

# Avanza # Biología

Modelo de ADN. Procesos macroevolutivos y microevolutivos. Ecosistemas. Función de regulación y autorregulación del organismo humano.

CABA



**Kapelusz**

CC 61080796  
ISBN 978-950-13-1334-5



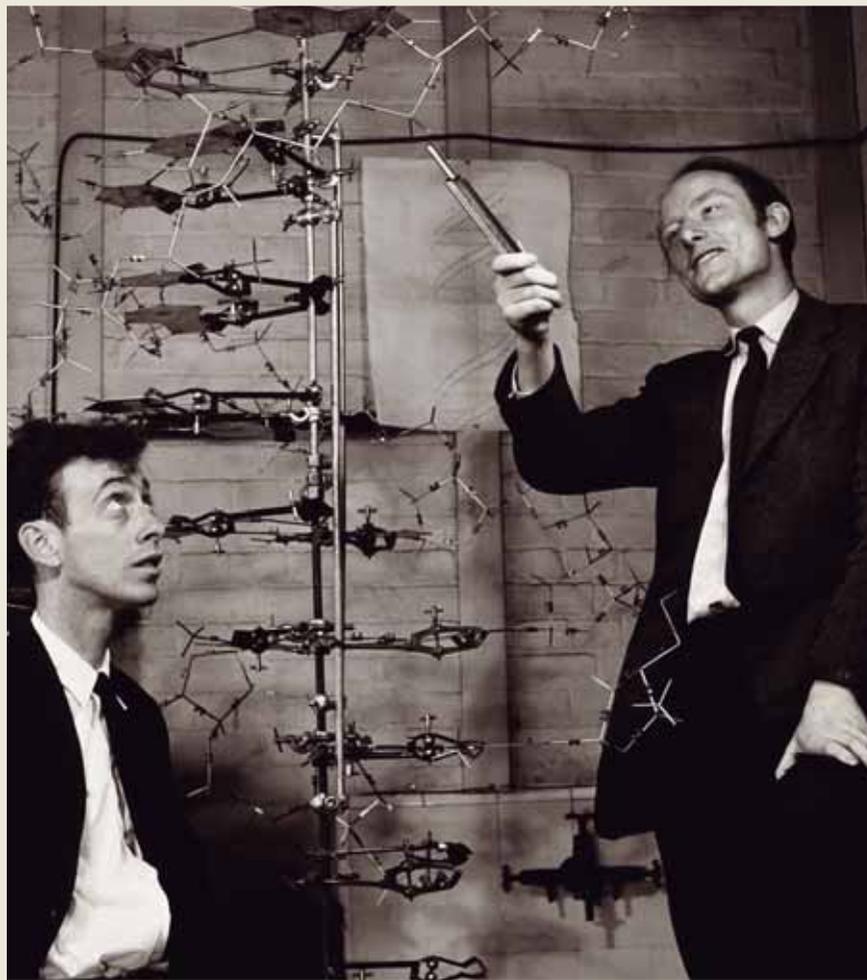
9 789501 313345



# 1

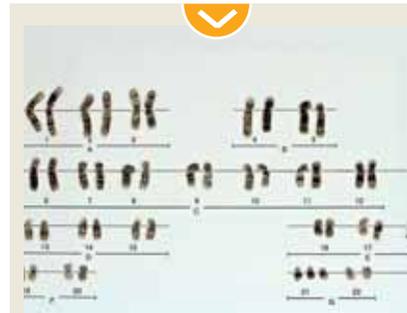
## La relación entre el ADN, los cromosomas, los genes y las proteínas

ADN

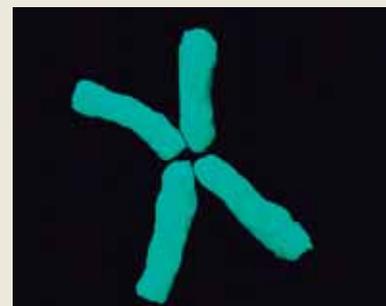


#WatsonyCrick

En 1953, James Watson y Francis Crick lograron esclarecer la estructura de la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN).



#CariotipoHumanoTrisomia21



#Cromosoma



#CélulasDividiéndose

### INGRESAR

1. ¿Qué aspectos en común observan en las diferentes imágenes?
2. ¿Dónde pueden encontrar los elementos de las imágenes?
3. ¿Qué relación encuentran entre las imágenes, la herencia y la división celular?
4. ¿Conocen quienes fueron James Watson y Francis Crick? ¿Por qué creen que su fotografía se encuentra frecuentemente en libros de Biología y en artículos de genética?

## El núcleo celular y los cromosomas

Si bien a principios del siglo XIX era sabido que la célula tenía una gran importancia en la estructura y el proceso de crecimiento de los seres vivos, no había mucha información sobre ellas, ya que los microscopios de la época no eran muy potentes. Hacia 1830, los especialistas establecieron que el desarrollo de los organismos vivos pluricelulares, como las plantas y los animales, comienza en una célula. La fecundación da lugar a un huevo o cigoto. Tras este proceso, se inicia una serie de divisiones: de la primera célula se originan dos; de estas dos, cuatro; luego ocho, y así sucesivamente hasta dar origen a un organismo que, como nuestra especie, contiene miles de millones de células que continúan dividiéndose y renovándose.

En ese entonces, era sabido también que la célula estaba formada por una sustancia de aspecto gelatinoso, que llamaron citoplasma, el cual contiene una esfera interna. Esta fue denominada núcleo por su descubridor Robert Brown (1773-1857). Fue posible reconocer su importancia para la vida cuando observaron que si el núcleo estaba dañado, un huevo fertilizado no se desarrollaba.

Sin embargo, debido a la transparencia de las células, era muy difícil observarlas al microscopio y distinguir una estructura de otra. Por esos años, los químicos lograron sintetizar nuevos materiales, entre ellos, nuevas sustancias colorantes de origen animal o vegetal. El hallazgo de colorantes sintéticos fue muy apreciado por los fabricantes de telas, pero también ayudaron a ver el interior de las células, ya que muchas estructuras celulares las absorben y se tiñen.

En 1882, el biólogo alemán Walther Flemming (1843-1905) logró desarrollar una técnica de teñido que mostró la presencia de unos pequeños cuerpos en forma de hilos en el núcleo de las células.

Debido a que estas estructuras se tiñen fácilmente, se las denominó cromatina. Flemming observó también que antes de la división celular, la cromatina se condensa, se hace más corta y ancha, y se forman los cromosomas. Asimismo, vio que estas estructuras se encuentran duplicadas en dos partes y que cada una de esas partes se distribuye en las dos nuevas células resultantes de la división celular. Este hecho constituyó una de las primeras sospechas respecto de la relación entre los cromosomas y la herencia, ya que son necesarios los juegos de cromosomas completos e idénticos a los de la célula progenitora para la supervivencia y funcionamiento de las células hijas. De hecho, se pudo observar al microscopio que los cromosomas se duplican antes de que el núcleo se divida, asegurando que las copias idénticas se repartan por igual en las células hijas. Sin embargo, Flemming no conocía los hallazgos de Mendel. Por este motivo no pudo relacionar sus observaciones con las leyes mendelianas de la herencia.

