



¿Saqueo biológico a través de la IA? La siguiente frontera de la biopiratería

Jim Thomas - Grupo ETC

Este estudio de caso forma parte de una colaboración de investigación entre el Grupo ETC e IT for Change y cuenta con el apoyo del Center for Global Digital Justice.

Resumen

Este informe arroja luz sobre un campo emergente: la biología generativa (*GenBio*, por cómo se abrevia en inglés). Es la aplicación de inteligencia artificial generativa para diseñar nuevas moléculas biológicas: genomas, proteínas, ARN y vías metabólicas. La GenBio se está expandiendo a una velocidad extraordinaria, impulsada por las grandes empresas tecnológicas y el capital de riesgo, con la farmacéutica como su mercado principal y aplicaciones crecientes en agricultura, diseño de materiales y energía. Aunque se promueve como solución transformadora para los retos sanitarios, alimentarios y climáticos, posiblemente su mayor valor se encuentre en servir a la propia industria de la inteligencia artificial (IA), al generar cargas de trabajo con gran volumen de datos y beneficios para su reputación, mientras traslada los costos sociales, ecológicos y económicos a la sociedad.

Este estudio destaca cuestiones urgentes que deben discutirse en el marco de la justicia de datos: la renovación de la bioprospección para alimentar los modelos de IA, la conversión de la biodiversidad en activos digitales privados, la erosión del consentimiento y de la distribución de beneficios, y el avance veloz del biocolonialismo, ahora digital. La GenBio también amenaza con desplazar los medios de vida, erosionar los derechos bioculturales, mermar los regímenes de bioseguridad y afianzar las agendas filantro-capitalistas y militares.

El informe identifica puntos de entrada clave para la participación de la sociedad civil, incluidas las negociaciones en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Tratado de Semillas de la FAO, la privacidad y la protección de datos, y la política nacional o regional sobre datos para entrenar la IA. La precaución, los derechos humanos, la justicia ecológica y la justicia de datos deben guiar los esfuerzos para resistir a un mayor encapsulamiento de la vida basado en la IA y en las tecnologías digitales.

Índice

Resumen	2
Sección I - Visión general e introducción	4
Objetivos y metodología	5
Historia y antecedentes de la GenBio	5
Sección II: Hacia una definición y taxonomía de AlxBio	9
Diseño biológico y «biología generativa»	10
Herramientas de IA y automatización de laboratorios	12
IA en sistemas biológicos ciber-físicos	12
Bioinformática	13
Sección III: Análisis del «paquete» de AlxBio/GenBio	13
Descripción general del paquete	13
a. Datos. La importancia primordial de la cadena de suministro de datos: el retorno de la bioprospección y la biopiratería	15
b. Traducción húmeda/seca: la síntesis y la secuenciación como puentes y puntos de control esenciales	17
c. Modelos: los gigantes de la IA aumentan las ventas de servicios informáticos y en la nube	17
d. Mercados de productos: domina la industria farmacéutica. Profunda disrupción de los productos naturales.	19
e. Finanzas. Los elevados costes, el alto endeudamiento y la era Trump impulsan el giro militar	21
Sección IV: Perspectivas	22
Puntos de partida para consideraciones sociales, medioambientales y políticas desde una perspectiva de justicia de datos y derechos humanos	22
1. Bioeconomía: mayor extracción de recursos y violaciones de derechos derivadas de biología generativa habilitada por la IA	24
2. Biopiratería: una renovada fiebre de bioprospección	25
3. Derechos bioculturales: medios de vida y culturas amenazados	27
4. Bioseguridad: evaluación de riesgos, gobernanza y supervisión bajo presión por la IA	28
5. Justicia sanitaria: qué significa la búsqueda de compuestos farmacéuticos «superventas» y la participación de los filántropos capitalistas	29
6. Militarización: la GenBio centrada en la defensa amenaza los derechos, la transparencia y la equidad	31
Oportunidades para la acción de la sociedad civil	31
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	32
Acciones en materia de privacidad digital	33
Política nacional, regional y mundial sobre datos de entrenamiento de IA	34
Reflexiones finales	34

Sección I: Descripción general e introducción

La *biología generativa* (GenBio) describe la aplicación de la inteligencia artificial generativa (IA que crea material digital novedoso o sintético) al campo de la ingeniería genética: el rediseño y la creación de sistemas biológicos fundamentales, como genomas, vías metabólicas, ARN y proteínas. En este estudio, utilizamos GenBio como abreviatura de este ámbito tecnológico más restringido, mientras que *AixBio* denota la convergencia más amplia de la IA y la biotecnología.

Hoy en día, la inteligencia artificial (IA) se refiere a sistemas computacionales que se basan en vastos conjuntos de datos y una gran potencia de procesamiento para crear modelos destinados a predecir resultados en el mundo real. Aunque la IA se promueve como transformadora en todos los sectores, incluida la biotecnología, los beneficios inmediatos de la biología generativa (GenBio) pueden ser menores para la biología en sí que para la industria de la IA. La GenBio abre un mercado lucrativo e intensivo en datos, al tiempo que permite a las empresas de IA reinventarse como innovadoras que abordan problemas globales, independientemente de si sus tecnologías ofrecen soluciones reales o viables.

La industria de las tecnologías digitales se está aventurando más allá de los usos conocidos de la inteligencia artificial —la generación de nuevos textos, medios, videos y sonidos— pues está implicando que la IA generativa puede ayudar a la producción de medicamentos de alto valor para curar enfermedades, materiales, alimentos y productos químicos. Así, tranquiliza a los inversores pues está proponiendo una futura línea de productos para la «economía real». Los avances en GenBio, especialmente en medicina, pueden otorgar a los titanes tecnológicos mayor legitimidad moral. Un ejemplo emblemático es Google DeepMind, un laboratorio de investigación y filial de Alphabet/Google, cuyos científicos principales ganaron el Premio Nobel de Química en 2024 por *AlphaFold2*, un modelo de GenBio que revolucionó la predicción de la estructura de las proteínas.¹

En abril de 2025, el director ejecutivo de DeepMind (y ahora premio Nobel Demis Hassabis) hizo la audaz afirmación de que los modelos de GenBio podrían significar el fin de las enfermedades «quizás en la próxima década».² Al extender la IA generativa más allá del ámbito digital y adentrarse en los ámbitos físico y biológico, GenBio no solo alimenta el entusiasmo tecnológico, sino que también abre una nueva frontera de explotación comercial, lo que conlleva graves riesgos para la bioseguridad, los sistemas

¹ Ewen Callaway, «El Nobel de Química recae en los desarrolladores de AlphaFold AI, que predice estructuras proteicas», *Nature*, 9 de octubre de 2024: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-03214-7>

² Demis Hassabis citado en Derek Lowe, «El fin de las enfermedades», blog In The Pipeline, *Science*, 21 de abril de 2025: <https://www.science.org/content/blog-post/end-disease>

alimentarios y sanitarios, y el control corporativo y digital sobre la vida misma. El uso de nuevas herramientas genéticas, junto con una agenda impulsada por las empresas para convertir la biomasa en productos de base biológica, se describe a menudo como “la visión de la bioeconomía”. Cuando a la agenda de la bioeconomía se le agrega la dinámica de la nueva IA, se amplifican y complican las antiguas controversias sobre el dominio que ejercerán sobre la vida las empresas digitales de punta.³

Objetivos y metodología

Dado que el campo de la GenBio es extremadamente nuevo —y evoluciona cada mes—, este informe pretende:

- Desarrollar una taxonomía inicial y unas definiciones fundamentales del sector en el que la IA y la ingeniería genética se solapan y convergen, estudiando los tipos de entidades y actividades que conforman el ecosistema de la GenBio, junto con la dirección estratégica que puede tomar el campo en los próximos 3-5 años.
- Presentar un marco conceptual de la industria GenBio (denominado aquí «paquete» GenBio) y ofrecer ideas preliminares que ayuden a evaluar los impactos a corto plazo en el mundo real, ya que se trata de un ámbito que ha recibido poca atención académica crítica.
- Identificar las áreas emergentes de interés social, prestando especial atención a la justicia de los datos y a la urgente necesidad de mecanismos más sólidos de gobernanza de los datos.
- Demostrar las normas y principios de justicia de datos que habría que tener en cuenta.

Esta investigación se basa en un estudio inicial de las actividades comerciales y científicas en la intersección de la IA —en particular, la IA generativa— y la biotecnología. Se basa en análisis de mercados, literatura académica, actualizaciones de asociaciones industriales y la participación directa en eventos y conferencias de AlxBio. El autor también realizó entrevistas con figuras clave de la industria y la ciencia⁴ y asistió a reuniones internacionales importantes sobre políticas e industria relacionadas con este nuevo campo tecnológico. Si bien este informe cuenta con el apoyo de IT for Change y el Center for Global Digital Justice, se elaboró en paralelo a una investigación sobre el

³ Sobre la bioeconomía, véase, Grupo ETC, «Los nuevos amos de la biomasa. Biología sintética y el próximo asalto a la biodiversidad», noviembre de 2010 [Nueva investigación del Grupo ETC: Los nuevos amos de la biomasa](#)

⁴ Entre los entrevistados se encontraban representantes de una empresa emergente de GenBio (Basecamp Research), una empresa líder mundial en tecnología de inteligencia artificial (Google DeepMind), un inversor líder en capital riesgo en este ámbito (NotBoring), un pionero en biología sintética (Universidad de Stanford) y un representante de un grupo comercial y mediático del sector (SynBio Beta).

poder de mercado y la gobernanza de la convergencia de la IA generativa y la biotecnología, con el apoyo del European Artificial Intelligence and Society Fund. Este informe abrevia de entrevistas realizadas originalmente en ese proyecto.

Historia y antecedentes de la GenBio

El año 2026 marcará dos aniversarios muy simbólicos para el campo de la biotecnología: los cincuenta años desde la fundación de Genentech⁵, pionera en la comercialización de la biotecnología, y los sesenta años desde la creación del primer chatbot de IA, *Eliza*, de Joseph Weizenbaum⁶. El pionero de la biología sintética Drew Endy ha descrito el sector de la IA y la informática como la «hermana mayor» de la biotecnología⁷: ambas industrias surgieron de las mismas instituciones de élite y mentalidad tecnocrática, respaldadas por las mismas redes de capital riesgo y arraigadas en los mismos centros geográficos. Sin embargo, mientras que las empresas de datos ascendieron sin problemas hasta dominar la economía mundial, la biotecnología, considerada la hermana Cenicienta, se enfrentó a fuertes vientos en contra de la oposición pública y a retos sistémicos al intentar rediseñar la alimentación, la salud y la energía.

A principios de la década de 2000, cuando la primera ola de productos biotecnológicos tropezó con la resistencia pública y las limitaciones técnicas, un nuevo movimiento en las biociencias, la biología sintética, se propuso replantear la ingeniería genética adoptando deliberadamente el lenguaje y la lógica de la industria informática. Con la promesa de una mayor precisión y control, adoptó un ciclo de «diseño-construcción-prueba» y promovió la idea de «piezas» biológicas estandarizadas inspiradas en los componentes electrónicos. Bajo este paradigma denominado «biología digital», técnicas como la edición genética, la síntesis de ADN y el «diseño racional» de células y genomas se renombraron como modulares y programables.

Alrededor de 2010-2012, Craig Venter, empresario de la industria de la genómica, afirmó haber «editado» el ADN de un organismo vivo para que funcionara como una especie de «compilador» biológico, capaz de «cargar» y «ejecutar programas genéticos» dentro de

⁵ Véase la historia del origen de Genentech, contada por la propia empresa: <https://www.gene.com/stories/proof-of-concept>

⁶ Para conocer la historia del primer chatbot y los remordimientos de su inventor, véase Ben Tarnoff, «Las pesadillas de Weizenbaum: cómo el inventor del primer chatbot se volvió contra la IA», *The Guardian*, 25 de julio de 2023: <https://www.theguardian.com/technology/2023/jul/25/joseph-weizenbaum-inventor-eliza-chatbot-turned-against-artificial-intelligence-ai>

⁷ De la mesa redonda de la Conferencia SynBioBeta 2025, «Biología sin límites: la próxima era de la (bio)informática», Centro de Convenciones de San José, 6 de mayo de 2025.

un «sistema operativo» vivo⁸. En la Universidad de California-Berkeley, Jay Keasling había rediseñado las vías metabólicas de la levadura basándose en métodos (y metáforas) tomados del diseño de circuitos electrónicos⁹. Las empresas nicho de biología sintética, como Ginkgo Bioworks y Amyris, comenzaron a presumir de utilizar la computación a gran escala y la inteligencia artificial temprana para «reprogramar formas de vida». Al mismo tiempo, empresas como Zymergen¹⁰ y Transcriptic imitaron el modelo comercial de la computación en la nube para establecer «laboratorios en la nube» totalmente automatizados y asistidos por IA, que ofrecían experimentación biotecnológica a distancia a través de una interfaz web.

