

# 4. Influencia de la IA en el desarrollo científico y tecnológico

- [4.1 Introducción](#)
- [4.2 Influencia de la IA en el desarrollo de las matemáticas](#)
- [4.3 Influencia de la IA en el desarrollo de la física](#)
- [4.4 Influencia de la IA en el desarrollo de la Química.](#)
- [4.5 Influencia de la IA en el desarrollo de la Biología](#)
- [4.6 Influencia de la IA en el desarrollo de la Geología](#)

# 4.1 Introducción

## Introducción

Como educadores en ciencia y tecnología, nos encontramos en la primera línea de una transformación histórica que debemos poder transmitir a nuestro alumnado. No se trata solo de una nueva herramienta pedagógica, sino, de nuevo, de un cambio de paradigma en la forma en que la humanidad construye el conocimiento. El propósito de este capítulo es dar una visión general a los docentes de este ámbito que van a educar a los científicos e ingenieros del futuro para facilitarles la comprensión de la posible transformación de las profesiones científicas y tecnológicas.

Para abordar este reto, utilizaremos la lente del **materialismo emergentista** de Mario Bunge, físico y filósofo que entiende la ciencia no como una suma de hechos aislados, sino como un sistema de sistemas (sistemismo), donde los conocimientos, teorías, métodos y disciplinas interactúan dinámicamente y se interconectan lógicamente. Desde esa perspectiva, puede verse la Inteligencia Artificial (IA) no como un "ente espiritual" ni como una caja negra mágica, sino un amplificador cognitivo que permite a la ciencia alcanzar niveles de complejidad antes inaccesibles mediante la interconexión de teorías de diferentes disciplinas asociadas a diferentes niveles de organización. Es decir, un especialista puede usarla como un "asesor" que sabe del resto de disciplinas.

La ciencia siempre ha avanzado de la mano de sus instrumentos. El telescopio de Galileo no solo permitió ver más lejos; cambió nuestra concepción del cosmos. La IA puede usarse también, como es obvio, como un amplificador de la productividad, de la capacidad de cálculo y deducción y de la búsqueda de correlaciones y por lo tanto de inducción. Queda en manos de los científicos dar sentido e integrar, mediante abducción, los diferentes resultados desconectados entre sí, es decir, teorizar.

## Del Método Tradicional a la Ciencia "In Silico"

Desde una perspectiva de **Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS)**, la IA no es neutral. Está reconfigurando la práctica científica al introducir un tercer pilar de investigación que se suma a la teoría y a la experimentación: la **ciencia asistida por modelos generativos y predictivos**.

Desde una perspectiva sistémica, la IA permite estudiar propiedades **emergentes**. Por ejemplo, conocer la composición química de una proteína (nivel molecular) no nos decía automáticamente cómo se plegaría en el espacio (nivel funcional). Veremos posteriormente como la IA, a través de sistemas como AlphaFold, ha ayudado a "saltar" entre esos niveles, resolviendo en meses

problemas que habrían tomado varios años.

## La Explosión de la Literatura Científica

El impacto de la IA no es una promesa futura; es una realidad estadística cuantificable. El número de publicaciones científicas que mencionan o utilizan técnicas de IA ha crecido de forma exponencial en la última década.

Según el *AI Index Report 2024* de la Universidad de Stanford, la integración de la IA en diversas disciplinas científicas ha transformado la velocidad de los descubrimientos. A continuación, se presenta una tabla que refleja el crecimiento en la producción de artículos científicos relacionados con la IA a nivel global:

**Tabla 1: Crecimiento de Publicaciones de IA por Sectores (2010-2022)**

Año	Publicaciones Totales en IA	% de Crecimiento Anual	Áreas con mayor adopción
2010	~200,000	-	Computación, Matemáticas
2015	~350,000	12%	Robótica, Visión por Computador
2021	~750,000	25%	Medicina, Biología Molecular
2022	~880,000	17%	Química, Geociencias

*Fuente: Elaboración propia basada en datos del Stanford Institute for Human-Centered AI (HAI), AI Index Report 2023/2024.*

Este crecimiento no es solo cuantitativo. La IA está permitiendo que disciplinas tradicionalmente "lentas" o descriptivas, como la geología o la taxonomía biológica, se conviertan en ciencias predictivas de alta precisión.

## La Crisis de la Integridad Científica: IA vs. IA

No todo es optimismo. Como docentes, debemos ser conscientes de que la técnica sin ética (sin un marco filosófico sólido) puede corromper el sistema. Nos enfrentamos a lo que algunos expertos denominan la "crisis de la ciencia sintética".