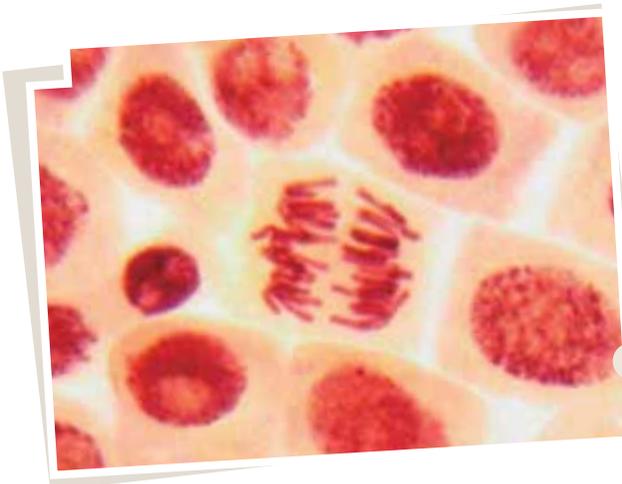
El uso de colorantes hizo posible observar la cromatina en el núcleo de las células.



Las primeras etapas del embrión conforman el estadio mórula. En la imagen, observamos una visión microscópica de la mórula del erizo de mar.



Los cromosomas se duplican antes de la división celular.



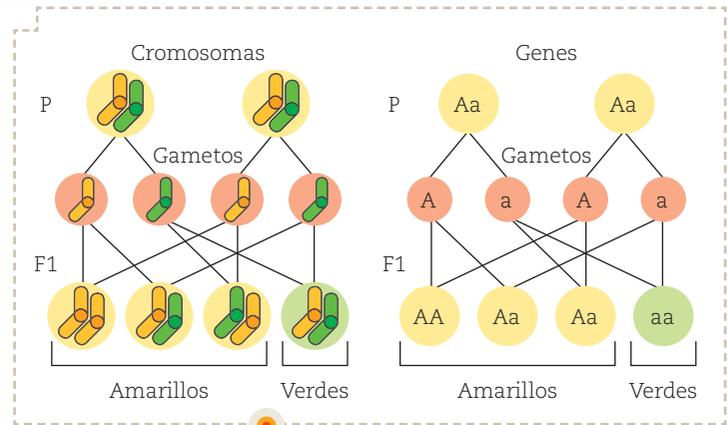
El uso de colorantes hizo posible observar la cromatina en el núcleo de las células.

## El lugar físico de los genes

Hacia 1860, Gregor Mendel (1822-1884) demostró que las características se heredan por medio de lo que denominó factores. ¿Dónde se encuentran los factores mendelianos? ¿Cuál es su composición química? Al postular sus leyes, Mendel no hizo ninguna suposición sobre estos aspectos. Fue Wilhelm Johannsen (1857-1927) quien, en 1909, desarrolló el concepto de gen para denominar dichos factores. Sin embargo, aún no se conocía su entidad física. El gen continuaba siendo una abstracción.

Mendel propuso que los factores, presentes en dos juegos en cada individuo, se separan cuando se forman los gametos y se recombinan cuando se forma el cigoto. Por ejemplo, si se cruzan variedades de plantas con flores blancas y violetas, la descendencia puede tener flores de uno u otro color, en proporciones predecibles. Cuando un mismo individuo es heterocigota, es decir, posee un factor para el color violeta y otro para el color blanco, estos se separan y pasan a gametos diferentes. Así, si comparamos el comportamiento que postuló Mendel para sus factores con el de los cromosomas durante la meiosis, división celular que da origen a los gametos, observaremos un gran paralelismo.

Tanto los cromosomas como los factores se hallan de a pares. Cada uno de estos proviene de los gametos, uno del gameto femenino y otro del masculino. Todo esto permite formular la hipótesis de que los cromosomas son los portadores de los genes (factores mendelianos) y lo que se hereda de los progenitores está presente en los cromosomas de las células sexuales (gametos). En nuestra especie, estas células son el óvulo y el espermatozoide. Fueron Walter Sutton (1877-1916), en Estados Unidos, y Theodor Boveri (1862-1915), en Alemania, quienes en 1903 vieron este paralelismo y dieron el gran salto para conectar los estudios y conocimientos sobre las células con los postulados de Mendel.



Paralelismo entre la segregación de los cromosomas en la meiosis al formarse los gametos y el comportamiento de los factores mendelianos.



Antes de la reproducción celular, el ADN duplicado se condensa y adquiere una forma de X. Cada una de las partes duplicadas formará parte de las dos células hijas.

### ACTIVIDADES



**1.** En pequeños grupos, releen las páginas 10 y 11. Luego, subrayen las ideas que consideren relevantes y justifiquen sus elecciones.

- a.** Reconozcan y enumeren los hallazgos relacionados con el núcleo celular y los cromosomas.
- b.** Escriban una lista con los aspectos principales de las leyes de Mendel.



**2.** Escriban un breve párrafo sobre cómo se llegaron a relacionar dos líneas de investigación como la cito-

logía (estudios sobre la célula) y las investigaciones sobre la herencia.



**3.** Realicen una línea de tiempo para comprender la sucesión de los hallazgos más relevantes en torno a la relación entre los cromosomas y los genes.



**4.** A partir de las actividades anteriores, realicen una presentación utilizando alguna herramienta digital, como un video o una muestra con diapositivas.

## La teoría cromosómica de la herencia

Sutton y Boveri establecieron los primeros hechos que indicaron la relación entre los genes y los cromosomas. Sin embargo, fue Thomas H. Morgan (1866-1945) quien proporcionó evidencias contundentes sobre cuál es la ubicación de los genes. En 1908, se dispuso a poner a prueba las leyes de la herencia en animales. Para ello eligió la especie *Drosophila melanogaster*, "la mosca de la fruta", y realizó cruza- mientos entre individuos con distintas características, como la forma de las alas o el color de ojos. En la mayoría de los casos, se mantuvieron las proporciones espe- radas entre los descendientes según las predicciones de las leyes de Mendel, pero en otros no ocurrió así. Estas excepciones fueron el puntapié de nuevos hallazgos.

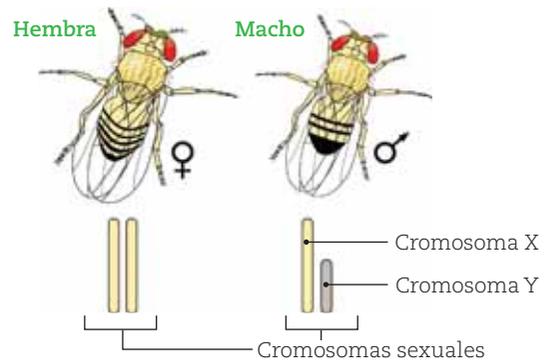
En 1910, Morgan descubrió que al cruzar machos de *Drosophila* con ojos blan- cos y hembras con ojos rojos, los ojos blancos reaparecían en la segunda genera- ción (filial 2, o F2) solo en la mitad de los machos, pero en ninguna de las hembras.

Sobre la base de estos resultados y de observaciones de los cromosomas de *Drosophila*, Morgan estableció dos hipótesis:

1. La hembra posee dos cromosomas X y el macho un cromosoma X y otro Y. Por lo tanto, el 50% de los espermatozoides contiene un cromosoma X y el otro 50% un cromosoma Y. Cuando estos gametos se unen en la fecundación con el gameto femenino, se formarán cigotos XX o XY. Por lo tanto, será el macho el que definirá el sexo del nuevo ser.
2. Los genes con información para el color de ojos en *Drosophila* se encuentran en el cromosoma X, por lo que se considera ligado al sexo.

|       |           |         |
|-------|-----------|---------|
| ♀     | $X^H$     | Y       |
| $X^H$ | $X^H X^H$ | $X^H Y$ |
| $X^h$ | $X^H X^h$ | $X^h Y$ |

Cuando se forman los gametos masculinos y femeninos, se separan los cromosomas X e Y. Estos se unen en el cigoto y dan lugar a individuos XX (hembras) o XY (machos). Si en el macho el cromosoma X porta el gen recesivo, este se expresa.



Los cromosomas sexuales de *Drosophila*. Los cromosomas X e Y se diferencian entre sí.