Dado que la biología sintética se inspira en gran medida en el modelo de negocio digital, era quizás inevitable que la explosión de la IA generativa también se filtrara en la biotecnología. La filial DeepMind de Google, con sede en Londres, recurrió a las redes neuronales para abordar el llamado «problema del plegamiento de proteínas». Mientras que la mayoría de los modelos de IA discriminativos de la década de 2010 se entrenaron con grandes conjuntos de datos de texto o imágenes, AlphaFold de DeepMind se entrenó con secuencias digitales de proteínas disponibles públicamente, con el objetivo de predecir cómo una cadena de aminoácidos determinada podría plegarse en una estructura proteica tridimensional. En 2018 y de nuevo en 2020, AlphaFold compitió y ganó el concurso internacional CASP (Critical Assessment of Structure Prediction) sobre plegamiento de proteínas. Al término de la CASP 2020, su fundador, John Moult, declaró resuelto el problema del plegamiento de proteínas.¹¹ (En realidad, AlphaFold sigue teniendo dificultades con ciertas clases de proteínas y no ofrece una comprensión más profunda de las «reglas» subyacentes que rigen el plegamiento de proteínas¹².)

En 2022, los modelos extensos de lenguaje (LLM, por sus siglas en inglés) irrumpieron en la conciencia pública en medio de una ola de entusiasmo por la IA generativa y de inversiones especulativas, impulsadas por plataformas como ChatGPT de OpenAI y Bard de Google (posteriormente rebautizada como Gemini). Ansiosos por aprovechar los miles de millones que fluían hacia la IA, los directores ejecutivos de empresas de biología sintética comenzaron a afirmar que la arquitectura «transformadora»¹³ detrás de los LLM

⁸ Daniel G. Gibson, «Programming biological operating systems: genome design, assembly and activation» (Programación de sistemas operativos biológicos: diseño, ensamblaje y activación del genoma), *Nature Methods*, 11(5):521-6, mayo de 2014. doi: 10.1038/nmeth.2894.

⁹ J. D. Keasling, «Biología sintética y desarrollo de herramientas para la ingeniería metabólica», *Metabolic Engineering*, mayo de 2012; 14(3):189-95. doi: 10.1016/j.ymben.2012.01.004.

¹⁰ Véase <https://en.wikipedia.org/wiki/Zymergen> y <https://www.ycombinator.com/companies/transcriptic>

¹¹ Will Douglas Heaven, «La IA de DeepMind para el plegamiento de proteínas ha resuelto un gran desafío de la biología que llevaba 50 años sin resolverse», *MIT Technology Review*, 30 de noviembre de 2020: <https://www.technologyreview.com/2020/11/30/1012712/deepmind-protein-folding-ai-solved-biology-science-drugs-disease/>

¹² https://www.reddit.com/r/labrats/comments/1b1l68p/people_are_overestimating_alphafold_and_its_a/

¹³ Un modelo transformador es una arquitectura de red neuronal que puede transformar automáticamente un tipo de entrada en otro tipo de salida. Los modelos transformadores son especialmente hábiles para determinar el

también podía aplicarse al «lenguaje de la biología», lo que permitiría la generación de nuevas proteínas y secuencias de ADN. Algunos incluso compararon su potencial con el de «dividir el átomo».¹⁴ Startups como Generate Biosciences y Ginkgo Bioworks comenzaron a promover un cambio hacia una nueva fase de «biología generativa», en la que los chatbots, y no los bioingenieros, diseñarían ADN, proteínas e incluso genomas completos a partir de una indicación de IA, ofreciendo lo que describieron como interfaces «de texto a proteína»¹⁵.

A principios de 2024, Mustafa Suleyman, uno de los cofundadores de Google DeepMind, fue coautor (junto con Michael Bhaskar) de un libro de gran repercusión titulado *The Coming Wave*¹⁶ que predecía que la humanidad se acercaba a su «punto de inflexión» más significativo de la historia debido a la convergencia de la inteligencia artificial y la biología sintética. Poco después, Suleyman fue nombrado director ejecutivo de la división de Inteligencia Artificial de Microsoft¹⁷. A finales de 2024, casi todas las principales empresas de IA del mundo —Microsoft, Google, Amazon, NVIDIA, Alibaba y Meta— se habían convertido en actores activos de GenBio.¹⁸ Ese mismo año, los directivos de Google DeepMind recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Química por AlphaFold2,¹⁹ lo que consolidó aún más el auge de este campo y la creciente implicación de las grandes tecnológicas en las ciencias de la vida.

Teniendo en cuenta que este campo no existía hace tan solo tres años, el ritmo al que GenBio se ha expandido es vertiginoso. Una encuesta realizada en 2024 por Future Markets²⁰ identificó 97 empresas activas en biología generativa, que en conjunto han recaudado más de 1000 millones de dólares en inversiones anuales desde 2021, aunque casi cada semana aparecen nuevos nombres. Tres cuartas partes de estas empresas se centran en la aplicación de GenBio al descubrimiento de fármacos, y casi todas las grandes empresas farmacéuticas, incluidas Roche, GSK, Merck, Bayer, Pfizer y Sanofi Aventis, se han asociado con al menos una empresa emergente de GenBio. El interés

contexto y el significado mediante el establecimiento de relaciones en datos secuenciales, lo que a su vez constituye la base de los grandes modelos lingüísticos (LLM), como el ChatGPT de Open AI.

¹⁴ Jason Kelly, de Ginkgo Bioworks, en el podcast No Priors, 28 de septiembre de 2023, episodio 34: «El ADN como código: programación celular e IA», YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=snt-fMsCDVl>.

¹⁵ Shelly Fan, «ChatGPT para biología: una nueva IA crea proteínas de diseño con solo una indicación de texto», Singularity Hub, 27 de mayo de 2025: <https://singularityhub.com/2025/05/27/chatgpt-for-biology-a-new-ai-whips-up-designer-proteins-with-only-a-prompt/>

¹⁶ Mustafa Suleyman y Michael Bhaskar, *La ola que se acerca: tecnología, poder y el mayor dilema del siglo XXI*, Crown Publishing Group, Random House, 2023.

¹⁷ <https://www.theguardian.com/technology/2024/mar/20/microsoft-hires-deepmind-co-founder-ai-division-mustafa-suleyman>

¹⁸ Jim Thomas, «DSI, IA y titanes tecnológicos», artículo n.º 70 (7) de CBD Alliance Eco, 29 de octubre de 2024. <https://www.cbd-alliance.org/en/2024/dsi-ai-and-technology-titans>

¹⁹ Ewen Callaway. «El Nobel de Química recae en los desarrolladores de AlphaFold AI, que predice estructuras proteicas», 9 de octubre de 2024, Nature 634, 525-526 (2024).

²⁰ Future Markets, [«Mercado global de la biología generativa 2024-2035»](#), 2024.

también está creciendo en los sectores agroindustrial, de materiales y energético. Future Markets prevé que la GenBio podría convertirse en una industria de 50000 millones de dólares en 2035, prestando servicio a un mercado de usuarios finales valorado en hasta 140000 millones de dólares.²¹

El entusiasmo de los inversores por los posibles beneficios de permitir que los sistemas de IA reprogramen los fundamentos de la vida se ve cada vez más contrarrestado por la creciente preocupación de la sociedad civil y los responsables políticos internacionales. Tanto la IA generativa como la ingeniería genética son ya ámbitos muy controvertidos, y la aparición de un nuevo sector comercial en su intersección —con impactos en la salud, la alimentación, el medio ambiente y la consolidación empresarial— amplifica una serie de cuestiones sin resolver de carácter social, económico, moral, jurídico, de seguridad y de poder. En lugar de resolver las controversias existentes, la GenBio las intensifica y agrava.

La biología sintética impulsada por la IA ya ha surgido como tema en las negociaciones del Convenio de Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (más detalles a continuación) y esa convergencia también plantea preocupaciones de seguridad, ya que la automatización de la GenBio elimina las barreras que impiden que un actor malintencionado u hostil genere nuevas toxinas, armas biológicas o patógenos que provoquen pandemias. Por ello, los Estados y los ejércitos tienen un mayor interés en situarse en primera línea del desarrollo y la industrialización de la GenBio, lo que aumenta el entusiasmo del sector de la defensa y sus presupuestos. En medio de la efervescencia del mercado y las esperanzas y temores contradictorios, es esencial contar con una imagen clara y fundamentada del estado real de la GenBio (y de la IAxBio en general) para los próximos procesos políticos.

Sección II: Hacia una definición y taxonomía de la IAxBio

El lenguaje de la *IAxBio*, tal y como lo utilizan el grupo comercial SynBioBeta y varios comentaristas del sector²², abarca un ámbito amplio y en evolución en el que la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la computación avanzada están remodelando la práctica de la biotecnología. Las definiciones y delimitaciones no están acordadas por los grupos de interés. La interfaz entre la IA y la biología se puede dividir en cuatro grandes áreas:

²¹ Future Markets, «[Mercado global de la biología generativa 2024-2035](#)», 2024.

²² Véase <https://www.synbiobeta.com/read/inside-aixbio-demo-day-2024-the-top-startups-merging-ai-and-biotechnology>

1. **Diseño biológico (biología generativa), que incluye**
 - a. **Ingeniería de proteínas y**
 - b. **Biología generativa para cultivos y agricultura**
2. **Herramientas de IA y automatización de laboratorios**
3. **IA en sistemas biológicos ciber-físicos²³**
4. **Biocomputación**

Diseño biológico y «biología generativa»

GenBio se refiere al uso de herramientas de IA para modificar intencionadamente la genética de los organismos vivos, como rediseñar las vías metabólicas (los procesos químicos de las células) o crear nuevas secuencias de ADN y ARN. Future Markets²⁴ define GenBio en su encuesta del sector como «un campo emergente que combina técnicas computacionales, inteligencia artificial y datos biológicos para diseñar, optimizar y crear nuevos sistemas biológicos, materiales y moléculas». En esencia, GenBio busca utilizar modelos de IA generativa para ampliar el diseño de moléculas biológicas. Estos marcos computacionales están entrenados para «aprender» patrones a partir de grandes conjuntos de datos, como bases de datos de ADN, y generar nuevos ejemplos con propiedades similares. Estos modelos pueden aplicarse a diversas formas de datos biológicos, incluidas secuencias de ADN y ARN, estructuras proteicas, perfiles de expresión génica y redes metabólicas.

Ingeniería de proteínas. En la práctica, la mayor parte de la actividad actual de la biología generativa se centra en diseñar y generar nuevas proteínas, un enfoque determinado en gran medida por el éxito percibido de AlphaFold. Las proteínas son moléculas complejas compuestas por cadenas de aminoácidos que se pliegan en estructuras tridimensionales específicas. Son omnipresentes en los sistemas biológicos y desempeñan una amplia gama de funciones, desde proteínas alimentarias y enzimas (que catalizan o regulan reacciones químicas) hasta componentes clave del ADN, el ARN y otras moléculas genéticamente activas. A menudo descritas como nanomáquinas de la naturaleza, las proteínas sustentan gran parte de la actividad dinámica de los sistemas vivos, lo que las convierte en un objetivo primordial para el rediseño computacional, a pesar de las incertidumbres que siguen existiendo en torno a su función, interacción y comportamiento en contextos del mundo real.

²³ Un sistema biológico ciber-físico conecta la informática y la maquinaria para interactuar con los seres vivos. Véase el artículo del Directorio de Sostenibilidad, 1 de mayo de 2025: <https://fashion.sustainability-directory.com/term/cyber-physical-biological-systems/>

²⁴ Future Markets, «[Mercado global de la biología generativa 2024-2035](#)» (2024)

La capacidad de generar proteínas totalmente novedosas y nunca antes vistas ha generado un gran entusiasmo, impulsado por la idea de que dichas proteínas tendrían nuevas propiedades y funciones biológicas útiles.

