no son técnicas utilizadas en el cruce o mejora genética y selección tradicionales".

**Principio de precaución o enfoque de precaución** - Enfoque del derecho medioambiental que reequilibra la carga de la prueba en caso de riesgo. La Declaración de Río de 1992 define el criterio de precaución como "cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medioambiente".

**Modelos de grandes lenguajes de proteínas** - Prot-LLMs – los LLM entrenados en datos de secuencias relacionadas con proteínas - incluyendo secuencias de aminoácidos, patrones de plegamiento de proteínas y otra información biológica - que intentan predecir la estructura, funciones e interacciones de las proteínas.

**Cultivos listos para robots** - Cultivos diseñados genéticamente para comunicar información a equipos agrícolas robotizados (por ejemplo, se vuelven fluorescentes cuando están estresados por el ataque de insectos o sequías). Los cultivos están diseñados para apoyar la agricultura digital.

**Biología sintética** - Definida por el CDB de la ONU como "un nuevo desarrollo y una nueva dimensión de la biotecnología moderna que combina ciencia, tecnología e ingeniería para facilitar y acelerar la comprensión, diseño, rediseño, fabricación y/o modificación de materiales genéticos, organismos vivos y sistemas biológicos".

**Datos de entrenamiento** - conjunto inicial de datos utilizados para entrenar un algoritmo o modelo de aprendizaje automático.

**Modelo basado en transformadores** - ejemplo de modelo de IA generativa basado en un codificador y un decodificador para analizar la relación de las palabras (o similares) con otras palabras de un texto. Se utiliza, por ejemplo, para el *chatbot* de IA generativa ChatGPT.