El proceso de **revisión por pares (peer review)**, piedra angular de la confianza científica, siempre ha estado bajo asedio, puesto que, como todo sistema de organización humano, puede ser usado para fines distintos a los creados. Tiene para ello sus contrapesos y sistemas de corrección y sus métricas que permiten mantener la credibilidad y la vigilancia. Recientemente han surgido dos

fenómenos preocupantes que amplifican los problemas del sistema.

1. **Aumento de los artículos "Paper Mill":** El uso de LLMs (Large Language Models) para generar artículos científicos que parecen coherentes pero carecen de base empírica real o contienen datos inventados ("alucinaciones").
2. **Revisión Automatizada:** Ante la saturación de artículos, algunos revisores están utilizando IA para evaluar trabajos escritos por otras IA, creando un bucle cerrado donde el juicio humano y el rigor crítico desaparecen.

Un estudio publicado en la revista *Nature* (2023) sobre la integridad científica advirtió que el uso no declarado de IA en la redacción de artículos ha aumentado significativamente, dificultando la distinción entre descubrimientos útiles y artefactos estadísticos.

“ **Nota para el aula:** Es vital enseñar a los alumnos de secundaria que la ciencia no es solo "teorías y datos", sino un proceso crítico de validación social, el mejor sistema que hayamos creado los humanos para conocer la naturaleza y compartir ese conocimiento. La IA puede generar respuestas, pero solo el pensamiento humano puede hacer las preguntas correctas, integrarlas en una explicación global, en una cosmovisión, y verificar su veracidad.

La IA puede actuar una herramienta para gestionar la complejidad. Nos permitirá resolver retos climáticos, médicos y energéticos sin precedentes. Sin embargo, si descuidamos los mecanismos sociales de control (el peer review y la ética científica), corremos el riesgo de ahogar el conocimiento genuino en un mar de ruido algorítmico.

En los siguientes capítulos, exploraremos cómo esta tecnología está transformando campos específicos, desde las matemáticas más abstractas hasta las entrañas de nuestro planeta.

#### Referencias:

- **Bunge, M. (2004).** *Emergencia y convergencia: Novedad cualitativa y unidad del conocimiento*. Siglo XXI.
- **Stanford University (2024).** *Artificial Intelligence Index Report 2024*. Institute for Human-Centered AI.

## 4.2 Influencia de la IA en el desarrollo de las matemáticas

### Influencia de la IA en el desarrollo de las matemáticas

Tradicionalmente, la matemática se ha considerado el último reducto de la intuición humana pura. Sin embargo, estamos presenciando la emergencia de una "matemática asistida por silicio" que no solo acelera el cálculo, sino que empieza a descubrir verdades que a los humanos se nos habían escapado durante décadas.

### Resolución autónoma de problemas: El hito de AlphaGeometry

Uno de los mayores desafíos en la enseñanza de las matemáticas (especialmente entre los 12 y 18 años) es la **geometría euclidiana** y la capacidad de construir demostraciones. En enero de 2024, investigadores de Google DeepMind presentaron [AlphaGeometry](#), un sistema de IA diseñado para resolver problemas de geometría de nivel de Olimpiada Internacional de Matemática (IMO).

Lo revolucionario de AlphaGeometry es que combina un modelo de lenguaje (potente en la predicción de patrones) con un **motor de razonamiento simbólico** (un sistema basado en reglas lógicas). Esto evita las "alucinaciones" de las IA comunes.

**Tabla 2: Rendimiento de AlphaGeometry frente a humanos en problemas de la IMO según Google.**

Entidad / Sistema	Problemas resueltos (sobre 30)	Nivel alcanzado	Método
AlphaGeometry (2024)	25	Medallista de Oro	Red neuronal + Razonamiento lógico
Promedio Humano (Participante IMO)	25.9	Medallista de Oro	Intuición + Deducción
Sistema Basado en Reglas (Anterior a IA)	10	Principiante	Búsqueda por fuerza bruta

Fuente: Trinh, T. H., et al. (2024). [Nature](#).

Sin embargo, toda la información sobre el desempeño de estas IAs en el IMO es altamente controvertida por formar parte de la competición publicitaria entre las empresas de IA. Esta [noticia del país](#) desmiente las pretensiones de las diferentes soluciones presentadas en la IMO

Este avance es crucial para los docentes: demuestra que la IA ya puede realizar el paso más difícil de la matemática: **la demostración de teoremas**, que requiere una visión estratégica del problema, no solo seguir algoritmos.

## Superando los límites humanos: FunSearch y el problema de los conjuntos "Cap Set"

A finales de 2023, se publicó un avance significativo en combinatoria. Un sistema llamado [FunSearch](#) logró encontrar una solución al **problema de los conjuntos cap set**, un enigma matemático sobre cómo encontrar el conjunto más grande de puntos en una cuadrícula donde no hay tres puntos en línea recta.