Se están diseñando proteínas novedosas para una amplia gama de aplicaciones, entre las que se incluyen proteínas alimentarias alternativas, enzimas industriales, nuevos materiales e incluso moléculas genéticas. La empresa GenBio Profluent²⁵, por ejemplo, utiliza modelos de IA generativa para crear nuevas proteínas similares al sistema CRISPR-Cas9, con el objetivo de acelerar el ritmo de la ingeniería genética. Otras empresas están desarrollando proteínas para regular la expresión génica —que afecta a la activación o desactivación de la actividad de un gen— o para funcionar directamente como agentes terapéuticos.

Tras centrarse inicialmente en las proteínas, ahora se está prestando cada vez más atención a la reescritura de las moléculas genéticas hereditarias (ADN y ARN) de virus y organismos mediante IA. Un avance especialmente destacado en este ámbito es *Evo2*, lanzado en febrero de 2025.²⁶ Desarrollado por el Instituto Arc de la Universidad de Stanford, en colaboración con NVIDIA, *Evo2* se describe como un «modelo base» multimodal para la biología. (Un modelo base es un modelo de uso general, como ChatGPT, que puede operar en múltiples dominios del conocimiento, a diferencia de los sistemas más especializados). Mientras que AlphaFold de DeepMind fue entrenado para predecir el plegamiento de proteínas, Arc afirma que *Evo2*, entrenado con 9 billones de nucleótidos de ADN, puede predecir cambios en el genoma, proteínas, ARN y dominios de unión entre moléculas. Según se informa, es capaz de generar o rediseñar genomas completos de bacterias, virus y organismos similares.

Al igual que AlphaFold contó con el respaldo del gigante de la IA, Google, *Evo2* está asociado con NVIDIA, que suministra la mayoría de las unidades de procesamiento gráfico (GPU, el hardware) utilizadas para la IA generativa. NVIDIA había desarrollado anteriormente su modelo *GenSLM*, capaz de generar secuencias de ADN para microbios y virus²⁷. También han surgido otros modelos especializados centrados en el ARN, incluidos los desarrollados por las empresas emergentes Atomic AI²⁸ e Inceptive Bio²⁹, así como por el gigante tecnológico chino Alibaba³⁰. El interés por el ARN ha crecido a

²⁵ Véase <https://www.profluent.bio/>

²⁶ Comunicado de prensa del Arc Institute, «La IA ahora puede modelar y diseñar el código genético para todos los dominios de la vida con Evo 2», 19 de febrero de 2025: <https://arcinstitute.org/news/evo2>

²⁷ Isha Salian, «Gen AI for the Genome: LLM Predicts Characteristics of COVID Variants», blog de NVIDIA, 13 de noviembre de 2023: <https://blogs.nvidia.com/blog/generative-ai-covid-genome-sequences/>

²⁸ <https://atomic.ai/>

²⁹ <https://inceptive.life/>

³⁰ «La tecnología de IA de Alibaba Cloud impulsa un avance en el descubrimiento de virus ARN», 12 de octubre de 2024, disponible en línea en https://www.alibabacloud.com/blog/alibaba-cloud%E2%80%99s-ai-technology-sparks-breakthrough-in-rna-virus-discovery_601654

raíz del éxito de las vacunas de ARNm (por ejemplo, para COVID-19). Mientras tanto, el gigante tecnológico Amazon está colaborando con EvolutionaryScale³¹, una empresa de ciencias de la vida basada en IA, fundada por científicos que anteriormente trabajaban en Meta (Facebook).

Biología generativa para cultivos y agricultura. Las mismas tecnologías se están aplicando ahora a los cultivos y las plantas. Un informe exhaustivo de *Save Our Seeds* analiza la gama de enfoques y modelos de IA específicos para plantas que utilizan actualmente los científicos especializados en cultivos transgénicos.³² Un ejemplo es *AgroNGT*, un modelo desarrollado por Google e InstaDeep e implementado por Syngenta³³, que se entrenó con 10 millones de secuencias genómicas de 48 especies de plantas. Los ingenieros genéticos están utilizando herramientas de biología generativa para modificar cultivos como el álamo, la papa y el maíz, lo que permite realizar ediciones cada vez más complejas en múltiples sitios dentro de los genomas de las plantas³⁴. Algunos investigadores creen que las ediciones del genoma diseñadas por IA pueden realizarse en un número de sitios lo suficientemente reducido como para eludir los umbrales reglamentarios europeos³⁵. Mientras tanto, también se están desarrollando con IA microbios para usarse en suelos o como pesticidas de última generación.

Herramientas de IA y automatización de laboratorios

La IA también se está integrando en la biotecnología a través de herramientas de visión artificial que aceleran y automatizan las tareas rutinarias de laboratorio. Los grandes modelos lingüísticos, entrenados con un vasto corpus de literatura científica, se están posicionando como “ayudantes creativos” para la investigación, como la aplicación “AI Co-Scientist” de Google, que afirma ayudar a generar hipótesis comprobables acompañadas de «un resumen de la literatura publicada relevante y un posible enfoque experimental».³⁶ La frontera avanza ahora hacia *la IA agencial* (aplicaciones de IA que realizan tareas digitales de forma autónoma en nombre de los usuarios) y *la IA*

³¹ Matt Wood, «Revolucionando la biología generativa con AWS y EvolutionaryScale», noticias de AWS, 25 de junio de 2024: <https://aws.amazon.com/blogs/industries/revolutionizing-generative-biology-with-aws-and-evolutionaryscale/>

³² Benno Vogel, «Cuando los chatbots crean variedades de plantas», *Save Our Seeds*, enero de 2025: https://www.saveourseeds.org/wp-content/uploads/EN-with-summary_online.pdf

³³ Comunicado de prensa de Instadeep, «Syngenta e InstaDeep colaboran para acelerar la investigación de los rasgos de las semillas de cultivos utilizando modelos de lenguaje grandes de IA», 18 de junio de 2024: <https://instadeep.com/2024/06/syngenta-and-instadeep-collaborate-to-accelerate-crops-seeds-trait-research-using-ai-large-language-models/>

³⁴ Benno Vogel, «Cuando los chatbots crean variedades de plantas», *Save Our Seeds*, enero de 2025: https://www.saveourseeds.org/wp-content/uploads/EN-with-summary_online.pdf

³⁵ Test Biotech, «Plantas NGT 1 insecticidas diseñadas con IA», mayo de 2025: <https://www.testbiotech.org/en/publikation/ai-designed-insecticidal-ngt-1-plants/>

³⁶ Blog de Google, «Lanzamos un nuevo sistema de IA para científicos», 19 de febrero de 2025: <https://blog.google/feed/google-research-ai-co-scientist/>

incorporada (sistemas robóticos o mecánicos guiados por la toma de decisiones impulsada por la IA). Ambas formas están empezando a entrar en los laboratorios de ingeniería genética, automatizando aún más la experimentación y estrechando la integración entre los sistemas digitales y la manipulación biológica.

La IA en los sistemas biológicos ciber-físicos

La ingeniería genética se utiliza cada vez más para diseñar componentes biológicos, como biosensores, como parte de sistemas de ingeniería más amplios que dependen de la IA y la toma de decisiones algorítmica para funcionar. Por ejemplo, la empresa de biología sintética InnerPlant ha desarrollado una soja que emite frecuencias de luz específicas cuando se encuentra bajo estrés.³⁷ Estas señales son interpretadas por un sistema de IA, que activa respuestas automatizadas, como riego adicional o pulverización de agrotóxicos. En efecto, estos cultivos se están diseñando para que estén «preparados para los robots», es decir, se diseñan desde el principio para integrarse perfectamente en los sistemas agrícolas impulsados por la IA.

Bioinformática

Los biotecnólogos también están explorando formas de utilizar la computación, incluidos los circuitos de IA, directamente dentro de las células biológicas, lo que podría sustituir a los chips de silicio tradicionales. Un ejemplo es la empresa Cortical Labs, que ha diseñado células cerebrales (conocidas como organoides) para interactuar con chips informáticos y realizar tareas computacionales.³⁸ Estos «ordenadores de células cerebrales» han sido entrenados para llevar a cabo el reconocimiento de imágenes, una forma básica de inteligencia artificial. Aunque Cortical ya ofrece un ordenador basado en organoides disponible en el mercado³⁹ y, según se informa, está en conversaciones con Amazon, el campo más amplio de la bioinformática sigue estando a años luz de una implantación comercial generalizada.

³⁷ Véase el sitio web de InnerPlant, «Productos»: <https://innerplant.com/products/>

³⁸ Adithi Iyer, «¿Es la OI la nueva IA? Preguntas en torno al "Brainware"», The Petrie-Flom Center, Facultad de Derecho de Harvard, 13 de marzo de 2024: <https://petrieflom.law.harvard.edu/2024/03/13/is-oi-the-new-ai-questions-surrounding-brainware/>

³⁹ Jess Kinghorn, «El primer ordenador biológico del mundo tipo "cuerpo en una caja" cuesta 35000 dólares y tiene un aspecto tan genial como espeluznante», *PC Gamer*, 6 de marzo de 2025: <https://www.pcgamer.com/hardware/the-worlds-first-body-in-a-box-biological-computer-costs-usd35-000-and-looks-as-cool-as-it-is-creepy/>

Sección III: Análisis del «paquete» AlxBio/GenBio

Descripción general del paquete

Para comprender a la empresa GenBio y su plan de negocio subyacente, podemos trazar un mapa de las diferentes partes del ecosistema industrial necesarias para que este nuevo enfoque funcione. En las industrias digitales, la combinación completa de hardware, software, conexiones de red y aplicaciones se denomina a veces «*paquete*». Los estudiosos de la IA generativa están empezando a identificar los componentes clave del «paquete de IA»: por ejemplo, la IA generativa requiere datos de entrenamiento, modelos fundamentales y modelos especializados. También depende de la infraestructura, incluyendo «computación» de alta potencia (clústeres de GPU alojados en centros de datos), así como los sistemas necesarios para la refrigeración, la electricidad y las conexiones de red para mover datos hacia y desde los servidores de IA.

Dado que GenBio se basa en la IA generativa, el «paquete» para la biología generativa incluye todos estos elementos, pero se complica aún más por la necesidad de una capa *de wetware* biológico: equipos de laboratorio, reactivos y protocolos de validación y seguridad necesarios para la ingeniería del mundo biológico. La recopilación de datos también es más compleja, ya que los materiales vivos deben ser primero extraídos y digitalizados antes de usarse en los sistemas de IA.

La figura A presenta una visión general de todo el «paquete» necesario para llevar a cabo la biología generativa en el mundo real. Describe un proceso que comienza con la adquisición de recursos genéticos (genes, proteínas, ARN, etc.) como datos de entrenamiento, pasa por la fase de biodesign con IA y culmina en la construcción física, las pruebas y el posible despliegue comercial de productos y procesos biotecnológicos. El esquema de este informe se ha desarrollado a través de conversaciones iterativas y comentarios de científicos y profesionales del sector, pero sigue siendo nuestro propio intento inicial de modelar el sistema.

El diagrama revela que el «flujo» de trabajo y material a través del paquete GenBio comienza con la adquisición de recursos genéticos y otros datos biológicos, que se digitalizan y se utilizan para entrenar los sistemas de IA. A continuación, se pasa a la fase de biodiseño impulsada por la IA, que es el núcleo del proyecto, y luego a la bioingeniería física en los laboratorios, donde se construyen y prueban los diseños para posibles aplicaciones comerciales, como medicamentos, cultivos, ingredientes alimentarios y materiales. La industria de la biología sintética funciona según un ciclo de «diseño-construcción-prueba» —tomado del diseño de software y chips— en el que las

construcciones biológicas se repiten una y otra vez para obtener nuevos organismos o proteínas que se «optimizan» y «funcionan» con fines industriales.

Este bucle recursivo cobra aún más importancia en el biodiseño generado por IA, en el que los investigadores humanos no pueden simplemente inspeccionar el código generado por IA e intuir si funcionará. La validación solo se produce una vez que el código se implementa en sistemas vivos y se prueba, aunque las pruebas estarán inherentemente abiertas a interpretación y serán limitadas, tanto temporal como físicamente. El mapeo del paquete completo también pone de relieve varios puntos críticos —cuellos de botella y puntos de control— en el proceso de GenBio.

