

# Setenta años para el Modelo de Doble Hélice de ADN: Relevancia para las Neurociencias y otras disciplinas

Seventy years for the DNA Double Helix Model: Relevance to Neurosciences and other disciplines

Manuel E. Cortés<sup>1</sup>, Eduardo Herrera-Aliaga<sup>2,3</sup>

Recibido el  
31 de junio de 2024  
Aceptado  
05 de diciembre de 2024

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en Educación,  
Facultad de Ciencias Humanas,  
Universidad Bernardo O'Higgins,  
Santiago, Chile.

<https://orcid.org/0000-0003-0845-7147>.  
cortesmanuel@docente.ubo.cl

<sup>2</sup>Hospital de Simulación y Laboratorios,  
Facultad de Ciencias de la Salud,  
Universidad Bernardo O'Higgins,  
Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Programa de Magíster en Salud  
Pública, Facultad de Ciencias Médicas,  
Universidad Bernardo O'Higgins,  
Santiago, Chile.  
<https://orcid.org/0000-0002-6153-6461>.  
eduardo.herrera@ubo.cl

\*Correspondencia:  
Eduardo Herrera-Aliaga  
Correo electrónico:  
eduardo.herrera@ubo.cl

DOI:  
<https://doi.org/10.47993/gmbv47i2.879>

## Resumen

Este artículo tiene como objetivo el conmemorar los setenta años del modelo de doble hélice del ADN y su impacto en diversas disciplinas, especialmente en las Neurociencias. Revisa la evolución histórica desde Mendel hasta la era postgenómica, destacando cómo la estructura del ADN ha revolucionado la Biología Molecular y ha facilitado la comprensión de la herencia y los tratamientos médicos. Explora la relevancia de la Genética Molecular en el estudio de los trastornos neurológicos, permitiendo avances significativos en Neurogenética. También discute las implicaciones éticas y filosóficas de la manipulación genética y el impacto sociocultural del ADN. El artículo concluye que la era postgenómica, con avances como la edición genética y el ADN sintético, continuará transformando la genética y las neurociencias, subrayando la necesidad de una reflexión ética profunda para garantizar que estos avances científicos, iniciados con la propuesta de la doble hélice, beneficien a la humanidad en su conjunto.

**Palabras claves:** ácido desoxirribonucleico, biología molecular, estructura molecular, neurociencias.

## Abstract

This article commemorates seventy years of the double helix model of DNA and its impact on various disciplines, especially Neurosciences. It provides a comprehensive overview of the historical evolution from Mendel to the postgenomic era. It emphasises how the double helix model revolutionised Molecular Biology and our understanding of heredity, paving the way for advanced medical treatments. The article explores Molecular Genetics' role in studying neurological disorders, leading to significant advances in Neurogenetics. It also discusses the ethical and philosophical implications of genetic manipulation and the sociocultural impact of DNA. In conclusion, the article highlights the transformative potential of postgenomic technologies like gene editing and synthetic DNA, stressing the need for deep ethical reflection to ensure these advances, initiated by the double helix model, benefit humanity.

**Keywords:** deoxyribonucleic acid, molecular biology, molecular structure, neurosciences.

Hace setenta años, luego de una intensa carrera científica, el biólogo estadounidense James Dewey Watson (nacido en 1928) y el biofísico británico Francis Harry Compton Crick (1916-2004) propusieron la estructura en doble hélice para el ácido desoxirribonucleico (ADN). Esto en un reporte de pocas pero concretas palabras, publicado en la prestigiosa revista Nature<sup>1-3</sup>. Esta hazaña, sin embargo, tuvo como antecedentes los notables aportes previos de varios investigadores, entre ellos Maurice Wilkins (1916-2004), Rosalind Franklin (1920-1958), Raymond Gosling (1926-2015), Jerry Donohue (1920-1985) y Erwin Chargaff (1905-2002), entre otros<sup>4-8</sup>.

Con este descubrimiento se produjo un verdadero cambio de paradigma en las ciencias de la vida, una revolución científica que llevó a que la biología molecular iniciase su época dorada<sup>9</sup>. Sin embargo, las repercusiones del descubrimiento de la estructura del ADN no pueden tan solo limitarse a la biología en particular, sino que se han expandido a buena parte del conocimiento humano, teniendo un impacto social sin parangón, considerándose este logro como un «ícono de la ciencia moderna»<sup>10</sup>.