Los cromosomas X e Y se distinguen claramente por su forma si observamos una célula en el microscopio durante la división celular. Ya en 1905, Morgan notó que el número de cromosomas o sus tipos difieren según el sexo. En algunos animales, como las langostas, al macho le falta un cromosoma, es decir, posee un solo cromosoma sexual. En otros organismos, adquiere distintas formas, como en aves, reptiles o mariposas, en los que es la hembra la que posee dos cromosomas sexuales dife- rentes. En estos casos, se usan otros signos: ZZ para el macho y ZW para la hembra.

El sexo entonces puede ser asociado de manera concluyente a una caracte- rística visible de los cromosomas, lo cual constituye una evidencia contundente de que un carácter está determinado por "algo" presente en los cromosomas. Asimismo, la herencia ligada al sexo muestra que el gen asociado al color de ojos en *Drosophila* se encuentra en el cromosoma X.



### Grupo Biología

Ceci, Juan, Lola, Tú

¡¡¡Chicossss!!! Estuve leyendo y mirando las figuras y no entiendo la diferencia entre los experimentos de Mendel y cómo se heredan los ojos rojos y blancos. ¿No es lo mismo?

En parte, sí... Lo que pasa es que el carácter color de ojos está en el cromosoma X y los machos tienen uno solo. Por eso, si en ese cromosoma el macho tiene el alelo recesivo, se expresa siempre.



## La herencia y la transformación bacteriana

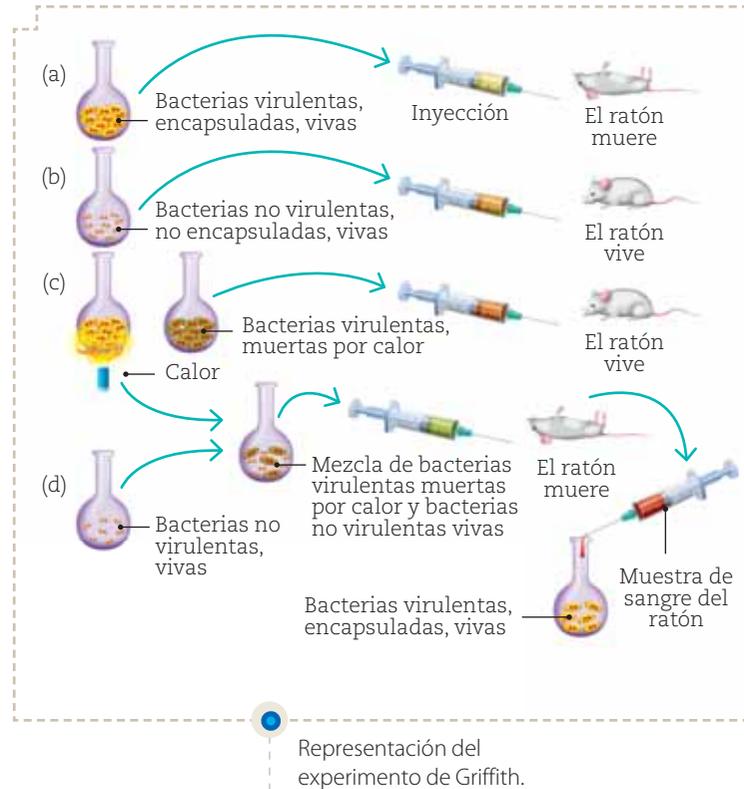
Luego de las investigaciones de Thomas Morgan, no quedaban dudas de que los genes se encuentran en los cromosomas, sin embargo, todavía falta responder: ¿cuál es su química? Una de las primeras pistas la proporcionó el estudio que llevó a cabo Frederick Griffith sobre la neumonía. Este investigador no buscaba identificar el material genético, sino que se proponía desarrollar una vacuna. Sin embargo, de manera imprevista, realizó un aporte trascendental al entendimiento de la química de la vida.

Este médico inglés estaba interesado en estudiar la bacteria que provoca la neumonía, el *Streptococcus pneumoniae*, de la que pudo aislar varias cepas. Una de ellas, a la que denominó S por su aspecto liso (del inglés *smooth*), era una cepa virulenta (porque provoca la enfermedad) y posee una cubierta de [polisacáridos](#) que le brinda esa apariencia lisa. La otra cepa que estudió no es virulenta, carece de dicha cubierta y produce colonias de aspecto rugoso. La denominó con la letra R (del inglés *rough*). Griffith inoculó ratones con cepas no virulentas, virulentas vivas y virulentas muertas por el calor. También con una mezcla de bacterias vivas no virulentas y bacterias virulentas muertas por el calor.

Como pueden observar en la imagen, el experimento dio un resultado sorprendente. Cuando Griffith inyectó en un ratón una combinación de bacterias R, inocuas, con bacterias S muertas por el calor, y por lo tanto también inocuas, el ratón, de manera inesperada, desarrolló neumonía y murió. Al tomar una muestra de sangre de este ratón muerto, encontró bacterias S ¡vivas! Estos resultados le permitieron concluir que había “algo” que había pasado desde las bacterias S muertas a las bacterias R vivas. A esa sustancia, desconocida para él, la denominó factor transformador, ya que permitió la transformación de las bacterias no virulentas en bacterias con cobertura lisa, S, virulentas. Además, ese cambio era heredable, ya que las nuevas bacterias S al reproducirse dieron origen a bacterias S, por lo que hacía suponer que se trataba del material hereditario. El desafío era entonces reconocer qué era a nivel químico ese factor transformador.

### GLOSARIO

**Polisacárido:** sustancia compleja formada por la unión química de varias moléculas de azúcares simples.



### ACTIVIDADES

**1.** Elaboren un texto, de aproximadamente una carilla, sobre las evidencias que posibilitan afirmar que los genes se ubican físicamente en los cromosomas. Incluyan una breve reflexión sobre el significado de la transformación bacteriana.

Luego, compartan sus producciones en un grupo de alguna red social. Si no tienen uno, lo pueden construir.

**2.** ¿Por qué la transformación bacteriana está relacionada con la herencia?



# La química de los genes. Las proteínas versus el ADN

A fines del siglo XIX, la bioquímica, o la química de los seres vivos, era un campo de investigación reciente. Asimismo, eran igualmente recientes los hallazgos de la también nueva rama de la investigación, la citología, o estudio de las células. Ciertas investigaciones permitieron avanzar hacia la posibilidad de detectar el funcionamiento de los procesos de la herencia.

**E**n 1869, tres años después de que Mendel publicó sus leyes, un bioquímico llamado Friedrich Miescher (1844-1945) decidió trabajar en el análisis del pus, material que, aunque repugnante, contenía muchos glóbulos blancos. Para ello, utilizó las vendas manchadas que obtuvo en un hospital de la zona.

Aplicando ciertas técnicas, logró separar los núcleos de los glóbulos blancos del resto de la célula. Cuando analizó su contenido, vio que eran particularmente ricos en fósforo, pero también tenían nitrógeno y azufre. Las proporciones de estos elementos químicos diferían de las de otros materiales biológicos. Esto le hizo suponer que había encontrado una nueva sustancia. Como procedía del núcleo, a esta sustancia la llamó nucleína, pero hoy sabemos que se trataba del ADN (ácido desoxirribonucleico).

El trabajo de Miescher no despertó ningún interés especial. Sin embargo, el citólogo Oscar Hertwig (1849-1922) había sugerido, en 1884, que la nucleína podría ser importante en la fecundación y en la transmisión de las características hereditarias. En 1895, Edmund Wilson (1856-1939) fue uno de los primeros en señalar a los cromosomas como portadores del material hereditario y especuló que, como la nucleína está asociada a la cromatina, la herencia podría ocurrir por medio de un compuesto químico que pasaría desde los padres a sus hijos.