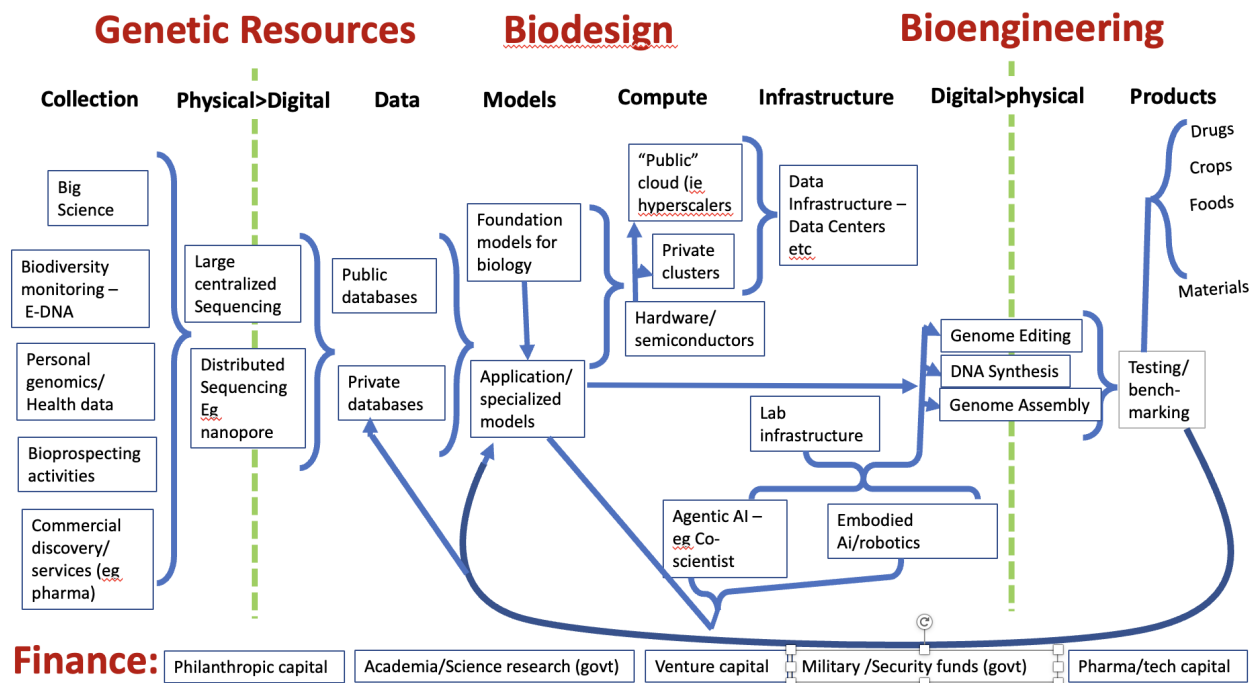


Fig. A: Mapeo del «paquete» de GenBio

a. Datos. La importancia primordial de la cadena de suministro de datos: el retorno de la bioprospección y la biopiratería

En todos los sectores de la IA generativa, las empresas tecnológicas expresan la necesidad urgente de acceder a más y mejores datos para entrenar sus modelos. Ante problemas persistentes como las altas tasas de error y las llamadas «alucinaciones»,

muchas empresas apuestan por el aumento del volumen de datos de entrenamiento y del número de parámetros del modelo para lograr una mayor precisión. Otras están empezando a reconocer que la *calidad* de los datos de entrenamiento es igual de importante, si no más, y que requiere una selección, curación y anotación cuidadosas para mejorar el rendimiento del modelo. En respuesta a ello, ha surgido toda una subindustria dedicada al *etiquetado de datos* de IA, lo que pone de relieve la importancia fundamental de la política y el trabajo relacionados con los datos para el futuro de la IA generativa.

Esta necesidad de mejores datos es aún más pronunciada en el caso de los modelos GenBio, en los que el «espacio de posibilidades» biológico que se está mapeando es mucho mayor —y mucho menos explorado— que, por ejemplo, el lenguaje humano. Sin embargo, las secuencias genéticas digitales utilizadas hasta la fecha para entrenar los modelos GenBio proceden en su mayoría de un pequeño número de bases de datos académicas, compiladas originalmente para la investigación, no para el entrenamiento de la IA. Estos conjuntos de datos rara vez están bien anotados, a menudo carecen de información contextual esencial y están muy sesgados en cuanto a lo que se recopiló y dónde. La mayoría de las secuencias proceden de un conjunto limitado de especies de valor comercial, en su mayoría procedentes del Norte Global. Una empresa, Basecamp Research (que se describe con más detalle a continuación), ha descrito sin rodeos estos conjuntos de datos como «pequeños, sesgados y estancados».⁴⁰

Como resultado, los desarrolladores de biología generativa se centran intensamente en obtener acceso a más y mejores datos biológicos para alimentar sus pilas de IA. En un reciente panel de empresarios de GenBio, cuando se les preguntó qué priorizarían si se les concediera financiación, casi todos respondieron que aumentar el conjunto de datos de entrenamiento era su máxima prioridad.⁴¹

Para acceder a más datos de entrenamiento, las empresas de GenBio deben primero adquirir y secuenciar más material biológico. Esto ha desencadenado una nueva ola de bioprospección a gran escala: expediciones y proyectos organizados que se dirigen a regiones biodiversas y a menudo remotas para recoger muestras biológicas de toda la naturaleza. Una fiebre similar se produjo en la década de 1990, durante una fase anterior del auge de las inversiones en ingeniería genética, y se encontró con una feroz resistencia por parte de las comunidades indígenas y locales, que la denunciaron como

⁴⁰ Oliver Vince, Phoebe Oldach, Valerio Pereno et al., «Rompiendo la barrera de datos de la biología: ampliando el árbol de la vida conocido más de 10 veces utilizando un canal global de descubrimiento biológico», Basecamp Research, [2025], p. 8: <https://basecamp-research.com/wp-content/uploads/2025/06/Breaking-Through-Biologys-Data-Wall-Expanding-Known-Tree-of-Life-by-10x.pdf>

⁴¹ Panel sobre «Más datos frente a mejores modelos: encontrar la escala adecuada para la bio-IA», Conferencia SynBioBeta 2025, Centro de Conferencias de San José, 7 de mayo de 2025.

biopiratería.⁴² Hoy en día, se está produciendo un nuevo auge de la biopiratería, esta vez para alimentar los sistemas de IA. Las muestras no solo se recogen, sino que también se limpian, se conservan y se anotan específicamente para entrenar modelos de biología generativa.

A la vanguardia de esta bioprospección impulsada por la IA se encuentra Basecamp Research, que está realizando muestreos de ADN en parques nacionales y pagando a comunidades del Sur Global para que recojan biodiversidad de sus propios territorios. Basecamp se posiciona como una empresa de infraestructura de datos GenBio y afirma que su principal ventaja comercial radica en la organización de la cadena de suministro de datos. La base de datos BaseData de la empresa se comercializa como el mayor repositorio mundial de secuencias genéticas microbianas digitales⁴³, cada una de ellas vinculada a metadatos de geolocalización y contextuales diseñados para mejorar el rendimiento de los modelos de IA. Al igual que se espera que las empresas de secuenciación y síntesis desempeñen un papel desmesurado en la economía de la GenBio, Basecamp sostiene que quien controle la cadena de suministro de datos podría convertirse en un actor multimillonario.

b. Traducción húmeda/seca: la síntesis y la secuenciación como puentes y puntos de control esenciales.

Un aspecto importante que distingue al paquete GenBio de otras pilas de IA es el movimiento de información genética entre dos ámbitos fundamentalmente diferentes: el mundo vivo y «húmedo» de las células, los genes y los átomos, y el mundo virtual «seco» de los bits y los circuitos electrónicos en el que opera la IA. En una presentación en una conferencia, un empresario de GenBio describió de forma evocadora esta interfaz como algo que ocurre «en la playa», el punto de encuentro donde convergen los mundos húmedo y seco.⁴⁴

Las tecnologías de secuenciación genética (lectura digital del código genético a partir de muestras biológicas físicas) y síntesis génica (construcción física de moléculas genéticas como el ADN a partir de secuencias digitales) son fundamentales para la biología generativa. La secuenciación y la síntesis constituyen los puentes esenciales entre los ámbitos biológico y computacional, lo que hace posible todo el proceso de GenBio. Dado

⁴² Véase, por ejemplo, RAFI Update, «Biopiracy update: The Inequitable Sharing of Benefits» (Actualización sobre biopiratería: el reparto desigual de los beneficios), septiembre/octubre de 1997 - <https://etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/437/01/raficom56biopiracyupdate.pdf>

⁴³ Oliver Vince, Phoebe Oldach, Valerio Pereno et al., «Rompiendo la barrera de datos de la biología: ampliando el árbol de la vida conocido más de 10 veces utilizando un canal global de descubrimiento biológico», Basecamp Research, [2025], p. 1: <https://basecamp-research.com/wp-content/uploads/2025/06/Breaking-Through-Biologys-Data-Wall-Expanding-Known-Tree-of-Life-by-10x.pdf>

⁴⁴ Jacob Uszkoreit hablando en un panel sobre «Biología a hiperescala: diseñando inteligencia en moléculas», Conferencia SynBioBeta 2025, Centro de Conferencias de San José, 6 de mayo de 2025.

que los modelos de IA que constituyen el núcleo de este campo dependen totalmente de la calidad y la escala de sus datos de entrenamiento, existe una necesidad inherente de secuenciar grandes cantidades de material biológico de alta calidad para alimentar el entrenamiento de los modelos (y su reentrenamiento continuo). Al mismo tiempo, dado que la biología generativa es intrínsecamente experimental y los resultados de la IA solo pueden validarse a través de la retroalimentación del mundo biológico real, existe una necesidad igualmente crítica de una capacidad de síntesis sustancial para probar y verificar las predicciones de los modelos.

Mientras que los principales actores en el ámbito de la IA generativa se definen a menudo por su acceso a enormes recursos computacionales, el paquete GenBio requiere algo más que computación. En este contexto, el acceso a gran escala a *la computación, la secuenciación y la síntesis* es esencial para que el flujo de trabajo funcione de manera eficaz. Esto tiene importantes implicaciones para el futuro poder de mercado dentro del sector GenBio. Quienes controlen estas tecnologías de interfase, que se vuelven clave porque tienden un puente entre los ámbitos digital y biológico, ejercerán una influencia desproporcionada sobre todo el paquete AIxBio.

c. Modelos: los gigantes de la IA venden servicios informáticos y en la nube

En el corazón del paquete de la GenBio se encuentran los propios modelos de IA generativa, que intentan predecir —o «generar»— nuevas secuencias biológicas para diseñar organismos vivos o producir proteínas novedosas. Como se ha señalado anteriormente, estos modelos se basan en la arquitectura *del transformador*, que utiliza un mecanismo denominado «atención» para evaluar la importancia relativa de cada elemento de una secuencia y asignarles pesos en consecuencia. Las empresas de datos e IA, valoradas en varios billones de dólares, que dominan el espacio de la IA generativa, están sumamente interesadas en la biología generativa, considerándola una aplicación potencialmente lucrativa de sus tecnologías de creación de modelos. Jacob Uszkoreit, uno de los coinventores de la arquitectura del transformador (modelo de red neuronal para procesar secuencias), dirige ahora su propia empresa emergente de biología generativa, Inceptive Bio, que ha recaudado 120 millones de dólares.⁴⁵

Junto con AlphaFold de Google y ESMFold de EvolutionaryScale (desarrollado originalmente en Meta y ahora una empresa independiente respaldada por Amazon), un «modelo base» que es clave en la biología generativa es *Evo2* del Arc Institute, desarrollado en colaboración con NVIDIA. El propio Arc está financiado por poderosos

⁴⁵ Katie Tarasov, «Tras dejar Google, Jakob Uszkoreit fundó Inceptive para aplicar la IA al desarrollo de fármacos», CNBC, 12 de julio de 2024: <https://www.cnbc.com/2024/07/12/inceptive-ceo-jakob-uszkoreit-says-ai-will-transform-pharmaceuticals.html>

directores ejecutivos del sector tecnológico, entre los que se encuentran los fundadores de Stripe y la criptomoneda Ethereum⁴⁶. NVIDIA, que domina el mercado del hardware de IA al suministrar la mayoría de las GPU de procesamiento, también concede subvenciones e inversiones directas a investigadores y empresas que trabajan en biología generativa, contribuyendo activamente al desarrollo de este campo.⁴⁷

Cuando se le preguntó sobre el interés comercial de NVIDIA en la biología generativa, Anthony Costa, director de biología digital de la empresa, afirmó que NVIDIA no tiene intención de fabricar productos biotecnológicos ni de operar laboratorios de biología molecular. Sin embargo, describió el sector como uno con un «valor infinito» en las próximas décadas.⁴⁸ Dado que la biología generativa depende fundamentalmente del procesamiento computacional de conjuntos de datos masivos y en constante expansión, NVIDIA se beneficiará directamente del crecimiento de este campo, al vender más GPU para impulsar su desarrollo. Intereses similares parecen estar impulsando la participación de empresas como Google, Microsoft y Amazon, cuya inversión en EvolutionaryScale se alinea con sus posiciones dominantes en la computación en la nube a través de Google Cloud, Azure y AWS, respectivamente. Los biólogos generativos académicos nos han dicho que sus necesidades computacionales son ya tan elevadas que están buscando acuerdos con estos proveedores comerciales de nube, ya que los clústeres informáticos de las universidades e incluso de las empresas farmacéuticas ya no son suficientes.⁴⁹ El nivel de computación —y, por lo tanto, de energía, agua y otros recursos físicos— que exige el paquete AlxBio parece ser especialmente alto, pero sigue sin medirse en gran medida. Basecamp Research, una empresa de biología generativa con sede en el Reino Unido, nos ha informado que opera el mayor clúster privado de GPU NVIDIA del país⁵⁰. Los investigadores también han señalado que el cambio hacia los denominados *modelos basados en la física* podría aumentar aún más el consumo de recursos. A diferencia de los LLM, los modelos basados en la física intentan simular digitalmente la física subyacente de todos los procesos de una célula, lo que requiere mucha más computación.