En este punto cabe preguntar: ¿Cuál es la relevancia de dilucidar la estructura del ADN para las neurociencias y otras disciplinas? Lo cierto es que este descubrimiento fue absolutamente trascendental. Sin el conocimiento de la estructura de la molécula que esconde el «secreto de la vida», las neurociencias no podrían haber avanzado desde un estadio meramente descriptivo; así, la propuesta de doble hélice puede ser comparable al impacto que causó la introducción de la microscopía electrónica en el desarrollo de la neurobiología.

Cincuenta años después de la dilucidación de la estructura del ADN el proyecto Genoma Humano, en 2003, vino a iniciar la Era Postgenómica<sup>6,8,11</sup>. De este modo, los avances desde ese hito hasta los actuales en edición genética<sup>12</sup>, nanotecnología estructural del ADN y desarrollos de ADN sintético, se perfilan como contribuidores relevantes en diversas áreas de la neurociencia, entre ellos, la neurogenética<sup>13</sup>.

En virtud de los antecedentes anteriores, el objetivo de este artículo histórico es conmemorar los setenta años de la estructura de doble hélice de ADN y, a la vez, destacar la importancia de este descubrimiento para las neurociencias; avance, por lo demás, sumamente relevante para el desarrollo actual de las diversas áreas de las ciencias biomédicas.

## Metodología

El tipo de estudio comprendió una metodología mixta. Por una parte, este artículo histórico consideró una revisión narrativa tradicional, integrando elementos de revisión evaluativa cronológica y crítica de algunos libros clave, habiéndose consultado 3 textos y 1 película. Por otra parte, el estudio incluyó la búsqueda de artículos en el buscador académico Google Scholar. La búsqueda de información fue efectuada entre el 02 de enero al 22 de mayo de 2024. Los idiomas utilizados para la búsqueda fueron inglés, español y francés, y las palabras clave utilizadas fueron “estructura del ADN”, “Doble Hélice”, “Modelo de Watson y Crick”, “Genoma Humano” y “Neurogenética”. La búsqueda consideró artículos de los últimos diez años (prioritariamente de los últimos cinco años); sin embargo, se incluyeron varios otros considerados clásicos, dado el enfoque histórico de esta investigación al centrarse en un descubrimiento relevante de mediados del siglo XX. De las 96 fuentes inicialmente encontradas, 54 fueron de libre acceso y finalmente 31 fueron analizadas por su relevancia y real pertinencia con el tema.

### Análisis del resultado de la búsqueda

En la Grecia Clásica, Hipócrates de Cos ya tenía conocimiento de algunas enfermedades hereditarias, al igual que algunos médicos medievales<sup>13</sup>. Sin embargo, el inicio formal de la historia de la genética podríamos situarlo en los trabajos realizados por Gregor Johann Mendel (1822-1884) —el «agustino de los guisantes»<sup>14,15</sup>. Fue este fraile y naturalista austro-húngaro quien llevó a cabo una serie de experimentos con guisantes (arvejas), postulando las hoy conocidas «leyes de Mendel» de la herencia genética. Mendel, sin embargo, no logró conocer las bases moleculares de la herencia<sup>14,15</sup>, pero, a pesar de esto último, es meritoriamente considerado el «padre de la genética»<sup>16</sup>. Por la misma época se publicaron los trabajos de Johan Friedrich Miescher (1844-1895), biólogo y médico suizo, quien denominó como «nucleína» a un material aislado desde el núcleo de las células, rico en fosfatos y de carácter ácido<sup>15</sup>; de ahí, entonces, proviene el nombre «ácido nucleico». Miescher, sin embargo, no sospechó que la sustancia aislada estaba ligada a los procesos de herencia<sup>15</sup>. Se sumarían posteriormente los trabajos realizados por Hugo de Vries, Carl Correns y Erich Tschermak von Seysenegg, quienes reconocieron y difundieron el trabajo realizado previamente por Mendel<sup>14,15</sup>.