No obstante, la mayor parte de los biólogos pensaba que si algún compuesto químico se relacionaba con la herencia, serían las proteínas. Ya hacia 1887, sabían que la cromatina consistía en ácidos nucleicos (ADN) y proteínas, aunque desconocían cuál de ellas sería la portadora de la información genética. El tema candente en ese entonces eran las proteínas. Sabían que eran moléculas de gran tamaño, muy variables y complejas. Además, que existen muchos tipos de proteínas, formadas por aminoácidos. También que las



En las décadas de 1940 y 1950, el ADN parecía no tener la complejidad suficiente como para almacenar una gran cantidad de información.

diferentes combinaciones de aminoácidos podían dar lugar a una gran diversidad de proteínas, lo que se relaciona con la diversidad de la vida. Su papel central en la vida de las células tanto en su estructura como en su función hacía pensar que eran las candidatas más probables. El ADN parecía ser en comparación muy simple: tan solo una repetición de cuatro nucleótidos. Costaba imaginar cómo podían almacenar la variabilidad genética propia del mundo vivo.

Sin embargo, en la década de 1940, se estudió la relación entre lo que se conocía de los procesos de la herencia, el ADN y las proteínas. Se vio que la cantidad de ADN es constante en cada especie, pero en los gametos es la mitad. Lo mismo ocurre con los cromosomas que, por ejemplo, en la especie humana siempre son 46 y en los gametos 23. Por el contrario, la cantidad de proteínas presentes en las células es muy variable y no tiene ninguna relación con el número de cromosomas. Eran necesarias más evidencias para zanjar esta controversia. Las bacterias de la neumonía de Griffith y el factor transformador fueron el punto de partida.



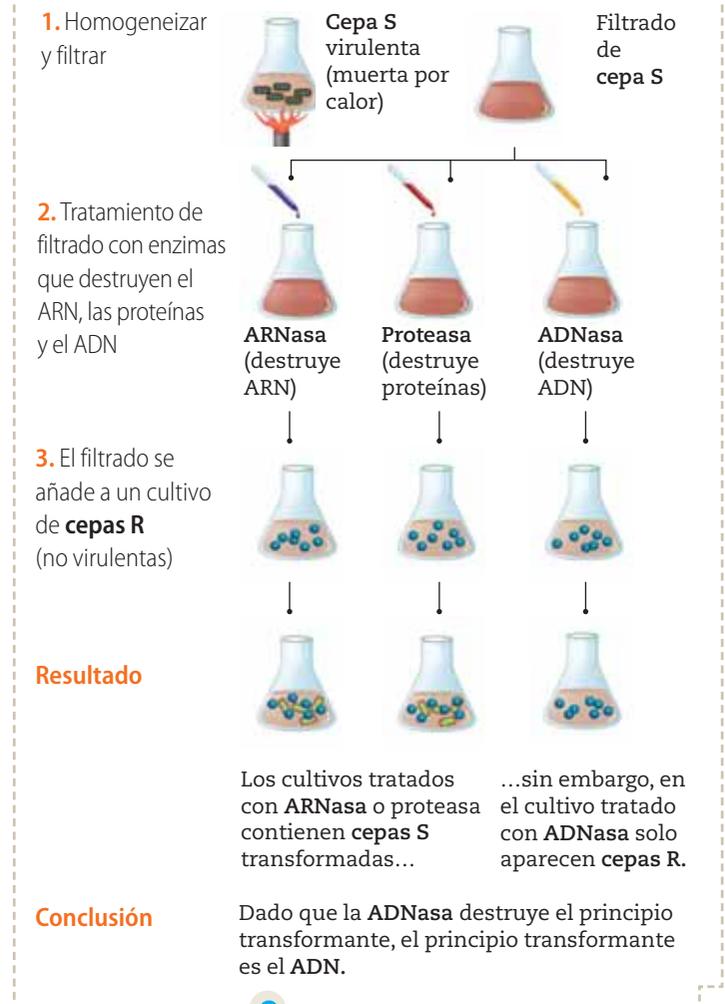
## El ADN como principio transformador

En 1940, Oswald Avery, Colin MacLeod y Macllyn McCarty retomaron los experimentos de Griffith para averiguar qué era el factor transformador. La capacidad de causar neumonía se heredaba, por lo que este equipo de investigación infirió que estaría controlada por genes. Suponían que, al morir las bacterias por el calor, liberarían alguna sustancia química con información genética, que era consumida por las bacterias vivas. Así ingresarían los genes que le confieren la posibilidad de “fabricar” la cápsula que las convertirá en patógenas. La identificación de esta sustancia transformadora equivaldría a reconocer la identidad química de los genes.

Avery y sus colaboradores aislaron los compuestos de la cepa S de neumococos, y los probaron uno por vez hasta identificar el factor transformador. A este procedimiento, lo denominamos “paso a paso”. En primer lugar, probaron con los compuestos químicos de la cápsula viscosa y observaron que no se produjo el cambio. Sin embargo, sí se producía transformación con el resto de los componentes de la célula. Por lo tanto, continuaron con cada uno de estos compuestos. Destruyeron las proteínas y el ARN, otro ácido nucleico presente en las células, dejando solo el ADN, y se produjo la transformación. Probaron al revés, y extrajeron todo el ADN dejando solo las proteínas, y no sucedió nada. Lo mismo ocurrió cuando dejaron solo el ARN. Sobre la base de estos resultados, concluyeron que el ADN era el factor transformador.

Los caminos de la genética comienzan desde este momento a confluir con los de la química. Si bien a los ojos de los conocimientos actuales, los hallazgos de Avery y sus colaboradores son contundentes para inclinar la balanza hacia el ADN, no lograron convencer a muchos biólogos.

Una de las dudas era si estos hallazgos podrían trasladarse a organismos más complejos. Un experimento por sí solo no alcanza para desterrar ideas muy arraigadas, como en este caso, la creencia en la relevancia de las proteínas.



A través de este experimento, Avery y sus colaboradores lograron develar cuál era la sustancia que tiene la propiedad de transformar las bacterias R en S

### ACTIVIDADES



1. ¿Cuál creen que es la relación entre los hallazgos de Griffith y los de Avery?
2. ¿Por qué Avery y sus colaboradores supusieron que el factor transformador tendría información genética?

3. ¿Por qué creen que el método usado por Avery y sus colaboradores se denomina “paso a paso”?
4. ¿De qué manera logran poner en evidencia que el ADN es el factor transformador y el componente químico de los genes?





## El ADN como material genético

### GLOSARIO

**Isótopos radioactivos:** son radioactivos cuando su núcleo atómico es inestable, por lo que liberan energía que puede detectarse con un contador Geiger o con una placa fotográfica.



### Grupo Biología

Ceci, Juan, Lola, Tú

Chicos, ¿yo entendí mal o Avery ya había demostrado que el ADN es el material genético?

Sí, pero no todos se convencieron. Creían que tal vez lo que encontró Avery servía solo para las bacterias y no para organismos como nosotros. Además, no parecía que el ADN tuviese la posibilidad de tener variabilidad. Pero se equivocaron.