Además de proporcionar infraestructura en la nube, Google y Microsoft también comercializan herramientas de IA para uso científico y de laboratorio, como la aplicación *Co-Scientist* de Google, que aprovecha su experiencia en software básico, pero que suscita la preocupación de algunos científicos biotecnológicos por la creciente eliminación del juicio humano de los procesos de investigación. Al igual que con la IA

⁴⁶ Véase la página web del Arc Institute: <https://arcinstitute.org/about>

⁴⁷ Comunicación personal con el científico e inversor Elliot Hershberg (Not Boring).

⁴⁸ Anthony Costa, director de Biología Digital de NVIDIA, hablando en la sesión «IA y descubrimiento de fármacos», SynBioBeta 2025, Centro de Conferencias de San José, 6 de mayo de 2025.

⁴⁹ Conversaciones temáticas AlxBio en la conferencia El espíritu de Asilomar, Monterrey, California, 23 de febrero de 2025.

⁵⁰ Comunicación personal con Basecamp Research.

generativa en general, el espacio GenBio implica dos tipos de modelos: modelos grandes, *de uso general* o *multimodales* (como Evo2 o ESMFold), y modelos más especializados *de capa de aplicación* centrados en tareas específicas, como el diseño de proteínas, enzimas o ARN. Muchas empresas emergentes de GenBio están trabajando en estos modelos específicos para aplicaciones, con el objetivo de generar nuevos compuestos, moléculas u organismos modificados.

d. Mercados de productos: domina la industria farmacéutica. Profunda disrupción de los productos naturales.

En las conversaciones con fundadores, directores generales, inversores y observadores de GenBio, todos los entrevistados coincidieron en que la fuente última del valor comercial de la biología generativa reside en los nuevos productos que las empresas esperan lanzar al mercado al final del proceso. En su gran mayoría, estos productos previstos son fármacos u otros compuestos médicos. Varios entrevistados hicieron hincapié en que el alto costo y la complejidad del uso de la IA para el biodiseño significa que el objetivo es conseguir un fármaco de gran éxito, uno con unos beneficios lo suficientemente grandes como para justificar la inversión. Los productos farmacéuticos son caros de vender, pero relativamente baratos de fabricar, y la mayor parte de su valor está ligado a la propiedad intelectual, las licencias y la comercialización.

Sin embargo, el descubrimiento de fármacos ha sido un campo marcado por la disminución de los beneficios en las últimas décadas, a pesar de las inversiones cada vez mayores en herramientas computacionales e infraestructura de investigación, una dinámica que uno de los entrevistados denominó «ley de Eroom» (la ley de Moore a la inversa)⁵¹. Las empresas de biología generativa se están posicionando ahora como la solución a este estancamiento, con la esperanza de que sus modelos basados en la IA reviertan finalmente la tendencia.

El sector biotecnológico ya sigue una dinámica bien establecida en la que las pequeñas empresas emergentes dedicadas al descubrimiento de fármacos buscan compuestos objetivo y luego se asocian con grandes empresas farmacéuticas para probarlos, obtener licencias y comercializarlos. Las empresas farmacéuticas actúan de forma muy similar a los inversores de capital: respaldan o apuestan por empresas más pequeñas y, potencialmente, las adquieren si sus productos se muestran prometedores. Al menos una empresa de biología generativa, Isomorphic Labs, una escisión de DeepMind y otra filial de Google/Alphabet, está probando actualmente un fármaco de forma interna⁵². Sin

⁵¹ Comunicación personal con el científico e inversor Elliot Hershberg (Not Boring).

⁵² William Gavin, «Los medicamentos desarrollados con IA y respaldados por Google se someterán a ensayo en 2026, según el director ejecutivo de DeepMind», *Quartz*, 23 de enero de 2025: <https://qz.com/google-ai-designed-drugs-deepmind-isomorphic-insilico-1851745806>

embargo, hasta ahora hay pocos indicios de que otras grandes empresas de datos e inteligencia artificial estén dispuestas a invertir directamente en la construcción de laboratorios húmedos o en infraestructura de pruebas farmacéuticas. Dicho esto, la incursión de DeepMind en este ámbito puede presagiar un impulso a largo plazo por parte de las grandes empresas tecnológicas para entrar directamente en el sector farmacéutico, al igual que anteriormente se introdujeron en el transporte mediante iniciativas de coches autónomos.

Más allá de los productos farmacéuticos, otra área emergente para la biología generativa son los denominados productos naturales, como los cosméticos, los aromas y los ingredientes alimentarios. Las principales empresas de bienes de consumo, entre ellas International Flavours and Fragrances (IFF), Unilever y Procter & Gamble, ya se han asociado con empresas de GenBio para desarrollar alternativas diseñadas con IA a sus homólogos naturales. El primer producto de consumo de GenBio diseñado con IA que ha llegado al mercado es un edulcorante de stevia *Reb M*, modificado a partir del compuesto natural mediante una enzima diseñada con IA desarrollada por Arzeda, con sede en Seattle, Washington. (El fundador de Arzeda compartió el Premio Nobel de Química de 2024 con los científicos especializados en proteínas de DeepMind). El edulcorante diseñado por Arzeda se incorpora ahora a productos comerciales, entre ellos los de la marca *Splenda*⁵³.

El Grupo ETC ha informado ampliamente durante las últimas dos décadas sobre las amenazas que la biología sintética supone para los pequeños productores de productos naturales como la vainilla, la stevia y el azafrán a través de las perturbaciones del mercado.⁵⁴ La introducción de herramientas de biología generativa parece estar acelerando y agravando esta amenaza. En una reciente declaración pública, incluso algunos profesionales de AlxBio reconocieron el daño potencial para estas comunidades⁵⁵, al tiempo que admitieron que no habían considerado seriamente la cuestión.

⁵³ Comunicación personal con Arzeda.

⁵⁴ Véase, por ejemplo, Grupo ETC, *Biología sintética, biodiversidad y agricultores*, 2016: <https://www.etcgroup.org/es/content/biologia-sintetica-biodiversidad-y-agricultores>

⁵⁵ Yana Bromberg, Russ Altman, Michael Imperiale et al. et al., «Artificial Intelligence and the Future of Biotechnology», Rice University: <https://doi.org/10.25611/1233-X161>.— Esta «petición» de la Conferencia El espíritu de Asilomar 2025 reconoce que «los avances de la IA en el desarrollo de la biotecnología también conllevan otras ramificaciones potenciales, como los retos y necesidades de cualificación de la mano de obra, y la posibilidad de desestabilizar las bioeconomías desarrolladas y en desarrollo, con posibles efectos adversos para los pueblos indígenas y los grupos marginados del Sur Global y otros lugares».

e. Finanzas. Los elevados costos, el alto endeudamiento y la era Trump impulsan el giro militar

El amplio campo de la inteligencia artificial generativa ya está demostrando ser un espacio de inversión extraordinariamente costoso, con gastos de capital en infraestructura —como centros de datos y clústeres de GPU— que alcanzan niveles nunca vistos desde el auge de la construcción de ferrocarriles a finales del siglo XIX.⁵⁶ Pero la construcción de un paquete GenBio requiere aún más capital. Además de las demandas de computación, energía e infraestructura digital, las empresas de biología generativa también deben invertir fuertemente en laboratorios húmedos, bioprospección, secuenciación, síntesis y asegurar asociaciones para ampliar la fabricación y llevar los productos biotecnológicos físicos al mercado.

Al mismo tiempo, la economía de las empresas emergentes privadas y el capital tecnológico, especialmente en el sector de la biotecnología, se está viendo cada vez más afectada por cambios estructurales más amplios. Las altas tasas de interés, los nuevos aranceles estadounidenses sobre los materiales físicos y los importantes recortes en la financiación pública de la ciencia y la investigación (incluso bajo la administración Trump⁵⁷) están influyendo en las decisiones estratégicas de las empresas biotecnológicas. El rápido giro de muchas empresas biotecnológicas hacia la IA refleja, en parte, el enorme flujo de capital riesgo y capital privado hacia el sector de la IA, donde la financiación sigue siendo más accesible. La fuerte orientación hacia los productos farmacéuticos y las asociaciones con las grandes empresas tecnológicas también señala un giro pragmático hacia las pocas fuentes de capital que quedan.

Lo más significativo es que el sector de la biotecnología genética, reflejando las tendencias generales de las industrias de la IA y la tecnología, está cortejando cada vez más a las instituciones militares y de seguridad. En Estados Unidos, los responsables de las políticas biotecnológicas están adoptando una retórica asertiva y centrada en la seguridad que aprovecha el sentimiento antichino, especialmente entre los legisladores republicanos y la administración Trump.⁵⁸ Los avances chinos en biología generativa se están presentando como una amenaza existencial para el dominio industrial y económico de Estados Unidos. Esta narrativa geopolítica se ve alimentada por el temor a que las

⁵⁶ Edward Chancellor, «La fiebre ferroviaria victoriana ofrece lecciones para los inversores en IA», *Reuters*, 12 de julio de 2024: <https://www.reuters.com/breakingviews/victorian-rail-mania-has-lessons-ai-investors-2024-07-12/>

⁵⁷ Adam Feuerstein, «La biotecnología se encuentra en una situación delicada», *STAT+ News*, 13 de febrero de 2025: <https://www.statnews.com/2025/02/13/biotech-industry-sentiment-crispr-medicines-fda/>

⁵⁸ Allyson Park, «EE. UU. y China compiten por militarizar la biotecnología», *National Defense Magazine*, 1 de agosto de 2025: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/8/1/us-china-engage-in-race-to-militarize-biotechnology>

herramientas de GenBio en manos de adversarios puedan utilizarse para desarrollar nuevos patógenos o toxinas.

En respuesta, la Comisión de Seguridad Nacional sobre Biotecnología Emergente de Estados Unidos y otros organismos recomiendan construir una infraestructura genética sólida, financiada con fondos del presupuesto de defensa nacional, como una necesidad estratégica. Un informe de 2025 de la Comisión propone un programa federal a gran escala para tomar muestras de material genético de terrenos públicos para crear conjuntos de datos de entrenamiento de IA, junto con la creación de una red nacional de instalaciones de secuenciación y síntesis para apoyar un ecosistema genético nacional.⁵⁹

El resultado de apelar a la financiación militar es un entrelazamiento cada vez mayor entre la biotecnología genética y la ideología de seguridad nacional de Estados Unidos. Esto suscita serias preocupaciones sobre cómo se abordarán las consideraciones relativas a los derechos humanos, la equidad y la justicia global, si es que se reconocen.

Sección IV: Perspectivas

Puntos de partida para las consideraciones sociales, ambientales y políticas desde una perspectiva de justicia de datos y derechos humanos

La suposición de que la biología generativa puede regularse de forma justa, segura y equitativa pasa por alto los daños estructurales más profundos inherentes a su propio desarrollo. La GenBio depende de la transformación de materiales vivos en datos, su inclusión en sistemas de IA opacos y su conversión en activos privados. En lugar de centrarse únicamente en los marcos normativos para la gestión de los componentes biológicos y digitales, las políticas nacionales e internacionales deben evaluar críticamente —y, en nuestra opinión, rechazar en última instancia— el despliegue a gran escala de las tecnologías GenBio. Un enfoque precautorio basado en los derechos humanos, la justicia ecológica y el control democrático debe prevalecer sobre los esfuerzos por reacondicionar la legitimidad de una empresa extractiva y desestabilizadora.

No obstante, los marcos de gobernanza siguen siendo necesarios. Un régimen justo debe ser capaz de seguir las transformaciones entre los ámbitos biológico y digital y de

⁵⁹ [Comisión de Seguridad Nacional sobre Biotecnología Emergente \(NSCEB\), «Trazando el futuro de la biotecnología: un plan de acción para la seguridad y la prosperidad de Estados Unidos»](#). Abril de 2025. Por ejemplo, «El Congreso debería autorizar y financiar al Departamento del Interior para crear una Iniciativa de Secuenciación de Tierras Públicas con el fin de recopilar nuevos datos de las tierras públicas de EE. UU. que los investigadores puedan utilizar para impulsar la innovación», págs. 38-41.

abordar cómo las intervenciones en el ámbito digital remodelan las relaciones de poder, las economías y los derechos en el mundo vivo. Esto requiere herramientas jurídicas y sociales no solo para regular los riesgos, sino también para defender los medios de vida, proteger las culturas y defender las diversas formas de vida.

En el núcleo del paquete GenBio se encuentran materias primas que son a la vez biológicas y digitales: descripciones moleculares de ADN, ARN, proteínas e información contextual asociada, como ecosistemas, geografías y biodiversidad. La captura de estos recursos es paralela a otras formas de extracción digital: datos sociales recopilados por plataformas, datos de salud por hospitales y dispositivos, o datos de monitoreo ambiental por sensores. En cada caso, surgen cuestiones de justicia no solo en el momento de la extracción, sino también en los impactos posteriores, cuando los datos se reutilizan de maneras que afectan a los ecosistemas, las economías y las comunidades.

Esta dinámica depende de la creación de una infraestructura global para la extracción y vigilancia de datos biológicos de plantas, suelos, aguas y tejidos humanos y animales. El establecimiento de dicha infraestructura conlleva el riesgo de revivir prácticas coloniales y relaciones de poder, especialmente en sociedades que han administrado durante mucho tiempo los recursos biológicos.

Entre los ejemplos de estos proyectos a gran escala se incluyen:

- *El Proyecto Biogenoma de la Tierra*, un consorcio global lanzado en 2018 con el objetivo de secuenciar, catalogar y caracterizar los genomas de toda la biodiversidad eucariota de la Tierra en un plazo de diez años.⁶⁰
- *El Proyecto Microbioma de la Tierra*, iniciado en 2010, una colaboración de más de 500 investigadores que catalogan la diversidad microbiana.⁶¹
- *BaseData de BaseCamp Research*, una base de datos privada de secuencias genéticas de muestras ambientales recogidas a través de expediciones en curso en puntos críticos de biodiversidad.⁶²

Aunque a menudo se presenta como un servicio al «bien público», la misma información de secuencias digitales recopilada por estos proyectos ya se está trasladando a canales de formación en IA o bases de datos privadas. En la práctica, esto convierte lo que aparentemente son bienes comunes en activos privados, encerrando la biodiversidad de

⁶⁰ <https://www.earthbiogenome.org/>

⁶¹ <https://earthmicrobiome.org/>

⁶² Tal y como se describe en Oliver Vince, Phoebe Oldach, Valerio Pereno et al., «Breaking Through Biology's Data Wall: Expanding the Known Tree of Life by Over 10x using a Global Biodiscovery Pipeline» (Rompiendo la barrera de datos de la biología: ampliando el árbol de la vida conocido más de 10 veces mediante una canalización global de descubrimientos biológicos), Basecamp Research, [2025]: <https://basecamp-research.com/wp-content/uploads/2025/06/Breaking-Through-Biologys-Data-Wall-Expanding-Known-Tree-of-Life-by-10x.pdf>

formas que benefician a los inversores y dejando de lado a las comunidades que administran estos recursos.

Con el creciente énfasis en el entrenamiento de «modelos base» multimodales con millones o miles de millones de parámetros, se está intensificando la presión comercial para ampliar la recolección de datos biológicos, lo que agrava las injusticias históricas y crea nuevas formas de *biocolonialismo digital*.

Enmarcar GenBio desde la perspectiva del *biocolonialismo digital* pone de relieve que la cuestión no es sólo de consentimiento o de reparto de beneficios, sino también de dominación geopolítica y económica. Al igual que las formas anteriores de colonialismo, los cercamientos actuales operan mediante la captura y privatización de secuencias genéticas, información sobre la biodiversidad y datos de salud. El Sur corre una vez más el riesgo de convertirse en una frontera para la extracción —esta vez de biodatos— mientras que la riqueza, el poder y el control se acumulan en otros lugares.

Los marcos de consentimiento también son cada vez más inadecuados. Muchas secuencias genéticas que se utilizan actualmente para entrenar los modelos de GenBio se recopilaban antes de que existiera la IA generativa, lo que significa que no se puede suponer razonablemente que se haya obtenido el consentimiento previo informado. En la práctica, el consentimiento se ignora a menudo o se reduce a un proceso puramente formalista, despojándolo de su significado sustantivo. Esta brecha subraya la urgencia de reevaluar las obligaciones de distribución de beneficios y establecer mecanismos de gobernanza que respondan al diseño biológico habilitado por la IA.

Desde la perspectiva de la justicia de datos, estos avances reflejan un patrón más amplio de despojo: los datos de las comunidades se extraen sin consentimiento, se reutilizan para intereses privados o estatales y se incorporan a sistemas opacos que consolidan las agendas de las élites. Reconocer esta dinámica es esencial para que la sociedad civil pueda intervenir de manera eficaz en los ámbitos de gobernanza e impulsar la precaución y el reconocimiento de los derechos colectivos.

Los siguientes temas son puntos de partida útiles para una mayor investigación y atención política:

1. **Bioeconomía: mayor extracción de recursos y violaciones de derechos derivadas de la GenBio habilitada por la IA**

El cálculo de los centros de datos ya representa hasta el 2 % del consumo energético mundial, una cifra que se prevé que aumente hasta el 3-4 % en 2030 debido al

crecimiento de la IA generativa.⁶³ El consumo de agua para la refrigeración y la generación de electricidad es igualmente intensivo, lo que ejerce una presión adicional sobre los desiertos, los ecosistemas frágiles y las regiones agrícolas. Mientras tanto, el aumento de la demanda de chips, componentes de red y dispositivos está impulsando una explosión en la extracción de minerales, con graves consecuencias ecológicas, geopolíticas y para los derechos humanos.

Mientras que las empresas tecnológicas están invirtiendo cientos de miles de millones de dólares para ampliar la infraestructura de IA y la capacidad informática, los principales beneficiarios de este auge son las empresas energéticas (en particular las de combustibles fósiles), los intereses mineros y las empresas privadas de suministro de agua. Las principales víctimas pueden ser el derecho humano al agua (tal y como se describe en el PIDESC, artículo 11)⁶⁴, el derecho a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible⁶⁵, y la resiliencia de los sistemas que sustentan la vida en la Tierra.

Nuestra investigación sugiere que gran parte del actual entusiasmo en torno a la GenBio está impulsado, al menos en parte, por los esfuerzos de creación de mercado de las principales empresas de inteligencia artificial e infraestructura de datos, como Google, NVIDIA y Microsoft, que se beneficiarán directamente de un sector que requiere un uso intensivo de recursos informáticos. Estas mismas empresas también se benefician en términos de reputación de narrativas milagrosas no probadas, que sugieren que los productos de GenBio —como los biomateriales, las proteínas alternativas o los nuevos fármacos— pueden reducir la intensidad climática o de recursos de la industria, al tiempo que resuelven o curan todo tipo de males.

La sociedad civil y los responsables políticos deben examinar minuciosamente las demandas de recursos del mundo real de GenBio y cuestionar las afirmaciones sobre sostenibilidad y salud que se están haciendo. En este sentido, resulta especialmente relevante *la paradoja de Jevons*,⁶⁶ que muestra que el aumento de la eficiencia industrial a menudo conduce a un aumento, en lugar de a una reducción, de la extracción y el uso de energía.

⁶³Anónimo, «La IA está llamada a impulsar un aumento del 160 % en la demanda de energía de los centros de datos», Goldman Sachs, 14 de mayo de 2024: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand>

⁶⁴ <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights>; *Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (CESCR), Observación general n.º 15 (2002), El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales)*, E/C.12/2002/11, 2003.

⁶⁵ Asamblea General de las Naciones Unidas, *El derecho humano a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible: resolución aprobada por la Asamblea General, A/RES/76/300, 2022.*

⁶⁶ Greg Rosalsky, «Por qué el mundo de la IA está repentinamente obsesionado con una paradoja económica de 160 años de antigüedad», *Planet Money Newsletter*, 4 de febrero de 2025: <https://www.npr.org/sections/planet-money/2025/02/04/g-s1-46018/ai-deepseek-economics-jevons-paradox>

2. Biopiratería: una nueva fiebre de bioprospección

La dependencia de la industria de la biología generativa de grandes conjuntos de datos para un “entrenamiento” de alta calidad, está alimentando una nueva fiebre de bioprospección. Empresas como Basecamp Research están llegando a acuerdos con comunidades, parques nacionales y gobiernos para acceder a suelos, semillas, aguas, flora y fauna.⁶⁷ Sin embargo, sigue sin estar claro si las comunidades locales comprenden plenamente lo que están cediendo, o con qué fines se utilizará su patrimonio biológico. Esto plantea preocupaciones urgentes sobre el consentimiento, la transparencia y la explotación.

Es probable que la creciente demanda de información sobre secuencias genéticas digitalizadas acelere la apropiación de datos biológicos, lo que supondrá una nueva ola de biopiratería digital. Las iniciativas de conservación vinculadas al *Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal* ya se dedican al seguimiento y la extracción a gran escala de ADN ambiental (eDNA) y datos sobre biodiversidad⁶⁸, conjuntos de datos que pueden incorporarse fácilmente a los modelos GenBio sin el conocimiento ni el consentimiento de las comunidades relacionadas con los ecosistemas de origen. Especialmente preocupante es la adquisición por 256 millones de dólares de la base de datos privada de DSI de 23andMe por parte de la empresa farmacéutica Regeneron, que ahora posee el ADN de más de 15 millones de personas y miles de millones de datos de salud asociados⁶⁹. Estas secuencias podrían incorporarse a modelos de IA para usos nunca imaginados ni acordados por quienes proporcionaron las muestras.

Estas prácticas no sólo plantean cuestiones de acceso y distribución de beneficios en virtud del *Convenio sobre la Diversidad Biológica y su Protocolo de Nagoya*, sino también preocupaciones más profundas sobre la justicia de los datos. Una vez que la información biológica se digitaliza, se separa de sus orígenes, lo que oscurece las conexiones con la comunidad y convierte el patrimonio compartido en activos privados. Una vez introducidas en modelos de IA, estas secuencias se vuelven irrecuperables e imposibles

⁶⁷ Oliver Vince et al, «Breaking Through Biology’s Data Wall: Expanding the Known Tree of Life by Over 10x using a Global Biodiscovery Pipeline» (Rompiendo la barrera de datos de la biología: ampliando el árbol de la vida conocido más de diez veces mediante una canalización global de descubrimientos biológicos):

<https://basecamp-research.com/wp-content/uploads/2025/06/Breaking-Through-Biologys-Data-Wall-Expanding-Known-Tree-of-Life-by-10x.pdf>

⁶⁸ Emma Granqvist et al., «El potencial transformador de la evaluación del impacto de la biodiversidad basada en el ADN ambiental», *Current Opinion in Environmental Sustainability*, volumen 73, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2025.101517>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343525000107>

⁶⁹ Rhys Northwood, «La mina de oro genética: por qué la adquisición de 23andMe por parte de Regeneron por 256 millones de dólares es una jugada maestra de la biotecnología», *Ainvest*, 19 de mayo de 2025: <https://www.ainvest.com/news/genetic-goldmine-regeneron-256m-23andme-acquisition-biotech-masterstroke-2505/>

de rastrear, lo que hace que la restitución o la distribución de beneficios sea casi imposible.

Es especialmente importante distinguir dos tipos de daños:

- Biopiratería y cercamiento: la apropiación de recursos genéticos y conocimientos históricamente gestionados por las comunidades, lo que perturba los sistemas culturales y de gobernanza que no pueden monetizarse ni sustituirse.
- Desplazamiento de los medios de vida: la introducción de productos GenBio que socavan o sustituyen la producción tradicional, amenazando los medios de vida de los campesinos y los indígenas.

En este sentido, la digitalización en sí misma se convierte en una nueva forma de cercamiento, transformando los materiales vivos en activos de datos privados a los que las comunidades ya no pueden acceder ni gobernar. Esto refleja una dinámica más amplia en la economía digital, donde los datos sociales, de salud y del ambiente se extraen sin consentimiento y se incorporan a sistemas opacos que refuerzan las agendas de las élites.

A medida que los modelos de IA alcanzan miles de millones de parámetros, se intensifica la presión comercial para acelerar la extracción de datos biológicos. Al ampliar la recolección en condiciones opacas y extractivas, la biología generativa puede revivir la lógica colonial en forma digital, una nueva fase del *biocolonialismo digital*. Para lo cual se necesitan mecanismos de gobernanza actualizados, una aplicación rigurosa del consentimiento previo informado y el reconocimiento de que la digitalización en sí misma puede constituir una expropiación.

Una nueva ola de biopiratería digital puede violar los derechos de las comunidades a beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales derivados de sus recursos y conocimientos, tal y como se consagra en el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC, artículo 15(c))⁷⁰ y se aclara en las Observaciones Generales 17⁷¹ y 25⁷² del CESCR.

⁷⁰ <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights>

⁷¹ Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (CESCR), *Observación general n.º 17 (2005), El derecho de toda persona a beneficiarse de la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas*, E/C.12/GC/17, 2006.

⁷² Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (CESCR), *Observación general n.º 25 (2020) sobre la ciencia y los derechos económicos, sociales y culturales (artículo 15, párrafos 1 b), 2, 3 y 4, del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales)*, E/C.12/GC/25, 2020.

Si bien estas dinámicas de cercamiento y biocolonialismo digital ponen de relieve las injusticias estructurales de la biología generativa, sus repercusiones son más tangibles en la vida cotidiana de quienes dependen de la biodiversidad para su supervivencia.

3. Derechos bioculturales: medios de vida y culturas amenazados

Se estima que 20 millones de agricultores y trabajadores agrícolas, principalmente en el Sur Global, dependen del cultivo de entre 200 y 250 plantas en aproximadamente 250,000 hectáreas en todo el mundo.⁷³ Estos cultivos suministran ingredientes naturales a la industria de los aromas y fragancias, así como a las empresas farmacéuticas, y representan una fuente vital de ingresos y medios de vida. En muchos casos, también son fundamentales para las culturas tradicionales e indígenas, están integrados en las cosmologías y protegidos por leyes consuetudinarias y prácticas de gestión.

La biología generativa plantea una doble amenaza. En primer lugar, el desarrollo de sustitutos sintéticos corre el riesgo de desplazar los medios de vida. Las secuencias genéticas extraídas de cultivos de alto valor pueden utilizarse para diseñar sustitutos «idénticos a los naturales», lo que socava el valor de los cultivos originales. Un ejemplo destacado es la stevia: la empresa Arzeda utilizó inteligencia artificial para diseñar una enzima que convierte la molécula rebaudiósido A, ampliamente disponible, en rebaudiósido M, comercializado como un edulcorante más apetecible. Splenda vende ahora este producto derivado de la enzima como «natural», compitiendo directamente con la stevia cultivada originalmente por el pueblo guaraní de Paraguay. Incluso en los casos en que los productos sintéticos aún no han llegado al mercado, la mera perspectiva de la sustitución es suficiente para que las grandes empresas de aromas y fragancias negocien precios más bajos, lo que ejerce una mayor presión sobre los pequeños productores.

En segundo lugar, estos cambios representan una violación más profunda de *los derechos bioculturales*. Los productos naturales como el azafrán, la vainilla y la stevia no son meras mercancías, sino que están entrelazados en sistemas de conocimiento, salud y espiritualidad. Cuando los sistemas GenBio impulsados por la IA acaparan estos recursos y los transforman en activos digitales patentados, socavan la soberanía sobre los recursos genéticos y rompen las relaciones culturales con la biodiversidad.

Los consumidores también se enfrentan a riesgos. Los productos derivados de biología generativa pueden estar mal etiquetados, o no estarlo en absoluto, a pesar de la

⁷³ Véase, por ejemplo, Grupo ETC, *Biología sintética, biodiversidad y agricultores*, 2016: https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/etc_synbiocasestudies_2016.pdf

posibilidad de que los errores algorítmicos produzcan efectos secundarios inesperados. Esto suscita preocupaciones sobre la transparencia, la salud y la elección informada.

Desde el punto de vista de los derechos, la GenBio puede socavar:

- los derechos de los campesinos y las poblaciones rurales (reconocidos en la UNDROP),
- los derechos de los pueblos indígenas (UNDRIP) y
- los derechos de todas las personas a la salud, la seguridad y la elección informada (PIDESC y otros instrumentos de derechos humanos).

Al desplazar los medios de vida y erosionar el patrimonio cultural, la biología generativa agrava las injusticias históricas y pone en peligro las economías y los modos de vida frágiles. La salvaguardia de los derechos bioculturales requiere no solo reforzar los mecanismos de distribución de beneficios y consentimiento, sino también hacer frente a la forma en que los cerramientos digitales convierten el patrimonio en activos especulativos, dejando expuestos a los productores, las comunidades y los consumidores.

Además de estos riesgos para los medios de vida y la cultura, la biología generativa también suscita profundas preocupaciones en materia de bioseguridad. Incluso cuando se elude a las comunidades, los Estados siguen estando obligados por el derecho internacional de los derechos humanos a regular y supervisar las nuevas tecnologías que puedan poner en peligro la vida, la salud o los ecosistemas.

4. Bioseguridad: la evaluación de riesgos, la gobernanza y la supervisión bajo la presión de la IA

Si la biología generativa acelera el diseño de nuevos organismos, proteínas y moléculas, los mecanismos nacionales e internacionales de bioseguridad podrían verse sobrepasados. El riesgo se ve amplificado por la naturaleza de «caja negra» de muchos modelos generativos, que no pueden explicar el razonamiento que subyace a sus decisiones de ingeniería genética. Por lo tanto, los reguladores pueden quedarse a ciegas al aprobar o rechazar productos cuya lógica subyacente es opaca.

Ya están surgiendo pruebas de cómo estas dinámicas permiten eludir la normativa. Un informe de *Save Our Seeds*⁷⁴ reveló que las técnicas de biología generativa pueden ajustarse para realizar menos de 20 cambios en los pares de bases, alteraciones lo suficientemente pequeñas como para eludir potencialmente el escrutinio de las normas europeas vigentes en materia de bioseguridad. De este modo, una laguna jurídica que

⁷⁴ Benno Vogel, «When chatbots breed plant varieties», *Save Our Seeds*, enero de 2025: https://www.saveourseeds.org/wp-content/uploads/EN-with-summary_online.pdf

existe desde hace tiempo podría ampliarse hasta convertirse en una vía tecnológica para escapar a la supervisión.

El derecho internacional es claro: los Estados tienen la obligación de impedir que las empresas y los particulares violen los derechos, de regular y supervisar a los actores privados, de exigir evaluaciones sólidas del impacto ambiental y sobre los derechos humanos, y de actuar con precaución cuando las actividades puedan amenazar el libre ejercicio de los derechos. También deben garantizar el acceso a la información, la participación pública y el acceso a la justicia a todas las personas que puedan verse afectadas por las innovaciones de GenBio. Estas obligaciones se refuerzan explícitamente en *la Opinión Consultiva 23 de la Corte Interamericana de Derechos Humanos sobre Medio Ambiente y Derechos Humanos*⁷⁵, y en *la Observación General 25 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas*.⁷⁶

En conjunto, la convergencia de un diseño opaco de la IA, unos mecanismos reguladores débiles y un desarrollo biotecnológico acelerado plantea un reto de bioseguridad de una magnitud sin precedentes. A menos que la precaución y la rendición de cuentas se incorporen a la gobernanza de la GenBio, la sociedad corre el riesgo de aprobar productos y procesos sin comprender plenamente sus consecuencias.

5. Justicia de salud: el significado de la búsqueda de compuestos farmacéuticos «superventas» y la participación de los filántropos capitalistas

El modelo comercial de la «salud» está muy sesgado hacia el refuerzo de sistemas sanitarios privatizados y costosos y la prestación de tratamientos para las poblaciones ricas, como los medicamentos contra la obesidad de alto margen, mientras se siguen descuidando las enfermedades huérfanas, las afecciones de origen social y los determinantes estructurales de la mala salud.

La narrativa de que la biología generativa curará (¡todas!) las enfermedades funciona como una poderosa herramienta de relaciones públicas para la industria de la IA, que se enfrenta a un creciente escepticismo público, a la preocupación por el uso de la energía y los recursos, y a las críticas a sus modelos de negocio oligárquicos. Incluso si los avances médicos reales resultan difíciles de alcanzar, sigue siendo muy valioso para las grandes tecnológicas mantener la ilusión del progreso. En este contexto, el campo de la IAxBio ya está atrayendo un apoyo sustancial de actores *filantrocapitalistas* alineados

⁷⁵ Corte Interamericana de Derechos Humanos, Opinión Consultiva OC-23717, El medio ambiente y los derechos humanos.

⁷⁶ Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (CESCR), *Observación general n.º 25 (2020) sobre la ciencia y los derechos económicos, sociales y culturales (artículo 15 (1) (b), (2), (3) y (4) del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales)*, E/C.12/GC/25, 2020.

con la tecnología. Fundaciones como la Fundación Gates (Microsoft)⁷⁷, Open Philanthropy⁷⁸, la Iniciativa Chan Zuckerberg (Meta)⁷⁹, la Fundación Ellison (Oracle)⁸⁰ y el Fondo Bezos Earth (Amazon)⁸¹ apoyan activamente los esfuerzos relacionados con la GenBio. Sus inversiones no solo generan buena publicidad, sino que también ayudan a mantener el valor de las acciones tecnológicas sobre las que se basan estas fundaciones.

Cabe recordar que los marcos internacionales de derechos humanos exigen precaución ante la incertidumbre. Como se establece en la Observación general n.º 25 del CESCR (párr. 56) y en la Opinión Consultiva n.º 23 de la Corte Interamericana de Derechos Humanos (párr. 180): *A falta de certeza científica plena, cuando una acción o política pueda causar daños inaceptables al público o al medio ambiente, se deben tomar medidas para evitar o reducir esos daños.*

Los «daños inaceptables» incluyen los impactos que:

- a) amenacen la vida o la salud humanas;
- b) sean graves y efectivamente irreversibles;
- c) sean injustos para las generaciones presentes o futuras; o
- d) se impongan sin tener en cuenta los derechos humanos de las personas afectadas.

Las evaluaciones del impacto tecnológico y sobre los derechos humanos son herramientas fundamentales para identificar los riesgos en una fase temprana del proceso de innovación científica y comercial. El papel cada vez más importante —y el interés propio— de las entidades filantropocapitalistas en la configuración del futuro del campo de la GenBio deben ser objeto de un escrutinio minucioso y de un debate público.

6. Militarización: la biología generativa centrada en cuestiones de defensa amenaza los derechos, la transparencia y la equidad

La biología sintética y la industria biotecnológica en general tienen vínculos de larga data con la financiación militar, vínculos que a menudo se ocultan al escrutinio público. Durante más de una década, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA) de los Estados Unidos ha sido uno de los financiadores públicos más importantes de la investigación en biología sintética. Sin embargo, lo que marca un

⁷⁷ Por ejemplo, BMGF ha financiado Exscientia, una empresa farmacéutica dedicada a la IAxBio. Véase <https://www.gatesfoundation.org/about/committed-grants/2020/10/inv004656>

⁷⁸ Por ejemplo, <https://www.openphilanthropy.org/grants/securebio-ai-biological-capabilities-dashboard/>

⁷⁹ CZI establece cuatro grandes retos científicos para transformar la salud humana en la intersección entre la IA y la biología: <https://chanzuckerberg.com/blog/ai-biology-grand-scientific-challenges/>

⁸⁰ <https://www.eit.org/news/professor-jason-chin-joins-eit-to-lead-its-new-generative-biology-institute>

⁸¹ <https://www.bezosearthfund.org/initiatives/ai-for-climate-and-nature>

cambio en el momento actual es el marco retórico manifiesto: los anteriores llamamientos a la innovación «verde» o a los beneficios para la «salud mundial» están dando paso a un discurso más agresivo de salvaguarda del dominio estadounidense frente a las amenazas geopolíticas.⁸² La biología generativa se posiciona cada vez más como una herramienta de seguridad nacional, haciéndose eco de los sentimientos del movimiento MAGA estadounidense y promoviendo un tecno-nacionalismo musculoso.

Este reajuste, que vincula la bioeconomía con los resultados militares, suscita serias preocupaciones sobre cómo se aplicará la GenBio, lo que plantea nuevos retos al derecho internacional humanitario. Se corre el riesgo de afianzar las desigualdades, legitimar los discursos de dominación y superioridad, e incluso revivir la lógica eugenésica bajo el pretexto de la defensa nacional. A medida que más infraestructuras, canales de datos y fondos de investigación de GenBio se reclasifican como «esenciales para la seguridad nacional», la ya limitada transparencia y rendición de cuentas en este ámbito puede reducirse aún más, lo que estrecha el espacio para la supervisión democrática, el debate público y la disidencia.

Oportunidades para la acción de la sociedad civil

La GenBio avanza más rápido de lo que los sistemas de gobernanza pueden responder, lo que deja a las comunidades expuestas a nuevas formas de despojo. Sin embargo, los marcos internacionales existentes y los nuevos ámbitos políticos ofrecen puntos de entrada para impugnar el cerco y exigir rendición de cuentas. La sociedad civil puede utilizar estos espacios para impulsar la precaución, la equidad y los derechos colectivos ante la aceleración de la extracción de datos biológicos.

Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CDB)

Más de 15 años de negociaciones en el marco del *Convenio sobre la Diversidad Biológica* (CDB) han establecido el principio fundamental de que la información sobre secuencias digitales (DSI) debe estar sujeta a las mismas obligaciones generales de acceso y participación en los beneficios que el material biológico físico.⁸³ Este prolongado proceso culminó en octubre de 2024 con la creación del *Fondo de Cali*, un mecanismo multilateral en el que los usuarios comerciales de las secuencias genéticas digitales pueden contribuir financieramente en lugar de negociar acuerdos individuales de beneficios con los proveedores originales.

⁸² [Comisión de Seguridad Nacional sobre Biotecnología Emergente](#) (NSCEB), «[Trazando el futuro de la biotecnología: un plan de acción para la seguridad y la prosperidad](#) estadounidenses», abril de 2025.

⁸³ Información digital sobre secuencias de recursos genéticos - <https://www.cbd.int/dsi-gr>

Es fundamental señalar que el acuerdo por el que se establece el Fondo de Cali⁸⁴ reconoce explícitamente el auge de la IA y la biotecnología genética al identificar a las empresas de IA y de software como *usuarios comerciales* de la información sobre secuencias genéticas, entidades que pueden estar obligadas a contribuir al fondo. Se ha encargado a un comité directivo de reciente creación, que se reunirá dos veces al año y contará con representación de la sociedad civil, la supervisión del funcionamiento del fondo. Esto ofrece una vía potencial para promover una gobernanza más justa y responsable de los flujos de datos dentro de la economía de la biotecnología genética.

Paralelamente, el CDB también mantiene una agenda en curso sobre *biología sintética*⁸⁵, centrada en el análisis prospectivo, la evaluación tecnológica y el seguimiento de cuestiones emergentes. Este proceso proporciona otra plataforma importante en la que la sociedad civil puede proponer medidas de gobernanza dirigidas específicamente a la extracción, el uso y la mercantilización de los datos biológicos y las tecnologías de GenBio, en consonancia con el mandato del Convenio de garantizar «la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de la diversidad biológica».

Por último, la gobernanza de la ISD también se basa en la *Meta 13* del Marco Mundial para la Diversidad Biológica, que insta a las Partes a «*augmentar la distribución de los beneficios derivados de los recursos genéticos, la información sobre secuencias digitales y los conocimientos tradicionales*». Esta meta, y su agenda de acción asociada, pueden servir como mecanismo para impulsar a los gobiernos y las empresas a hacer frente a las desigualdades inherentes al flujo de datos de GenBio.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

También pueden existir oportunidades paralelas para la gobernanza dentro de los organismos establecidos en el marco de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en particular el *Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura* (comúnmente conocido como el *Tratado sobre las Semillas*)⁸⁶, que lleva varios años abordando activamente la cuestión de la información sobre secuencias digitales. El Tratado sobre las Semillas es uno de los pocos instrumentos jurídicos internacionales que reconoce explícitamente los derechos de los agricultores, incluido el derecho a conservar, utilizar, intercambiar y vender semillas, así como a participar en la toma de decisiones sobre los recursos fitogenéticos. Sin embargo, el auge de las herramientas digitales que extraen secuencias genéticas de las semillas y las convierten en datos —sin acuerdos de acceso ni distribución de beneficios— supone una grave amenaza para esos derechos. El uso de

⁸⁴ Decisión del CDB CBD/COP/DEC/16/ 2 - <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-16/cop-16-dec-02-en.pdf>

⁸⁵ Página del CDB de las Naciones Unidas sobre biología sintética: véase <https://www.cbd.int/synbio>

⁸⁶ <https://www.fao.org/plant-treaty/en>

la DSI en los modelos de GenBio impulsados por la IA corre el riesgo de desvincular la innovación biológica de los territorios, las comunidades y los sistemas de conocimiento que han alimentado y desarrollado estos recursos a lo largo de generaciones. En la medida que la información sobre secuencias genéticas digitales fluye libremente hacia los sistemas de IA patentados, mientras que los agricultores siguen excluidos de sus beneficios, existe un riesgo creciente de que los cercamientos digitales sustituyan a los físicos. Fortalecer la gobernanza de la información genética digitalizada en el marco del Tratado de Semillas, guiado por el principio del consentimiento libre, previo e informado y la distribución justa y equitativa de los beneficios, es fundamental para proteger los derechos de los campesinos y los pueblos indígenas y garantizar que las tecnologías emergentes no socaven la soberanía alimentaria.

Acciones de privacidad digital

La reutilización de la información de secuencias digitales para entrenar modelos de IA en GenBio representa un cambio significativo en el uso de datos que a menudo se recopilaban originalmente con fines de investigación científica de interés público o de conservación. Esta reutilización plantea serias preocupaciones legales y éticas, especialmente cuando nunca se dio el consentimiento —o no se podía imaginar— para tales aplicaciones comerciales y computacionales. Puede haber motivos para presentar denuncias o acciones legales ante las autoridades nacionales y regionales de protección de la privacidad por violaciones de los términos originales en virtud de los cuales se recopilaron los datos biológicos. Por ejemplo, en la Unión Europea, la conservación y el tratamiento de determinados tipos de datos biológicos pueden estar sujetos al Reglamento General de Protección de Datos que incluye explícitamente *los datos genéticos* como una categoría especial de información sensible (véase el considerando 34)⁸⁷. El uso de dichos datos fuera de su ámbito original, especialmente sin la debida transparencia, consentimiento o reparto de beneficios, debe ser objeto de escrutinio en el marco de los marcos existentes de privacidad y protección de datos.

La sociedad civil puede exigir transparencia y rendición de cuentas a las instituciones públicas de investigación, los programas de conservación y las empresas biotecnológicas en lo que respecta al uso secundario de datos biológicos, especialmente cuando dicho uso pueda infringir los términos originales del consentimiento o las normas éticas de investigación. Las organizaciones pueden presentar denuncias o consultas ante las autoridades nacionales y regionales de protección de datos (como las que velan por el cumplimiento del reglamento de protección de datos de la Unión Europea) para que se lleven a cabo revisiones normativas del uso de datos genéticos y biológicos en el desarrollo y la práctica de la IA. Los defensores también pueden impulsar nuevas

⁸⁷ Recital 34. RGPD de la UE - <https://www.privacy-regulation.eu/en/recital-34-GDPR.htm>

directrices nacionales e internacionales que aclaren la situación jurídica de la información de secuencias genéticas digitalizadas y afirmen que su uso en la IA debe estar sujeto a las obligaciones en materia de derechos humanos, privacidad y distribución de beneficios. Además, la sociedad civil puede trabajar para fomentar la comprensión pública y la capacidad de las bases —especialmente en las regiones con gran biodiversidad— sobre la soberanía de los datos y la biopiratería digital, empoderando a las comunidades para que ejerzan control sobre cómo se extrae, digitaliza y comercializa su patrimonio biológico.

Políticas nacionales, regionales y mundiales sobre datos de entrenamiento de IA

Si bien la reutilización de la información de secuencias digitales (ISD) para modelos de biología generativa suscita serias preocupaciones en torno a la soberanía digital y los derechos sobre los datos, los marcos existentes de acceso y distribución de beneficios (como lo que indica el CDB sobre las secuencias genéticas digitalizadas) deben dar lugar a contribuciones al Fondo Cali, y ofrecen un valioso precedente. Este reconocimiento puede ayudar a catalizar un debate más amplio sobre la necesidad de compensar adecuadamente a las comunidades cuyos datos biológicos y ambientales se extraen, digitalizan e introducen en modelos de IA sin su conocimiento o consentimiento previo. Si bien las negociaciones del CDB sobre las secuencias digitales se han centrado exclusivamente en la información genética, cada vez se recopilan más datos digitales similares —como datos sobre el suelo, el agua, el clima y las observaciones de especies— con el pretexto de la conservación de la biodiversidad. Estos conjuntos de datos ambientales también son aportaciones valiosas para los sistemas de IA, incluidos los utilizados en la agricultura, la biología sintética y las tecnologías de conservación. Por lo tanto, cada vez hay más posibilidades de que el marco de la distribución de beneficios y el Fondo Cali se amplíen o adapten para incluir otras formas de datos ecológicos y derivados de la comunidad, lo que contribuirá a garantizar que las comunidades mantengan la capacidad de decidir cómo —o si— sus territorios y sistemas de conocimiento se transforman en capital digital.

Este momento ofrece una importante oportunidad para que la sociedad civil intervenga en los espacios de gobernanza mundial —como el CDB y los foros emergentes sobre derechos digitales— para exigir protecciones más sólidas, obligaciones vinculantes de transparencia que garanticen el consentimiento libre, previo e informado de las comunidades, y mecanismos redistributivos. Al vincular la justicia digital con los derechos colectivos, la sociedad civil puede desempeñar un papel fundamental a la hora de sacar a la luz nuevas formas de biopiratería y promover políticas que se centren en el consentimiento previo informado en la era de la IA. A nivel nacional, la sociedad civil debe abogar por que las leyes nacionales de acceso y distribución de beneficios incluyan

explícitamente conjuntos de datos medioambientales de IA, garantizando que las comunidades mantengan la soberanía sobre los conocimientos ecológicos digitalizados.

Reflexiones finales

La biología generativa se está desarrollando a una velocidad asombrosa, impulsada por las enormes inversiones de los gigantes tecnológicos, el capital riesgo y las fundaciones filantrópicas alineadas. Sus promesas —erradicación de enfermedades, materiales sostenibles, revolución agrícola— dominan los titulares, mientras que los riesgos se acumulan en gran medida fuera de la vista del público. La supervisión, la precaución y la deliberación democrática se quedan peligrosamente atrás. Estamos asistiendo al auge de un nuevo y poderoso sector industrial antes incluso de que se redacten las normas, y mucho menos de que se apliquen.

En esencia, la biología generativa acelera la dinámica de despojo que existe desde hace tiempo: transformar los recursos vivos en datos digitales, encerrarlos en sistemas de inteligencia artificial opacos y convertirlos en activos privados. Estos procesos amenazan con agravar la desigualdad, desplazar los medios de vida, erosionar el patrimonio biocultural y desbordar los ya frágiles regímenes de bioseguridad. También afianzan el poder corporativo y las agendas tecno-nacionalistas, reduciendo el espacio político para que las comunidades hagan valer sus derechos y las sociedades configuren trayectorias tecnológicas en interés público.

Sin embargo, este momento también presenta una gran oportunidad para la resistencia y la reinención. La sociedad civil, los pueblos indígenas, los agricultores y las comunidades locales pueden hacer valer la gobernanza colectiva sobre los recursos biológicos y digitales, exigir normas aplicables sobre la recopilación y el uso de datos e insistir en límites preventivos. Las intervenciones legales, la participación en las políticas públicas y la movilización de base tienen un papel que desempeñar para garantizar que el entusiasmo por el despliegue de la IA en el diseño de organismos vivos se señale como una clara amenaza y que este fenómeno no multiplique las injusticias de anteriores cercamientos biotecnológicos y digitales.

Las lecciones aprendidas de las luchas pasadas han demostrado que, sin la soberanía de la comunidad, la transparencia y las salvaguardias vinculantes, la biología generativa exacerbará las desigualdades estructurales en nuestros sistemas alimentarios, sanitarios y ecológicos, y profundizará el control corporativo.