William Bateson (1861-1926) propuso hacia 1906 el término «genética» para denominar a esta nueva ciencia al alero de la biología<sup>15</sup> y luego Wilhelm Johannsen (1857-1927) propuso el término «genes» para denominar a los «factores» que Mendel había descrito previamente<sup>15</sup>. En 1910, Thomas Hunt Morgan (1866-1945) propuso que los genes se localizan en los cromosomas<sup>16</sup> y hacia 1925 Sergei Davidenkov (1880-1961) fue el primero en utilizar el término «neurogenética» en referencia al estudio de enfermedades neurológicas que presentan un patrón hereditario<sup>13,16,17</sup>.

Posteriormente, Erwin Chargaff (1905-2002), un químico austrohúngaro, postuló la presencia en el ADN de adenina y timina en iguales proporciones, esto en base al análisis del ADN de distintas especies<sup>6</sup>. Por su parte, el versátil Linus Carl Pauling (1901-1994) sugirió una estructura helicoidal para el ADN: una triple hélice, un modelo que, sin embargo, poseía algunos errores<sup>2,6</sup>.

Rosalind Else Franklin (1920-1958), quien era especialista en cristalografía de rayos X<sup>2,5,6</sup>, logró captar imágenes del ADN por difracción de rayos X, las cuales sugerían una estructura «helicoidal» del mismo. Estas investigaciones, realizadas junto a Raymond Gosling (1926-2015), fueron clave para el posterior trabajo de Watson y Crick<sup>1</sup>. En este punto también fueron cruciales los trabajos de Maurice Wilkins (1916-2004)<sup>4,8</sup>.

### Modelo de doble hélice del ADN

Hacia 1953, luego de un arduo trabajo de modelización, Watson y Crick propusieron que el ADN posee estructura de doble hélice<sup>1</sup>, cuyas cadenas («hebras») son antiparalelas y complementarias, donde la base nitrogenada adenina (A) forma dos puentes de hidrógeno con la base timina (T) y la base citosina (C) forma tres puentes con guanina (G). En la actualidad se sabe que al ADN es un polímero de nucleótidos, y que, a su vez, cada nucleótido está compuesto por un azúcar (desoxirribosa), por una base nitrogenada (adenina: «A», citosina: «C», guanina: «G» y timina: «T») y un grupo fosfato.

Este modelo de doble hélice —sencillo y elegante— fue desarrollado en pocos meses<sup>9</sup>; sin embargo, considerando los trabajos efectuados desde Mendel hasta 1953, estamos ante la «culminación» de alrededor de un siglo de investigación sobre el material genético y su estructura<sup>9</sup>. Con su fuerte poder explicativo y predictivo, el modelo de doble hélice de Watson y Crick es

deslumbrante e ingenioso, y da cuenta de cuatro propiedades generales requeridas para el material genético: primero, explica la replicación del material genético que, por su parte, es la base de la reproducción, una característica fundamental para la vida<sup>7</sup>; segundo, explica la especificidad de material genético (de los segmentos cortos de ADN conocidos como genes) y cómo éste se conserva durante la duplicación (cfr. replicación); tercero, explica el contenido de información del material genético: el ADN es una macromolécula informativa<sup>7</sup>, estructuralmente un polímero formado por una larga cadena de nucleótidos; y cuarto, explica la capacidad del material genético para cambiar, i.e., la capacidad de los genes para mutar<sup>7</sup>.

Desde su propuesta, el modelo de doble hélice publicado por Watson y Crick<sup>1</sup> ha sido confirmado por diversos estudios fisicoquímicos y de microscopía electrónica y, en su esencia, sigue siendo completamente válido<sup>7</sup>. Tanto es así que la doble hélice se ha convertido en el símbolo de las ciencias biológicas, una especie de «ícono pop» desde los años '50 hasta la actualidad, un verdadero logro cultural de la ciencia moderna<sup>7</sup>, como se profundizará más adelante.

### Aportes de la Genética al conocimiento médico y científico

El impacto de los avances de la genética en el conocimiento humano y, en particular, al conocimiento médico y científico son inconmensurables<sup>6,8,13</sup>. El modelo de doble hélice permitió comprender las bases moleculares de la herencia y, con ello, abrió el camino para el posicionamiento de la genética como factor clave en algunas enfermedades. Una muestra de ello es la comprensión de algunas enfermedades pediátricas como, por ejemplo, la distrofia muscular de Duchenne<sup>8,13</sup>.