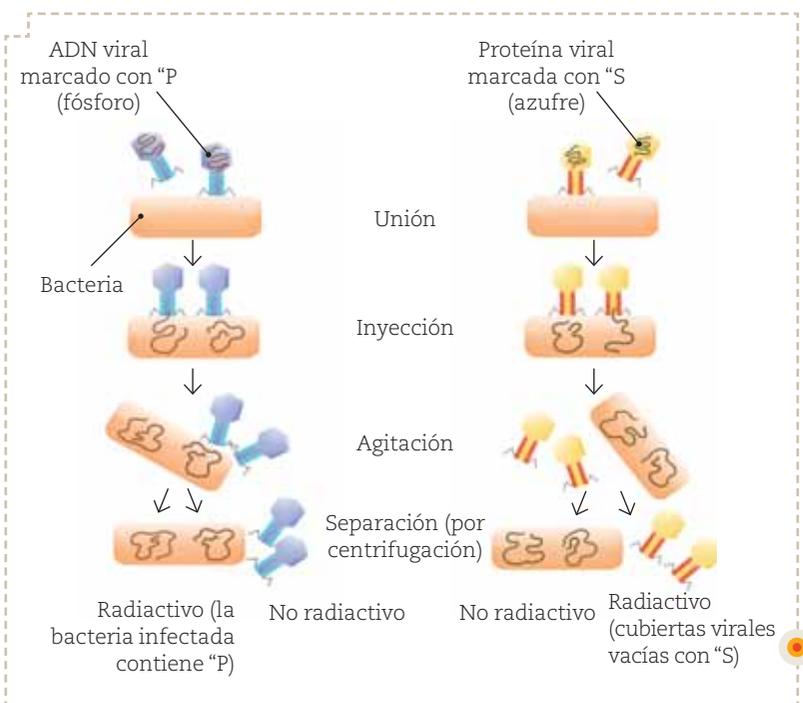
En 1952, los experimentos que realizaron Alfred Hershey (1908-1997) y Martha Chase (1927-2003) permitieron establecer que para que un virus infectara a una bacteria es fundamental la inyección de ADN. Este hecho constituyó una nueva y sólida evidencia a favor del ADN como material hereditario. En el experimento, simple y elegante, utilizaron como organismo modelo los virus bacteriófagos, que infectan a las bacterias y están formados por una envoltura de proteínas y una porción central de ADN. Estos virus son tan pequeños que no son visibles con un microscopio óptico común. Solo los podemos ver utilizando un microscopio electrónico. Cuando ingresan en las células de las bacterias, vuelcan su contenido en ellas, se convierten en parásitos que aprovechan todos sus materiales, organelas y su metabolismo para elaborar copias de sí mismos. Así se multiplican en numerosos virus bacteriófagos que se liberan de la célula bacteriana, desintegrándola y matándola.

El experimento de Hershey y Chase logró demostrar de manera fehaciente que cuando un bacteriófago infecta a una bacteria, la proteína queda afuera mientras que el ADN es el que ingresa. Para ello, usaron **isótopos radioactivos** y los elementos químicos fósforo y azufre, que emiten electrones que pueden detectarse con placas fotográficas con una sensibilidad específica o con un aparato llamado contador Geiger.

En esa época, ya se sabía que la cápsula de proteínas de los virus contiene azufre, pero no fósforo, mientras que el ADN contiene fósforo, pero no azufre. Por lo que infectaron las bacterias con proteínas marcadas con azufre radioactivo. El azufre permaneció afuera de la célula. Cuando infectaron las bacterias con virus que tenían ADN con fósforo radioactivo, observaron que este elemento químico se encontraba dentro de la célula bacteriana. El ADN había

penetrado, lo cual indicó que es la molécula que contiene la información para la reproducción de los virus y que, por lo tanto, sería el compuesto químico de los genes. Sin embargo, aún quedaba pendiente el gran desafío de establecer cómo es la estructura del ADN y de qué manera puede explicar que esta molécula sea capaz de almacenar la información genética, replicarse y transmitirla a sus descendientes. El experimento de Hershey y Chase logró demostrar que el ADN ingresa a la célula bacteriana, pero no por qué cuando la célula se destruye salen virus completos, con su cubierta proteica. Esto permite suponer que el ADN contiene información para la construcción del virus completo. Este hallazgo generó nuevas preguntas para la biología que se irían respondiendo durante los años siguientes.

Experimento de Hershey y Chase, con bacteriófagos marcados con fósforo y azufre radioactivos.



## Las conclusiones de Erwin Chargaff

En 1915, Phoebus Levene (1869-1940) descubrió que existía un azúcar de cinco carbonos al que llamó desoxirribosa. Así, logró reconocer que los componentes del ADN son:

- Un azúcar de 5 carbonos.
- Un grupo fosfato.
- Cuatro tipos distintos de unas moléculas, con forma de polígonos, formadas por átomos de carbono y nitrógeno, llamadas bases nitrogenadas: adenina, timina, guanina, citosina.

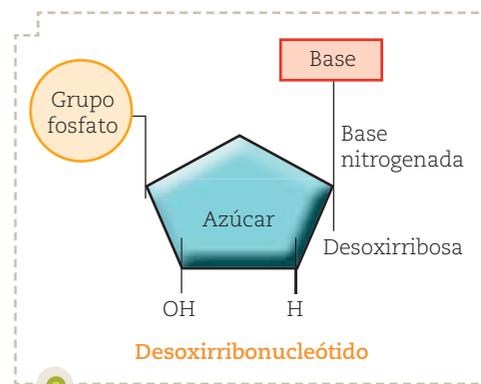
Existen dos tipos de bases nitrogenadas: las purinas y las pirimidinas. Las purinas son dobles y las pirimidinas son simples. Phoebus Levene logró reconocer la organización de estos tres componentes en un solo nucleótido: fosfato-azúcar-base.

Este científico propuso que el ADN se compone de un conjunto de nucleótidos y que existían cuatro de ellos distintos, uno por cada una de las bases. También visualizó que los fosfatos eran el esqueleto de la molécula. Sin embargo, concluyó erróneamente que las bases se encontraban en cantidades similares y que un tetranucleótido era la unidad repetitiva de la molécula. Creyó que como eran una estructura simple y repetitiva no podrían contener información genética.

A diferencia de Levene, que pensaba que el ADN era la repetición monótona de tetranucleótidos que no tenían ninguna variabilidad, Erwin Chargaff demostró que las proporciones de las bases nitrogenadas varían en las diferentes especies. Junto a un grupo de alumnos, estudió de forma exhaustiva las proporciones relativas de las purinas y pirimidinas en distintas especies de seres vivos. Los resultados mostraron que en todos los casos:

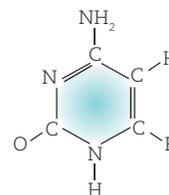
- La cantidad de adenina es igual a la de timina ( $A=T$ ) y que la cantidad de guanina es igual a la de citosina ( $G=C$ ).
- Las proporciones de las cuatro bases en la misma especie son constantes, pero varían de una especie a otra. Por ejemplo, una especie puede tener el doble de nucleótidos de timina respecto de otra.

Si bien Chargaff advirtió que estos datos (llamados reglas de Chargaff) podrían ser relevantes, no pudo encontrarles ninguna explicación. Sin embargo, fueron clave para develar el modelo de la molécula de ADN. El hecho de que la proporción de los nucleótidos varíe de una especie a otra indica que la estructura de la cadena de ADN no tendría ningún orden específico de las bases nitrogenadas. Es decir, entre una especie y otra, como un perro y un canario, pueden existir diferentes proporciones de timina, pero esta es constante en cada especie.

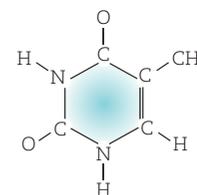


Esquema de un nucleótido. La pentosa, de color azul, varía en el ADN, que tiene desoxirribosa, mientras que el ARN tiene ribosa.

### Pirimidinas

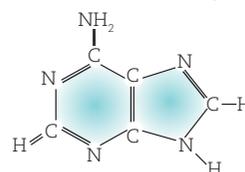


Citosina (C)

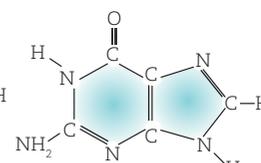


Timina (T)

### Purinas



Adenina (A)



Guanina (G)

Bases nitrogenadas que forman cada uno de los nucleótidos: las pirimidinas, con dos anillos, y las purinas, con uno.