Lo asombroso no es solo que la IA encontró una solución, sino que la solución era **un algoritmo que ningún humano había escrito antes**. A diferencia de otros sistemas "caja negra", FunSearch escribe código matemático que los humanos podemos leer y entender.

## El descubrimiento de algoritmos de computación (AlphaTensor)

La multiplicación de matrices es la operación matemática fundamental que sustenta casi toda la informática moderna (desde los gráficos de videojuegos hasta la propia IA). Durante 50 años, los matemáticos buscaron formas más eficientes de multiplicar matrices más allá del método estándar.

En 2022, DeepMind presentó [AlphaTensor](#). Utilizando aprendizaje por refuerzo, la IA descubrió un algoritmo para multiplicar matrices que es más rápido que cualquier método descubierto por humanos en medio siglo.

Método	Operaciones de multiplicación requeridas	Año de descubrimiento	Descubridor
Método Escolar Estándar	64	Clásico	Humano
Algoritmo de Strassen	49	1969	Humano
<b>Algoritmo AlphaTensor</b>	<b>47</b>	<b>2022</b>	<b>IA (DeepMind)</b>

Dados el elevadísimo número de operaciones de este tipo que se realizan en computación, un algoritmo más eficiente contribuye a disminuir la huella de carbono del uso de software.

## Reflexión pedagógica

¿Significa todo esto que ya no debemos enseñar a calcular o a demostrar? Al contrario. Desde una perspectiva CTS, el ciudadano del futuro debe entender la lógica que subyace a estos sistemas para no ser un mero usuario pasivo. Necesitamos matemáticos capaces de **formular las preguntas correctas** que la IA debe procesar, con capacidad para priorizar y focalizar la atención de la fuerza bruta de la IA.

## 4.3 Influencia de la IA en el desarrollo de la física

En este apartado exploraremos cómo la IA está impulsando el desarrollo de la física, actuando como un puente entre la teoría matemática y la realidad empírica

### La Revolución de los Materiales: El Proyecto GNoME

Uno de los mayores retos de la física de la materia condensada ha sido predecir qué combinaciones de elementos formarán materiales estables. Tradicionalmente, esto requería años de experimentación de "ensayo y error" en el laboratorio.

En 2023, investigadores de Google DeepMind publicaron un estudio sobre **GNoME (Graph Networks for Materials Exploration)**. Esta IA ha predicho la estabilidad de **2,2 millones de nuevas estructuras de cristales**, lo que equivale a casi 800 años de conocimiento acumulado en un solo movimiento.

- **¿Por qué es importante?** Estos nuevos materiales son la base para crear baterías más eficientes, superconductores y chips de computadora más rápidos.
- **Dato de impacto:** De esas predicciones, 736 materiales ya han sido creados de forma independiente en laboratorios experimentales, confirmando la precisión de la IA.

Metodología	Materiales Conocidos (aprox.)	Nuevas Predicciones Estables (GNoME)	Factor de Crecimiento
Historia de la Ciencia (hasta 2023)	48,000	-	1x
IA (DeepMind, 2023)	-	381,000 (estabilidad extrema)	~8x

**Referencia:** Merchant, A., et al. (2023). [Scaling deep learning for materials discovery](#). Nature, 624(7990), 80-85.

### Visualizando lo Invisible: El Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT)

La física astrofísica nos regaló en 2019 la primera imagen de un agujero negro. Sin embargo, obtener esa imagen no fue como sacar una fotografía convencional. Los telescopios terrestres están esparcidos por el globo, dejando grandes "huecos" en los datos recibidos.

Para obtener la imagen de **Sagitario A\*** (el agujero negro en el centro de nuestra galaxia), se utilizó un algoritmo llamado **PRIMO**. Esta IA "aprendió" cómo deberían ser los agujeros negros basados en miles de simulaciones físicas y luego rellenó los huecos de los datos faltantes con una precisión asombrosa.

[Medeiros, L., et al. \(2023\). \*The Image of the M87 Black Hole Reconstructed with PRIMO\*. The Astrophysical Journal Letters, 947\(1\).](#)

## El CERN: En busca de la "Aguja en el Pajar"

En el Gran Colisionador de Hadrones (LHC), se producen millones de colisiones de partículas por segundo. Es físicamente imposible para los seres humanos, o incluso para ordenadores tradicionales, analizar toda esa información en tiempo real.

La IA se utiliza para el **filtrado de datos (triggering)**. Los modelos de aprendizaje profundo identifican patrones que sugieren la presencia de partículas raras, como el Bosón de Higgs o candidatos a materia oscura, descartando el "ruido" de fondo. Es decir, se emplea la IA para decidir que colisiones analizar y cuales no.

## Fusión Nuclear: Domando la Energía de las Estrellas

La fusión nuclear promete energía limpia casi ilimitada. El mayor desafío es contener el plasma (gas a millones de grados) dentro de un reactor llamado **Tokamak** mediante campos magnéticos. Si el plasma toca las paredes del reactor, se enfría y la reacción se detiene.

En 2022, en colaboración con el Centro de Plasma de la EPFL (Suiza), DeepMind desarrolló una IA basada en **aprendizaje por refuerzo profundo** que pudo controlar las bobinas magnéticas del reactor para dar forma y mantener el plasma de manera estable. La IA aprendió a hacer ajustes en microsegundos, algo que ningún operador humano podría realizar.

[Degrave, J., et al. \(2022\). \*Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning\*. Nature, 602, 414-419.](#)

## 4.4 Influencia de la IA en el desarrollo de la Química.

### Influencia de la IA en el desarrollo de la Química.

En química, pasamos de la física de las partículas individuales al estudio de los **sistemas moleculares**. La química es el nivel donde emergen propiedades nuevas (como la acidez, la toxicidad o la capacidad catalítica) que no existen en los átomos aislados.

La IA ha impulsado la transformación, ya en marcha desde hace décadas, hacia una **química predictiva y generativa**, permitiéndonos navegar por el "espacio químico" (el conjunto de todas las moléculas posibles), que es vasto y casi infinito.

Históricamente, descubrir un nuevo material o fármaco tomaba en torno a unos 10-15 años y tenía un costo de miles de millones de euros. La IA está reduciendo estos tiempos de forma drástica al predecir cómo reaccionarán las moléculas antes siquiera de mezclarlas en un tubo de ensayo. No elimina las fases de los ensayos pero sí permite explorar diferentes posibilidades y podar algunas poco esperanzadoras.

### El Descubrimiento de Nuevos Antibióticos: El caso de la *Halicina*

Uno de los mayores retos de la medicina actual es la resistencia a los antibióticos. En 2020, investigadores del MIT utilizaron un modelo de aprendizaje profundo para analizar más de 100 millones de compuestos químicos en pocos días.

La IA identificó una molécula, a la que llamaron **Halicina** (en honor a la IA *HAL 9000*), que tiene una estructura química muy distinta a cualquier antibiótico conocido. Lo más impresionante es que la Halicina resultó ser eficaz contra bacterias que ya eran resistentes a todos los fármacos convencionales.

### Eficiencia en el cribado de compuestos para antibióticos

Método de Investigación	Compuestos analizados	Tiempo requerido	Resultado
Cribado Experimental Humano	~varios miles	Meses / Años	Éxito limitado por coste

Método de Investigación	Compuestos analizados	Tiempo requerido	Resultado
Cribado por IA (Deep Learning)	>100 millones	4 días	Descubrimiento de Halicina

Fuente: [Stokes, J. M., et al. \(2020\). Cell.](#)

## Química Sostenible.

Uno de los campos de aplicación más prometedores es la búsqueda de compuestos y materiales que permitan una mejora de nuestra gestión de los problemas medioambientales. Veamos algunos ejemplos.

### El Fin de los Plásticos Eternos: La enzima "FAST-PETase".

El polietileno tereftalato (PET) es el plástico de las botellas que tarda siglos en degradarse. En 2022, investigadores de la Universidad de Texas en Austin utilizaron un modelo de IA para diseñar una enzima capaz de degradar algunos plásticos en cuestión de horas o días, incluso a temperaturas bajas.

La IA analizó miles de variaciones posibles en la estructura de una enzima natural (la *PETasa*) para encontrar la configuración más estable y eficiente. El resultado, bautizado como **FAST-PETase**, puede descomponer plásticos post-consumo en sus componentes químicos originales (monómeros), permitiendo un reciclaje infinito y perfecto.

### Eficiencia de degradación de PET (IA vs. Métodos Naturales).

Sistema de Degradación	Tiempo de degradación	Temperatura necesaria	Eficiencia de despolimerización
Bacterias naturales ( <i>I. sakaiensis</i> )	Semanas / Meses	~30°C	Muy baja
Enzimas de ingeniería previa	Días	>70°C	Moderada (poca estabilidad)
<b>FAST-PETase (Diseñada por IA)</b>	<b>24 a 48 horas</b>	<b>&lt;50°C</b>	<b>90% - 100%</b>

Fuente: [Lu, H., et al. \(2022\). Nature.](#)

### Captura de Carbono con Redes Metal-Orgánicas (MOFs).

Para frenar el cambio climático, no basta con dejar de emitir CO<sub>2</sub>, necesitamos eliminarlo de la atmósfera capturándolo. Sin embargo, los filtros actuales son caros y consumen mucha energía.

Aquí entra la IA para diseñar **MOFs (Metal-Organic Frameworks)**: estructuras cristalinas ultra-porosas que actúan como "esponjas" moleculares. Un solo gramo de un MOF bien diseñado puede tener una superficie interna enorme.

“ The Rise of Generative AI for Metal-Organic Framework Design and Synthesis

1. This perspective article explores how generative artificial intelligence (GenAI) is transforming the design and discovery of metal-organic frameworks (MOFs), shifting from laborious enumeration to... [pic.twitter.com/rC8F9vpbuj](https://pic.twitter.com/rC8F9vpbuj)

— Biology+AI Daily (@BiologyAIDaily) [August 20, 2025](#)

### Sustitución de disolventes Tóxicos

Muchos procesos químicos industriales requieren disolventes que son inflamables o cancerígenos. La IA está ayudando a diseñar **Eutécticos Profundos (DES)** y líquidos iónicos: "solventes a medida" que son biodegradables y no tóxicos.

Mediante el uso de modelos predictivos de aprendizaje automático (Machine Learning), los químicos pueden predecir la toxicidad y el punto de fusión de mezclas químicas antes de fabricarlas, asegurando que el proceso industrial sea seguro para los trabajadores y el medio ambiente.

### Predicción de Estructuras: Más allá de AlphaFold

Aunque AlphaFold es famoso por las proteínas (biología), su base es puramente química: predecir la posición de los átomos en el espacio basándose en sus interacciones electroquímicas. Esta misma lógica se está aplicando es la que se ha empleado para predecir la estructura de **redes metal-orgánicas (MOFs)**, que son materiales "esponja" capaces de almacenar hidrógeno o filtrar agua contaminada, pero puede servir para cualquier otra molécula, se ha simplificado mucho los cálculos de geometría molecular a partir de la molécula y sus enlaces.

Para saber más: Puedes seguir esta [cuenta de X](#) que informa de noticias relacionadas con biología e IA

## 4.5 Influencia de la IA en el desarrollo de la Biología

### El Hito de AlphaFold: Resolviendo el "Puzle de 50 Años"

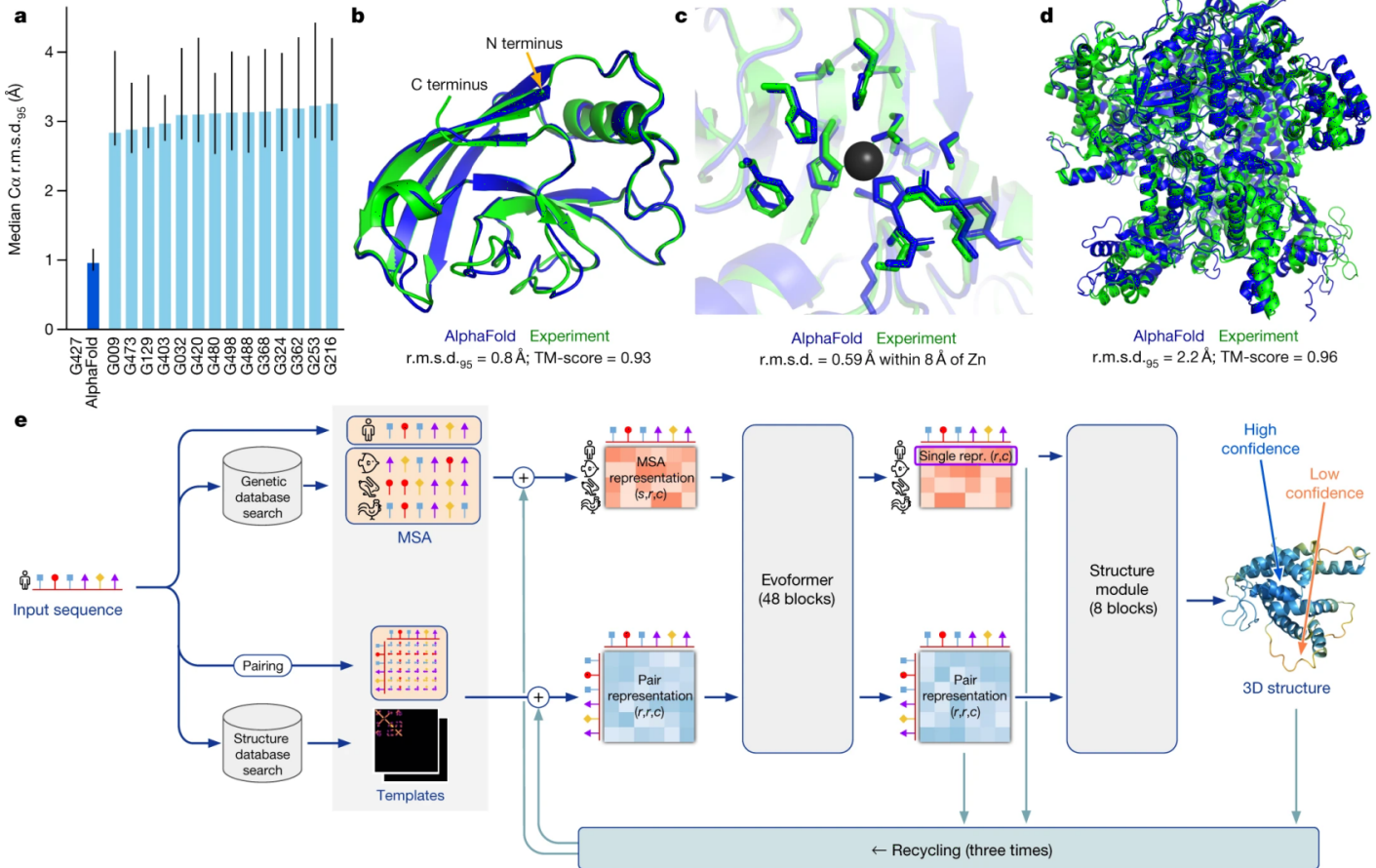
Las proteínas son las piezas estructurales que hacen que la vida funcione (hemoglobina para el oxígeno, colágeno para la piel, enzimas para la digestión). Su función depende totalmente de su forma tridimensional. Durante décadas, determinar la forma de una sola proteína podía costar años de trabajo y millones de dólares en laboratorios de rayos X.

En 2021, la IA **AlphaFold 2** de Google DeepMind logró predecir la estructura de casi todas las proteínas conocidas por la ciencia (más de 200 millones).

- **Impacto científico:** Ha acelerado la investigación biológica en décadas. Ahora, un científico puede conocer la forma de una proteína en minutos desde su ordenador.
- **Dato de impacto:** Antes de la IA, solo conocíamos la estructura del 17% de las proteínas humanas. AlphaFold elevó esa cifra a casi el 100% con alta confianza.

Método de Resolución	Tiempo estimado por proteína	Proteínas conocidas (2020)	Proteínas conocidas (2024)
Experimental (Rayos X/Crio-EM)	Meses o años	~180,000	~200,000
Inteligencia Artificial (AlphaFold)	Minutos	-	>200,000,000

**Referencia:** [Jumper, J., et al. \(2021\). \*Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold.\* Nature, 596\(7873\), 583-589.](#)

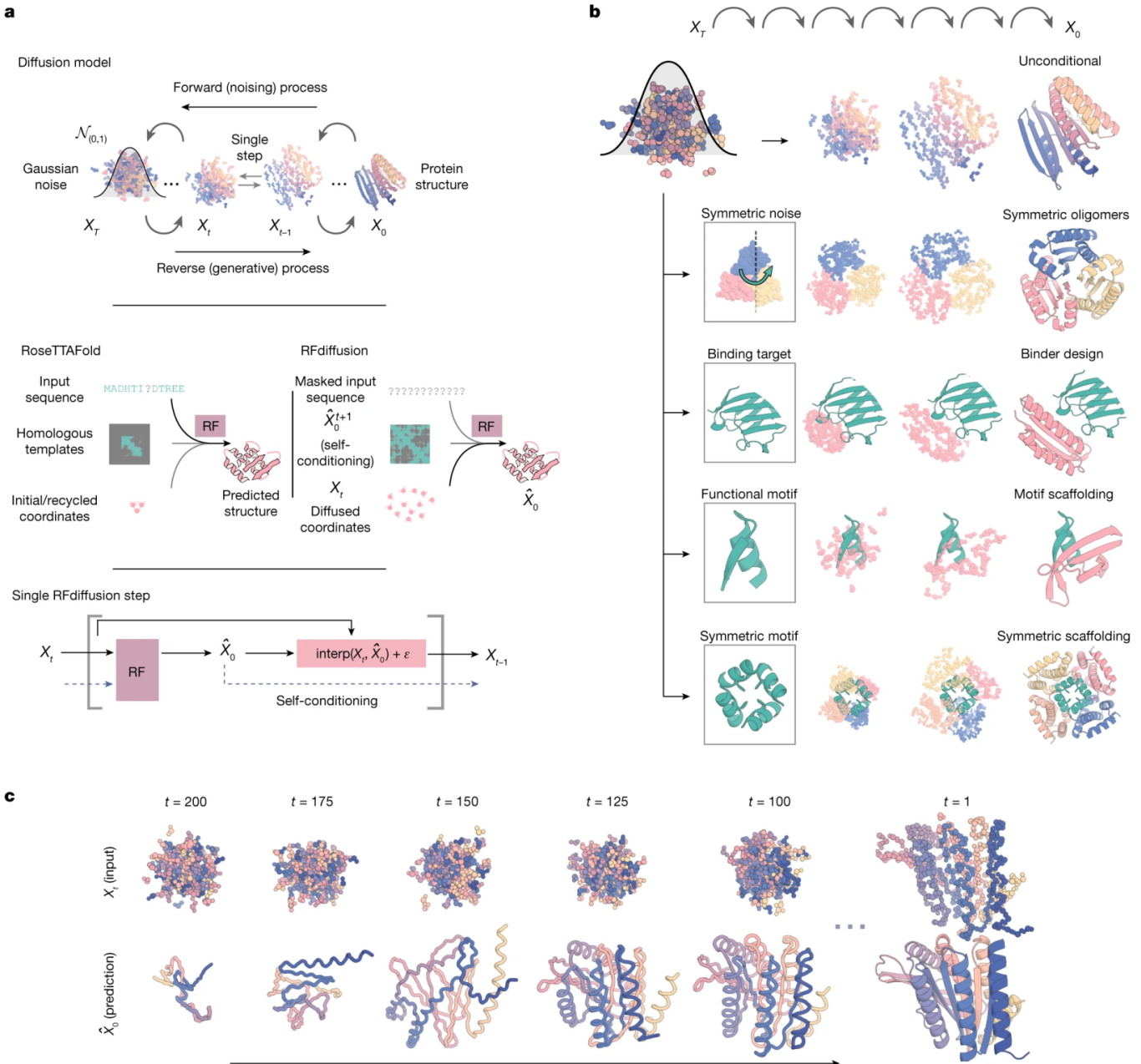


## Diseño de Proteínas: Inventando la Biología del Futuro

Si AlphaFold nos permite *leer* la naturaleza, herramientas como **ProteinMPNN** o **RFdiffusion** (desarrolladas en parte por el Nobel David Baker) nos permiten *escribirla*. Los científicos ahora pueden pedirle a una IA que diseñe una proteína que no existe en la naturaleza para una función específica: atrapar un virus, degradar plástico o actuar como un sensor de contaminación.

- **¿Por qué es importante?** Estamos pasando de una biología descriptiva (observar lo que hay) a una biología de diseño (crear soluciones biológicas a problemas humanos).

**Referencia:** [Watson, J. L., et al. \(2023\). De novo design of protein structure and function with RFdiffusion. Nature, 620\(7976\), 1089-1100.](#)



## Riesgos y oportunidades.

El uso de IA en biología, como en el resto de disciplinas científicas plantea riesgos y oportunidades. AlphaFold es una herramienta de "Ciencia Abierta" que ha democratizado el acceso a datos que antes solo tenían los laboratorios más ricos. Sin embargo, el diseño de proteínas *de novo* plantea riesgos de bioseguridad que los ciudadanos deben conocer.

## 4.6 Influencia de la IA en el desarrollo de la Geología

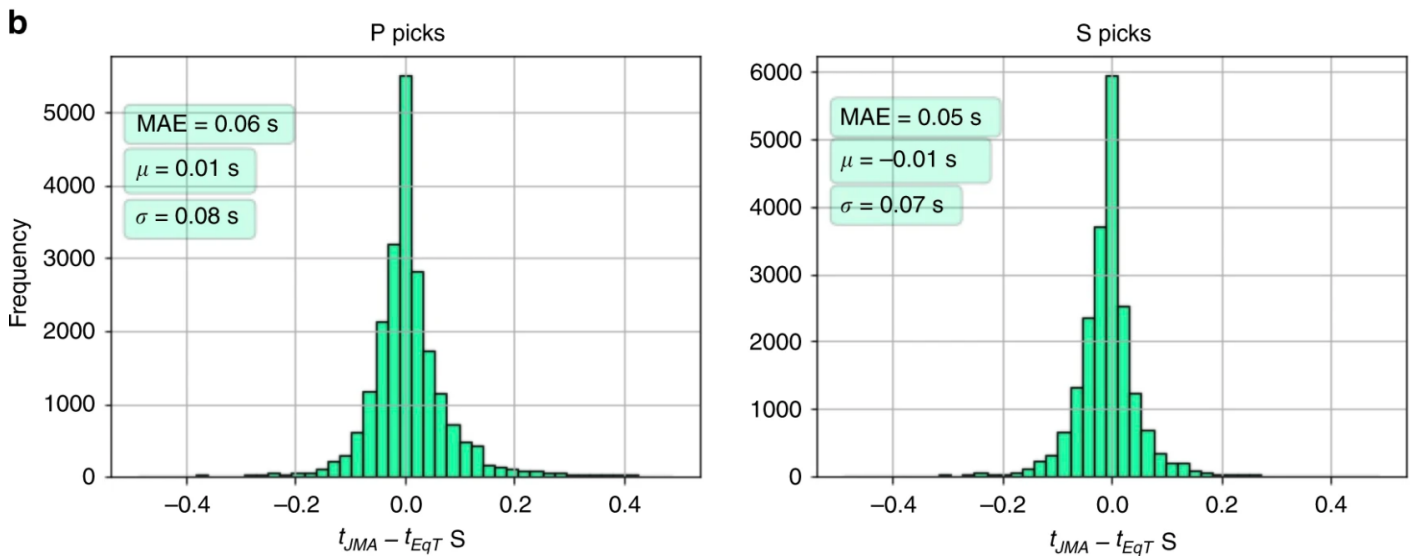
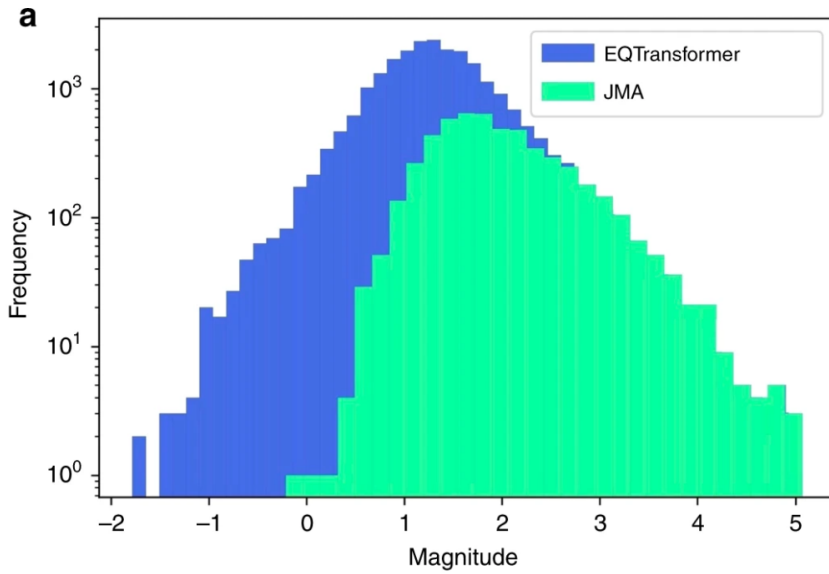
### Sismología: Escuchar el Interior de la Tierra

Tradicionalmente, detectar y localizar terremotos dependía de analistas humanos que revisaban sismogramas. Con el aumento de sensores, el volumen de datos es abrumador.

En 2020, investigadores de la Universidad de Stanford desarrollaron **EQTransformer**, un modelo de IA basado en redes neuronales (similares a las que procesan el lenguaje) que puede detectar terremotos tan pequeños que antes eran indistinguibles del ruido de la ciudad o el viento.

- **Impacto:** Permite crear mapas mucho más precisos de las fallas geológicas y mejorar los sistemas de alerta temprana.
- **Dato de interés:** En un estudio en el sur de California, la IA detectó **10 veces más eventos sísmicos** que los catálogos manuales tradicionales.

**Referencia:** Mousavi, S. M., et al. (2020). [Earthquake transformer—an attentive deep-learning model for simultaneous earthquake detection and phase picking](#). Nature Communications, 11(1), 3952.



## Predicción de Riesgos Volcánicos

Predecir cuándo entrará en erupción un volcán es uno de los problemas más complejos de la geología. La IA está ayudando a analizar imágenes de satélite (InSAR) que miden cómo se infla o deforma el suelo de un volcán debido al movimiento del magma.

Un estudio publicado en *Scientific Reports* demostró que algoritmos de aprendizaje profundo pueden identificar patrones de deformación volcánica en miles de volcanes simultáneamente, algo imposible para un equipo humano de vulcanólogos.

**Referencia:** Anantrasirichai, N., et al. (2018). [Detecting volcanic ground deformation in sentinel-1 interferometric radar stacks with convolutional neural networks](#). Journal of Volcanology and Geothermal Research.