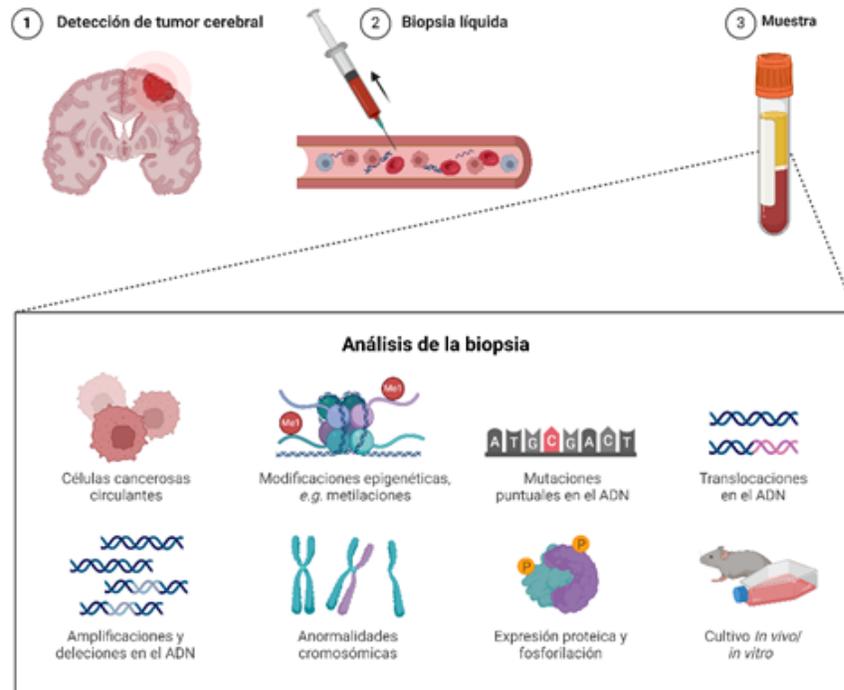
Actualmente, la secuenciación del genoma completo de un individuo tiene el potencial de proporcionar respuestas a preguntas de diagnóstico sobre la condición médica y sobre las posibles predisposiciones a condiciones no consideradas en el futuro, lo que puede tener implicaciones para otros miembros de la familia<sup>18</sup>. De este modo, el descubrimiento de la estructura del ADN ha dado sustento a los avances posteriores en la comprensión de los mecanismos que gobiernan la replicación y la expresión genética<sup>9</sup>. Como se mencionó, la propuesta de la doble hélice catalizó el desarrollo de la biología molecular, integrada hoy en día de forma casi fusionada con todas las demás disciplinas relacionadas con el estudio de los organismos vivos y con la biomedicina<sup>6,8,9</sup>. Gracias a esto se poseen métodos de exploración genética cada vez más finos, que permiten el acceso a la manipulación de moléculas biológicas únicas<sup>9</sup>. La biotecnología molecular es uno de los resultados concretos de este avance en el conocimiento, teniendo múltiples potencialidades, ya sea desde el punto de vista médico o socioeconómico<sup>6,9</sup>.

### Genética y neurociencias

Ahora bien, cabe preguntar: ¿Por qué es crucial comprender la estructura del ADN para el estudio y la investigación en neurociencias? Es pertinente partir comentando que la evolución humana se ha caracterizado por un rápido aumento del tamaño y de la complejidad del cerebro<sup>19</sup>. Siglos de estudios han generado avances en la identificación de las características anatómicas y, posteriormente, fisiológicas del cerebro. Pero, la comprensión sobre el cerebro indudablemente ha mejorado con la implementación de herramientas moleculares como la genómica comparativa, área impensable si no se hubiese conocido la estructura del material genético, lo cual ha permitido proponer diversas hipótesis en cuanto a la evolución cerebral<sup>19</sup>. La evolución del cerebro humano se basa en modificaciones genéticas que incluyen desde cambios epigenéticos (e.g., metilación del ADN, acetilación de histonas y modulaciones por micro-ARN), sustituciones de un solo nucleótido, hasta alteraciones estructurales a gran escala en el genoma<sup>19</sup>. Del mismo modo, las consecuencias funcionales de estas modificaciones genéticas varían mucho y van desde alteraciones en la secuencia de aminoácidos, hasta cambios en las regiones cis-reguladoras (i.e., en la misma cadena de ADN que los genes), la aparición de nuevos genes o la extinción de los ya existentes<sup>19</sup>.

En específico, en el campo de las neurociencias la secuenciación del genoma ha permitido la identificación de defectos genéticos que determinan desórdenes neurológicos<sup>20,21</sup>. Por ello, como parte de los aportes importantes que ha significado el conocimiento del material genético es que permite la obtención de datos empíricos y verificables y que explican el significado de la mente, más allá de explicaciones basadas en ideas o en modelos observacionales clásicos de la conducta humana y que no pueden ser del todo sostenibles en la actualidad<sup>20</sup>.

Ya hace dos décadas el propio James D. Watson destacó los avances respecto al conocimiento sobre la relación entre los genes y las patologías que afectan a la mente y el cerebro<sup>22</sup>. En su opinión, durante el siglo XXI, los psiquiatras y otros profesionales de la salud mental están siendo invitados a pensar cada vez más en los modelos animales de las enfermedades que se observan diariamente en los seres humanos y a reconocer entonces que estos modelos ayudarán en el desarrollo de nuevos fármacos y estrategias para tratarlas<sup>22</sup>. Las técnicas de biología molecular se están aplicando para mejorar la comprensión de las variaciones conductuales normales (e.g., la timidez) y también de los mecanismos de una amplia variedad de problemas de salud complejos, tales como la esquizofrenia, los trastornos del estado de ánimo y el abuso de diversas sustancias<sup>22</sup>. Por ello, los profesionales enfocados en salud mental han estado permanentemente desafiados a aprender acerca de nuevas disciplinas, tecnologías y terminologías (e.g., microarreglos, mapas de haplotipos y regiones promotoras)<sup>22</sup>, surgidas del enorme progreso de la biología molecular y del advenimiento de la genética molecular (Figura 1), permitiendo una comprensión cada vez más



**Figura 4.** La dilucidación de la estructura del ADN ha sido clave para las Neurociencias y muchas otras disciplinas. Para analizar biopsias cerebrales las tecnologías relacionadas con el ADN son fundamentales. Creada con BioRender.com

profunda del genoma<sup>6</sup>. Gracias al surgimiento de la neurogenética ha sido posible, por ejemplo, conocer específicamente los genes mendelianos, así como los loci más comunes asociados con la enfermedad de Parkinson<sup>18</sup>, entre otras patologías<sup>13,16</sup>.

Se estima que algunos trastornos psiquiátricos graves son en parte heredables, lo que se ha permitido comprobar a través de estudios observacionales —en relación a antecedentes familiares— y a la confirmación molecular<sup>23</sup>, en definitiva, algunos trastornos psiquiátricos no tendrían una base ambiental o social «pura», por lo cual hay que sumar —necesariamente— los factores genéticos<sup>24</sup>. En la esquizofrenia y el autismo, por ejemplo, el peso de la genética es, aun, mucho mayor<sup>24</sup>. Así también hay alteraciones neurológicas que cursan con un patrón de herencia familiar<sup>13,16</sup>.

Otro aporte considerable de la genética a las neurociencias se encuentra en el impacto clínico de conocer factores predictores de la respuesta de un paciente a cierto tratamiento, así como mejorar la prevención y precisar el pronóstico<sup>24</sup>.

Para las neurociencias el legado del descubrimiento la doble hélice ayudará psiquiatras, neurocientíficos, psicólogos y a los etólogos humanos a descubrir muchos secretos de la mente y el cerebro<sup>19</sup>. A pesar de ser desafiantes por su complejidad genética, las enfermedades mentales se encuentran actualmente entre las patologías más importantes a estudiar con las herramientas de la biología molecular, la genética molecular y la genómica<sup>13,16</sup>.

En la actualidad contamos con resultados notables de experimentos relacionados con la secuenciación del ADN, que aportarán datos específicos sobre el cerebro<sup>25</sup>. Gracias a los avances neurocientíficos es posible conocer que la actividad neuronal condiciona la integridad genómica de las neuronas post-mitóticas. Experimentos en ratones, por ejemplo, han determinado que el aumento de las demandas metabólicas condiciona el daño oxidativo en algunas regiones del genoma<sup>26</sup>. Esta acumulación de daño es una característica de algunos procesos neurodegenerativos<sup>26</sup>. Así también es posible confirmar que experiencias tempranas en ratones, tales como el cuidado materno, influyen en los cambios en el genoma<sup>27</sup>. Lo anterior hace pensar que el material genético no es del todo estable durante todo el tiempo, lo que puede abrir puertas para establecer técnicas de reparación en situaciones de daño neuronal por envejecimiento o trauma.

### Implicancias filosóficas y éticas

El descubrimiento del ADN, como hebras del «secreto de la vida», ha generado un impacto profundo en los ámbitos culturales, científicos y tecnológicos, así como impacto filosófico y ético<sup>13</sup>. Ahora bien, es necesario considerar que si, por una parte, el descubrimiento de la estructura molecular del ADN y las diferentes técnicas genéticas relacionadas han traído respuestas para algunas problemáticas científicas<sup>8</sup>, por otra parte, también han surgido interrogantes propias de este ámbito, al emerger nuevas tecnologías o procedimientos que poseen grandes implicancias y dilemas éticos. En específico, ha surgido la «neuroética» que viene a regular los alcances éticos del estudio del cerebro<sup>28</sup>. La manipulación genética, por ejemplo —que consiste en modificar el material hereditario de una especie— emerge como un problema bioético<sup>14,29</sup>, porque entrega al ser humano la posibilidad de afectar de forma irreversible algunos organismos vivos. De este modo el esencialismo biológico, que consiste en una corriente de pensamiento en el cual la identidad biológica de las especies reside en su estructura genética, se encuentra en debilitamiento de sus bases epistémicas. También la manipulación genética debe ser reflexionada profundamente a fin de evitar que estas tecnologías se pongan al servicio de la mejora injustificada e irresponsable de la especie humana, abriendo obscuras puertas a la búsqueda del súper humano, conllevando discriminación y eugenesia, similar a lo observado como discriminación genética en el filme de culto *Gattaca* (1997)<sup>30</sup>. Siguiendo esto, ante la exploración genética sin precedentes, se abren también las puertas a ideas anacrónicas como la «pureza racial», que de alguna forma estaba en el pensamiento de algunas doctrinas políticas, que tomaron como base las propuestas de Friedrich Nietzsche (1844-1900), quien concebía la idea de un «superhombre» (Übermensch), el cual ...ha alcanzado un estado moral superior<sup>31</sup>, pero que fue desvirtuado luego en una obscura versión racial: un «superhombre biológicamente superior».

Por otra parte, es sabido que ya era una preocupación de los filósofos presocráticos la búsqueda de la «naturaleza esencial de todas las cosas»: el «arché». En este sentido, por lo tanto, el ADN se convierte en el substrato común de todo lo vivo<sup>10</sup>. En ese espacio, el ADN engloba todo lo vivo, pero, a su vez lo diferencia. De este modo, la manipulación del material genético de las especies puede determinar y modificar el substrato común para lo vivo, convirtiéndose en el problema más importante en la discusión bioética actual. Por lo tanto, la implementación rutinaria de la secuenciación del genoma completo requiere, entonces, de una profunda reflexión y una revisión detallada de todas las implicancias bioéticas por parte de los sistemas de salud, profesionales y los propios pacientes; reflexión que también deberá darse con las revolucionarias tecnologías de edición del genoma<sup>12</sup>, que brindan a los investigadores la posibilidad creciente de modificar el ADN humano.

### El ADN como «ícono pop» y símbolo de poder

Es un tanto llamativo y, a la vez, controversial, el uso que se le ha dado a esta especie de «ícono pop» en que se ha convertido la imagen de la molécula de ADN. La misma ha sido incluida en el logotipo de organizaciones, marcas registradas, formas de alimentos, etc. Hoy en día radioemisoras, tazones, camisetas, tatuajes y tapices rememoran el ADN, se ha convertido en un símbolo iconográfico y un eslogan. La temática del ADN abunda en gran cantidad de películas<sup>30</sup> y muchas veces, en los medios de comunicación, escuchamos la frase «está en su ADN», cuando se intenta referir a una situación la cual es inherente o perteneciente a algo. Esto demuestra que, a la par del reconocimiento social, se ha producido cierta banalización de la «forma» y «sentido» del ADN<sup>10</sup> por parte de la sociedad.

El modelo de doble hélice también puede ser representativo de la competencia científica que significó la búsqueda de las bases moleculares del ADN —en el afán de encontrar el «secreto de la vida» y el poder que ello conlleva. Puede no ser simplemente una casualidad que el descubrimiento se diera entre las dos potencias científicas de postguerra más importantes de los años '50: Estados Unidos de América y Gran Bretaña, en lo que el mismo James Watson ha descrito como el «juego limpio británico» en su libro *La Doble Hélice*<sup>2</sup>. Hoy en día, a nivel global, las industrias relacionadas con la biotecnología han llegado a ser actores relevantes en el contexto mundial, constituyendo una verdadera bioeconomía<sup>32</sup>, situación en la cual dichas potencias científicas han jugado un rol relevante.

## Conclusiones

La celebración de los setenta años desde que Watson y Crick propusieron el modelo de doble hélice del ADN nos lleva a reflexionar sobre su relevancia para las neurociencias y otras disciplinas científicas. Este hito marcó el comienzo de una revolución científica que impulsó profundamente a la biología molecular, influyendo radicalmente en campos como la medicina, la ética y la filosofía<sup>10,29,33</sup>. El modelo de doble hélice proporcionó una base molecular para comprender la herencia genética y su papel en enfermedades neurológicas, abriendo nuevas perspectivas para la investigación y el tratamiento de trastornos cerebrales. La dilucidación de la estructura del ADN pavimentó el camino para adentrarnos en el mundo del genoma y desarrollar relevantes aplicaciones clínicas con este conocimiento<sup>34,35</sup>. La genética molecular, y luego la genómica, han demostrado ser fundamentales para comprender la evolución del cerebro humano y su relación con enfermedades mentales, impulsando avances significativos en neurociencias y psiquiatría. Sin embargo, el avance genético también plantea importantes interrogantes éticas y filosóficas, especialmente en torno a la manipulación genética y a sus implicaciones para la identidad humana y la bioética<sup>8,14,29</sup>. La era

postgenómica, caracterizada por avances como la edición genética<sup>12</sup> y el ADN sintético, nos enfrenta a nuevos desafíos y responsabilidades éticas que requieren una reflexión profunda y un enfoque cauteloso<sup>8,28,29</sup>. Finalmente, el legado del modelo de doble hélice del ADN va más allá de la biología molecular, impactando en múltiples aspectos de la ciencia, la sociedad y la política. A medida que avanzamos en la era postgenómica, es crucial abordar estos desafíos con responsabilidad y ética, garantizando que los avances científicos beneficien a la humanidad en su conjunto.

### Referencias bibliográficas

1. Watson JD, Crick FHC. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*. 1953; 171(4356): 737–738.
2. Watson J. *La Doble Hélice*. Madrid: Alianza Editorial; 2011.
3. Ridley M. *Francis Crick: Discoverer of the Genetic Code*. New York: Harper Collins Publishers; 2006.
4. Wilkins M. *The Third Man of the Double Helix*. Oxford: Oxford University Press; 2003.
5. Bravo MYR. Rosalind Franklin (1920-1958). *Ed Quím*. 2002; 13(3): 150–150.
6. Cortés ME. Setenta años de la doble hélice que cambió la biomedicina. *Rev Habanera Cs Méd*. 2024; 22(6): e5329.
7. Portin P. The birth and development of the DNA theory of inheritance: Sixty years since the discovery of the structure of DNA. *J Genet*. 2014; 93(1): 293–302.
8. Cortés M.E. La larga historia de la molécula del ADN: Setenta años después. *Andes Pediátrica*. 2023; 94(4): 421–424.
9. Lunardi J. Il y a cinquante ans, la double hélice donnait naissance à la biologie moléculaire. *Ann Biol Clin (Paris)*. 2003; 61(6): 623–633.
10. Valenzuela JVG. El ADN y la Filosofía. *Gac Méd Méx*. 2004; 140(2): 255–256.
11. Lander ES, Linton LM, Birren B, Nusbaum C, Zody MC, Baldwin J, et al. (International Human Genome Sequencing Consortium (IHGSC)). Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*. 2004; 431(7011): 931–945.
12. Martínez-Oliva BG. Crispr, una herramienta para editar genomas. *Gac Méd Bol*. 2020; 43(2): 179–183.
13. Cortés ME. Setenta años desde la doble hélice, veinte años desde el Proyecto Genoma Humano: Historia y avances de la Neurogenética. *Rev Ecuat Neurol*. 2023; 32(3): 13–14.
14. Santos MJ. Las cuatro letras de la vida, 50 años después. *Rev Universitaria*. 2003 80: 19–21.
15. Pardo GG. ADN: historia de un éxito científico. *Rev Colomb Filos Ciencia*. 2004; 3(11): 9–40.
16. Silva TYT, Pedroso JL, França Junior MC, Barsottini OGP. A journey through the history of Neurogenetics. *Arq Neuropsiquiatr*. 2021; 79(10): 929–932.
17. Igual MM. Sergei Davidenkov, the father of Soviet neurogenetics. *Neurosci Hist*. 2018; 6(1): 21–27.
18. Pittman A, Hardy J. Genetic analysis in Neurology: The next 10 years. *JAMA Neurol*. 2013; 70(6): 696–702.
19. Rosales-Reynoso MA, Juárez-Vázquez CI, Barros-Núñez P. Evolution and genomics of the human brain. *Neurología*. 2018; 33(4): 254–265.
20. Vallverdú J. ¿A qué filosofías ha afectado la Neurociencia? *Rev Humanid Valpo*. 2022; 20: 47–55.
21. Cuadrada EV. Genética y salud mental. *Brain*. 2020; 4: 9–15.
22. Watson J. The double helix 50 years later: Implications for psychiatry. *Am J Psychiatry*. 2003; 160(4): 614.
23. Arias B, Papiol S, de la Cruz A. La investigación en genética y sistema nervioso central. *Brain*. 2020; 4: 33–35.
24. Fernández N. Presente y futuro de la genética de los trastornos psiquiátricos. *Brain*. 2020; 4: 25–31.
25. Kebschull JM. DNA sequencing in high-throughput neuroanatomy. *J Chem Neuroanat*. 2019; 100: 101653.
26. Pollina EA, Gilliam DT, Landau AT, Lin C, Pajarillo N, Davis CP, et al. A NPAS4–NuA4 complex couples synaptic activity to DNA repair. *Nature*. 2023; 614(7949): 732–741.
27. Bedrosian TA, Quayle C, Novaresi N, Gage FH. Early life experience drives structural variation of neural genomes in mice. *Science*. 2018; 359(6382): 1395–1399
28. Figueroa G. Neuroética: Comienza el reinado de las neurociencias en la fundamentación de la ética. *Acta Bioeth*. 2022; 28(2): 183–195.
29. Yunta ER. Desafíos éticos en investigación genómica y biotecnología. Veinte años de *Acta Bioethica*. *Acta Bioeth*. 2020; 26(2): 137–145.
30. Niccol A, Hawke E, Thurman U, Arkin A, Law J, Borgnine E, Vidal G. *Gattaca*. Culver City, CA: Columbia TriStar Home Video; 1997.
31. Vallejos MG. La condición humana en Nietzsche. Una reflexión a partir de Zarathustra. *Tópicos (Méx)* 2023; 65(ene-abr): 305–340.
32. Pellerin W, Taylor DW. Measuring the biobased economy: A Canadian perspective. *Ind Biotechnol*. 2008; 4(4): 363–366.
33. Meléndez JT. Códigos de barras y esencias históricas: una crítica a la versión moderada del esencialismo biológico intrínseco. *Rev Humanid Valpo*. 2019; 14: 75–89.
34. Cruz-Coke R. El genoma humano en medicina clínica. *Rev Méd Chile*. 1989; 117(5): 573–580.
35. Herrera J. Consideraciones sobre genoma humano y terapia génica. *Rev Chil Pediatr*. 2005; 76(2): 132–138.