## ACTIVIDADES



**1.** Redacten un párrafo que incluya los siguientes términos: bases nitrogenadas, purinas, pirimidinas, nucleótido, ADN.

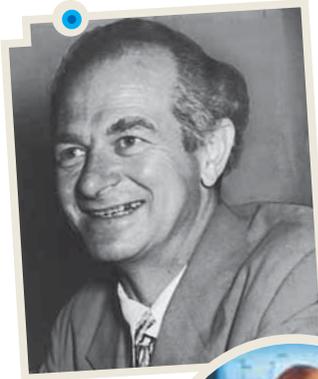


**2.** Escriban un texto donde reflexionen respecto de la relevancia de los hallazgos de Levene y Chargaff.

**3.** Considerando la experiencia de Hershey y Chase, ¿qué pueden agregar respecto de la actividad de los científicos y de los procesos de construcción del conocimiento?

## La carrera del ADN

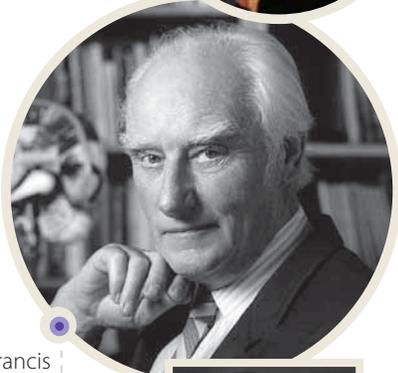
Linus Carl Pauling.



James Dewey Watson.



Francis Crick.



Maurice Wilkins.



Rosalind Franklin.



A principios de la década de 1950, cuando aún muchos bioquímicos y genetistas no tenían dimensión del significado del ADN, existían tres grupos de investigadores que trabajaban en esta molécula:

1. El químico estadounidense Linus Pauling (1901-1994), del Instituto de Tecnología de California (Caltech).
2. Francis Crick (1916-2004), físico y biólogo británico, y James Watson (1928), biólogo estadounidense, del laboratorio de Cavendish, en la Universidad de Cambridge, Inglaterra.
3. La química británica, Rosalind Franklin (1920-1958) y el físico neozelandés Maurice Wilkins (1916-2004) del King's College, de Londres.

Este último grupo estudiaba el ADN por medio de la técnica de cristalografía de rayos X, también conocida como difracción de rayos X. Estos rayos atraviesan un determinado objeto y se forma un patrón que es captado por medio de una placa fotográfica que permite interpretar cómo se ordenan los átomos en una molécula. Rosalind Franklin era una experta en esta técnica. Logró distinguir dos formas en el ADN: una forma cristalina, A; y otra hidratada, B. Obtuvo fotos de gran precisión. Una de ellas, la fotografía 51, de la forma B, tomada en mayo de 1952, constituyó un aporte crucial a la comprensión de la estructura del ADN.

Maurice Wilkins mostró esta foto a Watson y Crick, sin que Franklin lo supiera. El trabajo de Wilkins y Franklin se estancó, debido a la fuerte confrontación entre ellos y porque no concebían ampliar su investigación usando modelos moleculares.

En 1954, Linus Pauling ganó el premio Nobel por develar la estructura de las proteínas usando modelos tridimensionales. Propuso un modelo helicoidal, como el filo de un tornillo. En 1952, decidió estudiar el ADN. Solicitó fotografías de difracción del ADN al King's College, pero se las negaron, por lo que tuvo que usar fotografías de menor calidad. Sin estas valiosas imágenes concibió un modelo helicoidal, una triple hélice de tres cadenas, con los grupos fosfato hacia adentro y las bases nitrogenadas hacia afuera. El modelo era poco consistente con los datos experimentales disponibles y químicamente inviable.

Watson y Crick estaban convencidos de que lograr un modelo para el ADN era el problema más importante de genética de la época. Tuvieron la habilidad de coordinar datos de otros investigadores y no hicieron ningún experimento. Releyeron toda la literatura sobre el ADN y pensaron cómo encajar las evidencias existentes en una estructura coherente, que fueron probando usando modelos moleculares.

Estos datos incluían las fotos de difracción de rayos X. Al principio, pensaron en un modelo de tres cadenas, similar al de Pauling, pero los datos no encajaban. La foto 51 y las reglas de Chargaff ayudaron a establecer un modelo de doble hélice, como una especie de escalera caracol con las bases hacia adentro y los grupos fosfato hacia afuera.

## El modelo de Watson y Crick

Watson y Crick fueron probando diferentes estructuras en tres dimensiones, que concordaran con los datos que tenían y con las fotografías tomadas por Wilkins y Franklin. El modelo que propusieron fue una doble cadena enrollada, en la que una purina siempre se enfrenta con una pirimidina de la otra cadena. Las bases se unen entre sí por medio de un tipo de unión química llamada enlaces puente de hidrógeno. Las bases nitrogenadas, hacia adentro de la cadena, se van sucediendo una tras otra como las secuencias de letras en las palabras en un texto. La variación en la secuencia de las bases a lo largo de la cadena de ADN da lugar a distintos mensajes.

Como la única condición de la molécula es que una adenina, A, siempre se enfrente con una timina, T; y una guanina, G, con una citosina, C, las combinaciones posibles son ilimitadas. Este hecho explica cómo el ADN es capaz de almacenar la enorme variabilidad genética propia de la diversidad de la vida, ya que las bases se pueden alinear a lo largo de la cadena de una manera propia para cada especie y organismo vivo. También este aspecto del modelo coincide con los hallazgos de Erwin Chargaff, que mostraban la complementariedad de las bases, pero también que las proporciones difieren según de qué organismo se trate.

Otro dato del modelo es que las dos hélices son antiparalelas. Debido a cómo se relacionan las bases complementarias entre sí, los nucleótidos de cada cadena se ubican en posición inversa una respecto de la otra, es decir, sus direcciones son opuestas. A su vez, las bases son estructuras planas que se ubican de forma perpendicular al eje de la doble hélice. Es decir, si comparamos la doble hélice con una escalera caracol, las bases nitrogenadas serían los escalones.

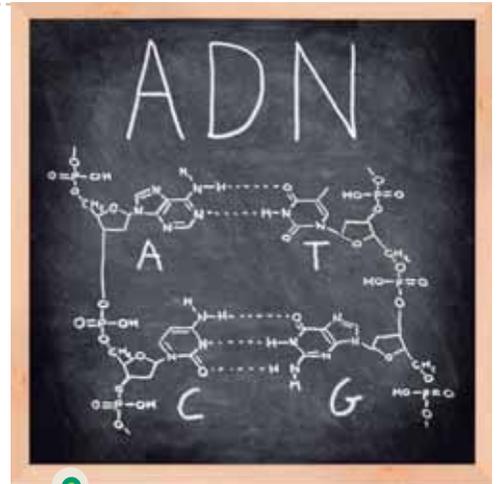
La complementariedad de las bases insinúa un posible mecanismo de replicación de la molécula de ADN. En su trabajo, Watson y Crick sugieren: *"No se nos ha escapado que este apareamiento específico, por nosotros postulado, sugiere inmediatamente la posibilidad de un mecanismo de copia del material genético"*.

El modelo de la replicación del ADN se llama semiconservativo, porque propone que las dos cadenas se separan y cada una de ellas sirve de molde para la síntesis de una cadena nueva. La cadena original se conserva, pero al quedar expuestas las bases nitrogenadas, se aparean los nucleótidos complementarios, formándose dos cadenas nuevas. Así, la cadena original se reproduce dando lugar a dos cadenas que conservan una de las hebras de ADN originales y una hebra nueva.

En 1953, Watson y Crick publicaron sus hallazgos en la revista científica *Nature*. Aunque este artículo no ocupaba más de una carilla, tuvo una enorme repercusión en el mundo de la química y de la biología, y dio lugar a la era de la genética molecular, aún en constante expansión.



Esquema de la molécula de ADN.



Relación entre nucleótidos en un tramo de una molécula de ADN, según el modelo de Watson y Crick. A: adenina; T: timina; C: citosina; G: guanina.

### ACTIVIDADES



1. ¿Cómo obtuvieron Watson y Crick los datos experimentales para hacer sus modelos moleculares?



2. ¿Qué piensan sobre la forma de obtener evidencias de Watson y Crick? ¿Hay algún aspecto que consideren poco ético? Justifiquen sus respuestas.

3. Si una hebra de ADN tiene la siguiente secuencia de bases nitrogenadas:

ATTGGCTGACCGTAA

a. ¿Cuál será su cadena complementaria? ¿Qué tuvieron en cuenta para elaborarla?

4. ¿Qué relación encuentran entre los hallazgos de Chargaff y el modelo propuesto por Watson y Crick?



# Rosalind Franklin. Una científica en un mundo de hombres

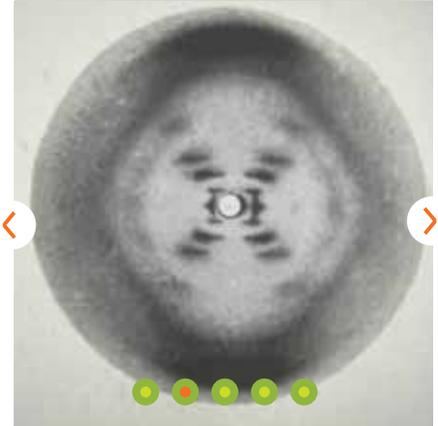
Fue una cristalógrafa destacada dentro del King's College de Londres y sus fotografías de la molécula de ADN por difracción de rayos X fueron las mejores en su tiempo. Además, ayudaron a Watson y Crick a comprender la estructura de esta molécula y, por esto, ganar el Premio Nobel en 1962.

Las imágenes de la molécula de ADN tomadas por Rosalind fueron una evidencia empírica clave para las investigaciones alrededor de su estructura, particularmente la fotografía 51 que posibilitó pensar que podría ser una doble hélice. Sin embargo, esta científica padeció de un trato discriminatorio por ser mujer.

A ella le fue difícil construir su lugar como investigadora en una sociedad en la que la mujer se encontraba relegada. Cuando estudió en el Newnham College, en la Universidad de Cambridge, donde se graduó en Física, Química y Matemáticas, no se le otorgaba título universitario de licenciatura a las mujeres, que solo podían acceder al grado de bachiller. Además, en esta universidad solo el 10% de quienes iniciaban el doctorado podían ser mujeres. A pesar de ello, esta científica brillante pudo doctorarse en Química. Se especializó en la cristalografía con rayos X y estudió la conformación tridimensional de las moléculas biológicas, en particular, del ADN. Fue con esta técnica que logró la famosa foto 51. A través de Maurice Wilkins, su compañero del King's College, la imagen llegó hasta Watson y Crick.

La contribución crucial de Franklin al esclarecimiento de la estructura del ADN permaneció en las sombras durante muchos años, sin el merecido reconocimiento. En 1958, murió, víctima de un cáncer, probablemente debido a su reiterada exposición a la radiación. Como el Nobel no se concede de manera póstuma, nunca sabremos si hubiese compartido este premio con Watson y Crick, en 1962.

Los ganadores del Nobel de Medicina en ese año, Watson, Crick y Wilkins ni siquiera la mencionaron en sus discursos ni reconocieron públicamente sus aportes al esclarecimiento de la molécula de ADN, ni sus valiosas fotografías que constituyeron una evidencia empírica clave.



Rosalind Franklin obtuvo la fotografía de difracción de rayos X que permitió revelar la estructura del ADN.

### Para ver > temas relacionados



Observen el video para conocer más sobre el ADN, el secreto de la foto 51. <https://goo.gl/KpRB2U>

Kapelusz editora S.A. Prohibida su fotocopia. (Ley 11.723)



### DEJÁ TU OPINIÓN

- ¿Por qué creés que en su momento no fueron reconocidos los aportes de Rosalind Franklin? ¿Qué opinás sobre el lugar de las mujeres en el mundo de la ciencia hoy?

Three horizontal lines for writing an opinion.



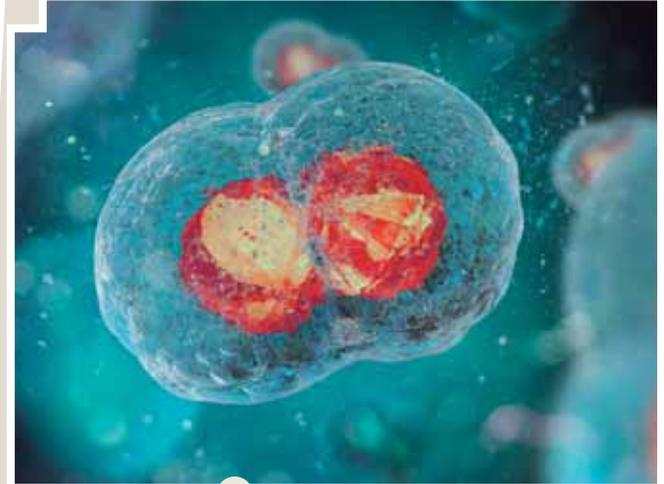
## La división celular y la autoduplicación del ADN

Rudolf Virchow (1821-1902) pudo demostrar que toda célula proviene de una anterior. Nuestro organismo se originó a partir de un cigoto, producto de la unión de un óvulo y un espermatozoide, de donde proviene cada una de las millones de células de nuestro organismo. Todas contienen la misma información genética que el cigoto inicial.

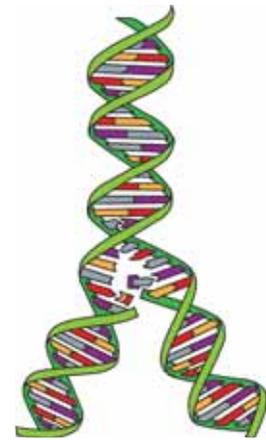
La división celular que da origen a nuevas células que son genéticamente iguales a la progenitora se denomina mitosis. Antes de dividirse, la célula duplica sus cromosomas y, por lo tanto, también el material genético. Luego de la división, los cromosomas duplicados se separan en partes iguales en cada una de las células hijas. El material genético es ADN, por lo que esta molécula debe ser capaz de producir copias idénticas. Este proceso debe ser riguroso para permitir replicar la información genética que se transmitirá a los descendientes.

El modelo de ADN propuesto por Watson y Crick explica cómo es el proceso de duplicación de la molécula. Como vieron, el apareamiento de las bases nitrogenadas complementarias entre sí, purinas y pirimidinas, se realiza por medio de un tipo de unión llamado puente de hidrógeno. Si esta unión se rompe, las cadenas dejan expuestas las bases nitrogenadas. Esto posibilita la unión de los nucleótidos complementarios y la síntesis de una nueva cadena de ADN a partir de las originales. Esta capacidad que tiene la molécula de producir copias idénticas a sí misma se denomina autoduplicación.

Al duplicarse, las cadenas de ADN se abren como un cierre a cremallera y forman lo que llamamos horquilla de replicación. Cuando esto ocurre, la enzima ADN polimerasa inicia la síntesis de la nueva cadena complementaria. Otras enzimas, llamadas helicasas, desenrollan y separan la doble hélice original. Así, las enzimas polimerasas avanzan a lo largo de las dos cadenas ensamblando los nucleótidos libres complementarios a cada hebra de ADN. Las secuencias de los nucleótidos en las nuevas cadenas son idénticas entre sí y a la molécula parental. En este punto, las moléculas son aún parte de un mismo cromosoma que se presenta duplicado. La célula se prepara para dividirse, cada una de las dos moléculas de ADN duplicado se distribuye en cada célula hija, que tendrá la misma información genética que la progenitora.



Cuando una célula se divide por mitosis, previamente se duplica su ADN. Esto dará lugar a dos células hijas, idénticas a la célula progenitora.



Autoduplicación del ADN. Cuando las cadenas de las hélices se separan, la secuencia de bases de cada una dirige la secuencia de la nueva cadena.

### ACTIVIDADES



**1.** Realicen una presentación con la herramienta PowerPoint, que señale los aspectos clave de la relación entre la división celular, la duplicación de los cromosomas y la autoduplicación de la cadena de ADN.

**2.** Expliquen por qué razón la replicación del ADN es semiconservativa y cómo se produce este proceso.



**3.** En pequeños grupos, representen la duplicación del ADN para una secuencia de nucleótidos de 20 pares de bases. Usen papeles de diferentes colores y los recursos que consideren más adecuados. Luego, compartan sus modelos con el resto de sus compañeros, demostrando por qué las dos cadenas hijas son iguales a la cadena progenitora.



## Los genes y las proteínas

### Para ver > temas relacionados



Observen el video para conocer más sobre la relevancia de la relación entre genes y proteínas.

<https://goo.gl/H8FsqP>

Las características de los organismos dependen de sus proteínas. Son el material más importante de las células. En ellas, el orden de los veinte aminoácidos que las conforman determina su estructura y sus propiedades. La secuencia de aminoácidos de las proteínas depende, a su vez, de la secuencia de nucleótidos a lo largo del ADN, es decir, de los genes que son una porción de la molécula de ADN. Por ejemplo, la raza de toros *Belgian Blue* se caracteriza por poseer una musculatura abultada, potente, en comparación con toros de otras razas. Los músculos contienen proteínas especializadas en la contracción, como la miostatina, que tiene como función regular la cantidad de células musculares. La raza *Belgian Blue* tiene una variedad de miostatina que hace que tengan más células musculares que el ganado común. Los genes relacionados con esta proteína tienen diferencias que producen este fenómeno.

## Los genes y las enzimas

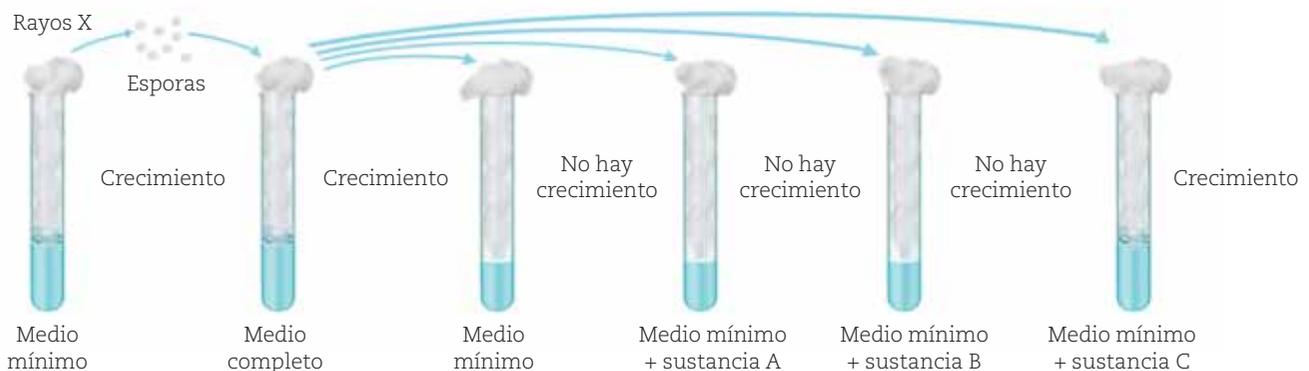
En 1940, George Beadle (1903-1989) y Edward Tatum (1909-1975), genetistas estadounidenses, demostraron la relación entre los genes y las proteínas. Para ello, usaron como organismo modelo el hongo rojizo del pan, *Neurospora crassa*, que cultivaron en tubos de ensayo que contenían un medio de cultivo muy simple, llamado medio mínimo, compuesto por unas pocas sales, azúcares y la vitamina biotina. Este hongo es capaz de sintetizar todas las moléculas complejas necesarias para sus células.

En un experimento en el que provocaron mutaciones a los hongos con rayos X, estos fueron incapaces de sobrevivir en ese medio mínimo. Por este motivo, los hicieron germinar en un medio completo, con todos los nutrientes, para obtener numerosas esporas mutantes. Beadle y Tatum pensaron que si una cepa de *Neurospora* mutante no podía elaborar alguna sustancia, como un aminoácido, esta podría continuar desarrollándose al agregar esa sustancia al medio de crecimiento. Entonces, a cada cepa mutante le agregaron una sustancia por vez para ver cuál provocaba el crecimiento. Esto puso de manifiesto que cada cepa tuvo una mutación solo en un gen y que cada gen solo afectó a una enzima, que regula la producción de la sustancia agregada. A partir de estos resultados, Beadle y Tatum postularon la hipótesis "un gen, una enzima". Posteriormente, esta idea se amplió a para incluir a todas las proteínas: "un gen, una proteína".

Chicos, entonces, ¿nuestras características dependen de nuestras proteínas? ¿Y cuál es el papel del genotipo?

El fenotipo, cómo somos, depende de nuestras proteínas. Pero cómo son las proteínas depende, a su vez, de nuestros genes.

Esquema del experimento realizado por Beadle y Tatum, con el hongo *Neurospora crassa*.



# La elaboración de modelos escolares: un modelo para el ADN

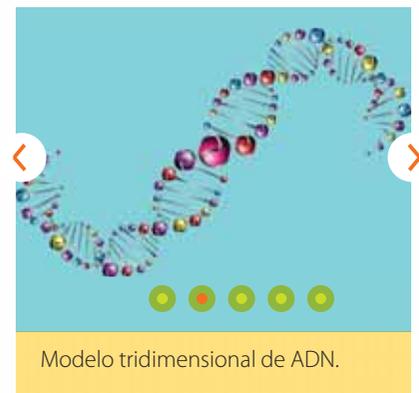
Cuando Watson y Crick vieron imágenes de cristalografía de rayos X, sobre todo la foto 51, y las vincularon con otros datos experimentales, como las reglas de Chargaff, comenzaron a imaginar cómo sería un modelo tridimensional de la molécula, tomando como referencia las evidencias con las que contaban. Por eso, para imaginar la molécula de ADN, además de lápiz y papel, usaron alambres, cartón y modelos de los azúcares, fosfatos y bases nitrogenadas hechas con estaño. Con esta información les proponemos diseñar y construir un modelo tridimensional del ADN.

## Para hacer y pensar

1. En grupos, debatan cómo usar los materiales de los que disponen para representar los distintos componentes de la molécula de ADN: desoxirribosa, fosfato, bases nitrogenadas. Reflexionen también sobre la forma de representar los enlaces.
2. Conversen sobre cómo representarán cada una de las partes de la molécula, ya sea con cartón, con plastilina o, si lo deciden, con otros materiales.
3. Rotulen cada pieza con el nombre de la sustancia que representa.
4. Organicen la tarea y listen las responsabilidades de cada integrante del grupo, tanto para el diseño como para la construcción de la molécula. No se olviden de la presentación oral ante el resto de sus compañeros.
5. Realicen un diseño antes de iniciar la construcción de la molécula.
6. Armen el modelo.

## Materiales

- Lápiz y papel.
- