

Elabora un modelo de la estructura del ADN

Actividad
Materiales para el educador

DESCRIPCIÓN GENERAL

En esta actividad, los estudiantes elaboran con papel un modelo de ADN y lo utilizan para explorar características estructurales clave de la doble hélice del ADN. Esta actividad se puede utilizar para complementar el cortometraje [La doble hélice](#), que analiza parte de la evidencia que James Watson y Francis Crick utilizaron para determinar la estructura doble helicoidal del ADN.

CONCEPTOS CLAVE

- El ADN es un polímero de monómeros nucleotídicos y cada uno de ellos está formado por un fosfato, un azúcar desoxirribosa y una de cuatro bases nitrogenadas: adenina (A), timina (T), guanina (G) o citosina (C).
- Los nucleótidos del ADN forman una doble hélice con base en las reglas de complementariedad de bases.
- Los científicos construyen modelos basados en datos existentes y los utilizan para explicar y hacer predicciones sobre los sistemas naturales.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE PARA EL ESTUDIANTE

- Elaborar un modelo físico de la doble hélice del ADN.
- Utilizar un modelo de ADN para explorar y describir las características clave de la molécula.

CONOCIMIENTO PREVIO

Los estudiantes deben:

- reconocer que las formas de las moléculas dependen de la disposición de los átomos que las componen y de los enlaces químicos que las unen
- tener conocimientos básicos del proceso de replicación y de la estructura del ADN

MATERIALES

- dos copias de la hoja de nucleótidos, **impresas en cartulina gruesa**, por estudiante
- tijeras
- lápices, marcadores o crayones de colores
- regla
- acceso a las instrucciones en video (opcional, pero recomendado)

CONSEJOS DIDÁCTICOS

- Se recomienda que los estudiantes vean el cortometraje [La doble hélice](#) antes de trabajar en esta actividad. *La doble hélice* cuenta la historia de la labor científica para resolver la estructura del ADN. Mucho se ha escrito sobre el aspecto ético alrededor del reconocimiento a los científicos que participaron en la realización de este descubrimiento monumental (por ejemplo, en el libro *Rosalind Franklin: La dama oscura del ADN* de Brenda Maddox). También ha habido controversia pública sobre los comentarios de uno de los científicos, James Watson, acerca de la raza, como se analiza en [este artículo \(en inglés\) del New York Times](#). Estas cuestiones podrían formar parte del debate con los estudiantes. Es importante reconocer que los científicos son personas, sujetas a sus defectos personales y responsables por sus decisiones respecto a su conducta y ética personal.

- La “Guía del cortometraje”, que se encuentra en la [actividad para cortometrajes](#) relacionada con *La doble hélice*, tiene mucha más información acerca de la historia y del proceso científico de la determinación de la estructura del ADN. Puedes revisar este documento para obtener más información sobre el conocimiento de que se tenía a principios y mediados del siglo XX sobre la biología de los ácidos nucleicos, y para ayudar a interpretar la información presentada en la película.
- Proporciona a cada estudiante dos hojas de nucleótidos impresos (la plantilla se puede descargar [la página web de esta actividad](#)) y una secuencia específica de cuatro nucleótidos para armar.
 - Asegúrate de imprimir las hojas de nucleótidos en cartulina gruesa. El papel normal (por ejemplo, bond de 20 libras) es demasiado delgado y no sostendrá bien el modelo.
 - Como cada hoja tiene un solo nucleótido de cada tipo, cada estudiante tendrá solo dos copias de cada nucleótido para trabajar. Recuerda esto al asignar las secuencias de cuatro nucleótidos, ya que la cuenta final de cada nucleótido debe ser igual en su doble hélice.
 - Considera entregar a cada estudiante una o dos hojas adicionales por si cometen un error.
 - Si los estudiantes desean armar secuencias de nucleótidos más largas, puedes escalar el proceso de construcción fácilmente. Simplemente dales hojas adicionales de nucleótidos y pídeles que sigan las mismas instrucciones.
- Los estudiantes pueden usar las instrucciones en video para elaborar sus modelos.
 - Hay un video para cada una de las seis partes en el “Hoja de trabajo para el estudiante”. Los enlaces a los videos se encuentran en la hoja de trabajo y son los siguientes: [Parte 1](#), [Parte 2](#), [Parte 3](#), [Parte 4](#), [Parte 5](#), [Parte 6](#).
 - Las versiones de los videos para utilizar fuera de línea se pueden descargar del sitio web de BioInteractive desde esta actividad.
- En los videos y en la hoja de trabajo, los componentes de los nucleótidos se muestran en azul, rojo, amarillo y verde. Tus estudiantes pueden utilizar colores o métodos alternativos para distinguir cada componente. Por ejemplo, en lugar de usar colores, pueden rellenar algunos elementos con patrones específicos, como líneas, cuadrículas o lunares.
- Para ahorrar tiempo en el aula, los estudiantes pueden armar parte o la totalidad del modelo en casa. Los dos métodos son los siguientes:
 - Los estudiantes pueden armar sus modelos completos de cuatro nucleótidos (Partes 1 a 5 de la “Hoja de trabajo para el estudiante”) como tarea, lo que les llevará una o dos horas. Pide a los estudiantes que traigan sus modelos a clase, donde completarán la Parte 6 y las “Preguntas de análisis” del manual.
 - Los estudiantes pueden comenzar a elaborar sus modelos en casa y terminarlos en clase. Puedes pedirles que se detengan en diferentes puntos; por ejemplo, después de colorear y recortar sus nucleótidos (Parte 1) o después de armar la primera hebra de su modelo (Parte 3).
- La Parte 5 de las instrucciones para la elaboración del modelo puede ser el mayor reto para los estudiantes. Revisa con tus estudiantes este paso cuidadosamente si están armando sus modelos en clase. Si están trabajando en casa, invítalos a prestar mucha atención a la información del manual y a las instrucciones en video.
 - La forma en que los nucleótidos de la segunda hebra deben unirse puede parecer contrario a la lógica, y muchos estudiantes se equivocan la primera vez. Los estudiantes deberán entrecruzar los nucleótidos y doblar la cadena a medida que se alargue para asegurarse de que la desoxirribosa de cada nuevo nucleótido se una al fosfato del nucleótido anterior. Esto garantiza que las dos hebras sean antiparalelas e introduce el giro necesario para que el modelo adquiera forma helicoidal.

- Si se comete un error, los enlaces entre los nucleótidos se pueden deshacer fácilmente sin romperse.
- Este modelo se puede utilizar para enseñar conceptos bioquímicos adicionales que no están incluidos en el manual. Por ejemplo, tú o tus estudiantes podrían:
 - tomar nota de los átomos clave de los nucleótidos, como los átomos de carbono de la desoxirribosa, los grupos con carga del fosfato o los átomos clave de hidrógeno y nitrógeno de las bases nitrogenadas
 - identificar los átomos responsables de los enlaces fosfodiéster y los de hidrógeno
 - explorar las bases químicas de la nomenclatura 5' y 3' utilizada para describir los ácidos nucleicos
 - señalar las características estructurales de la molécula, como el surco mayor, el surco menor o el número de pares de bases por giro, que se pueden ver en los modelos largos
- Puede ser útil señalar algunas de las limitaciones del modelo, o pedir a los estudiantes que comparen y contrasten sus modelos con la estructura real o síntesis del ADN (como en la pregunta 6 del "Hoja de trabajo para el estudiante").
 - Por ejemplo, las células no sintetizan ADN de la misma manera en que los estudiantes construyeron sus modelos en esta actividad. En las células, las hebras de ADN crecen en dirección 5' a 3' extendiendo tramos existentes del ácido nucleico. En las instrucciones del modelo, la segunda hebra se construye en dirección 3' a 5', y ambas hebras están completamente construidas a partir de nucleótidos libres. Sin embargo, puedes modificar las instrucciones de elaboración del modelo para que sean lo más parecidas a la verdadera síntesis de ADN.

- El modelo puede perder su forma con el tiempo, en especial tras su manipulación o examinación. Para arreglarlo, vuelve a doblar los pliegues de cada nucleótido hasta que queden definidos.

- El modelo debe ser fácil de usar durante las presentaciones o demostraciones al colocarse en posición horizontal. Si deseas mostrarlo de manera vertical, puedes hacerlo colocando imanes o tachuelas en el interior de cada quinto anillo de desoxirribosa (como en la Figura 1a). Otra alternativa es emplear un soporte de anillos de laboratorio con anillos separados cada 13 cm para sostener la estructura y ayudar a mantener su forma (como en la Figura 1b).

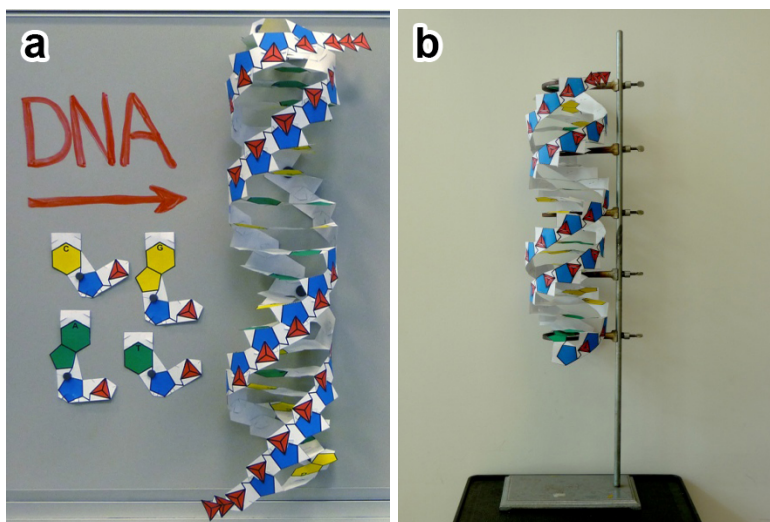


Figura 1. Presentación del modelo

RESPUESTAS PARA LA HOJA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

1. Para armar la segunda hebra del modelo, uniste las bases nitrogenadas que eran "complementarias" entre sí. ¿Cuáles son los dos pares de bases complementarias en el ADN?
A es complementaria a T y C es complementaria a G.
2. Una característica real del ADN, descubierta a partir de los datos generados por Rosalind Franklin, es que la distancia entre las dos hebras de ADN (el diámetro de la molécula de ADN) es aproximadamente la misma en toda la hélice.

- a. Utiliza una regla para medir la distancia entre las dos hebras de tu modelo de ADN en cuatro puntos cualesquiera. Anota las mediciones (redondeadas al 0.1 cm más próximo) y calcula el diámetro promedio de tu modelo.

Las respuestas variarán. Idealmente, todas las mediciones serán similares. A continuación, se muestran algunos ejemplos obtenidos midiendo la distancia entre las líneas grises punteadas de los nucleótidos apareados. Los nucleótidos se doblan a lo largo de esa línea en el Paso 1d.

Medición	Diámetro (cm)
1	15.6
2	15.5
3	15.4
4	15.4
Promedio	15.5

- b. ¿Tiene tu modelo un diámetro más o menos constante? Explica tu respuesta.

Las respuestas pueden variar. Idealmente, el modelo tendrá un diámetro más o menos constante. Los estudiantes deben señalar las mediciones que obtuvieron en la pregunta 2a.

- c. Examina la estructura de cada base nitrogenada: A, T, C y G. A continuación, registra el número de anillos cíclicos (que se muestran como pentágonos o hexágonos en el modelo).

Base	Número de anillos
A	2
T	1
C	1
G	2

- d. Con base en tus respuestas a la pregunta 2c, ¿cómo influyen las reglas de complementariedad de la pregunta 1 (reglas de apareamiento de bases) sobre el diámetro de la doble hélice?

Las reglas de complementariedad mantienen constante el diámetro de la doble hélice. Como A (2 anillos) se aparean con T (1 anillo) y G (2 anillos) se aparean con C (1 anillo), siempre hay una base de 2 anillos unida a una base de 1 anillo, por lo que el ancho de la hélice se mantiene igual en toda su longitud.

- e. Como se describe en la película *La doble hélice*, en algún momento James Watson creyó que las bases nitrogenadas se apareaban con otra del mismo tipo (adenina con adenina, citosina con citosina, etc.). Si esto fuera cierto, ¿tendría el ADN un diámetro constante? Explica tu respuesta.

No, el ADN no tendría un diámetro constante. Los pares de bases con 2 anillos (A-A, G-G) serían más anchos, y los pares de bases con 1 anillo (T-T, C-C) serían más estrechos.

3. En la película *La doble hélice* se afirma que el ADN es asimétrico, con las dos hebras dispuestas en direcciones opuestas (antiparalelas). Respaldar esta afirmación utilizando evidencia específica de tu modelo.

Ejemplo de respuesta: Una de las hebras del modelo comienza con un fosfato libre y termina con una desoxirribosa. En la otra hebra, el fosfato libre y la desoxirribosa están en extremos opuestos. Las hebras se extienden en direcciones opuestas.

4. Si muchos modelos de doble hélice, cada uno con una secuencia diferente, se separaran en sus dos hebras individuales y las hebras se mezclasen en un cajón, ¿podrías reacomodar todas las dobles hélices originales? Explica tu respuesta.

Ejemplo de respuesta: Sí, podría usar las reglas de apareamiento de bases para encontrar la secuencia complementaria de cualquier hebra. Así podría volver a unir todas las hebras complementarias.

5. Imagina que dos personas deben copiar individualmente un modelo de doble hélice existente. Cada una puede tomar una hebra del modelo, pero no pueden ver el trabajo de la otra ni comunicarse entre sí. ¿Podrían generar dos copias idénticas de ADN? ¿Cómo representaría este proceso la replicación del ADN en las células?

Ejemplo de respuesta: *Cada persona podría tomar una hebra del modelo existente y luego utilizar las reglas de apareamiento de bases para construir la hebra complementaria. Se obtendrían dos dobles hélices idénticas. En las células, el ADN de los cromosomas también se separa en dos hebras y cada hebra se utiliza como plantilla o guía para hacer una hebra complementaria. También se obtiene como resultado dos copias de la misma secuencia de ADN.*

6. Todos los modelos científicos tienen fortalezas y limitaciones. Describe tres características del ADN que están bien representadas en tu modelo y tres que no lo están.

Ejemplo de respuesta: *Tres características del ADN que están bien representadas por este modelo son su estructura antiparalela, su forma de doble hélice y su diámetro constante. Tres características que no están bien representadas son el tamaño del ADN en la vida real, el hecho de que otras moléculas (como proteínas y agua) suelen estar presentes en el ADN y el hecho de que el ADN es muy flexible y se puede comprimir con fuerza sin dañarse.*

REFERENCIAS

- Franklin, Rosalind E. and R. G. Gosling. "Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate." *Nature* 171, 4356 (1953): 740–741. <https://doi.org/10.1038/171740a0>.
- Watson, J. D. and F. H. C. Crick. "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid." *Nature* 171, 4356 (1953): 737–738. <https://doi.org/10.1038/171737a0>.
- Wilkins, M. H. F., A. R. Stokes, and H. R. Wilson. "Molecular Structure of Nucleic Acids: Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids." *Nature* 171, 4356 (1953): 738–740. <https://doi.org/10.1038/171738a0>

CRÉDITOS

Kirt Moody, PhD, Columbia College, Columbia, SC; Javier Robalino, PhD, HHMI; Mary Colvard, Cobleskill-Richmondville High School (jubilada), Nottingham, NH

Modelo impreso de ADN creado por Kirt Moody, Columbia College, Columbia, SC

Editado por Paul Beardsley, PhD, Cal Poly-Pomona; Esther Shyu, PhD, HHMI

Traducido al español por la compañía de traducción Ubiquis USA y editado por Lorena Villanueva-Almanza, PhD, Freelance Science Writer, Jamillah Echeverria, Vialux Media y Zulmarie Pérez Horta, PhD, HHMI.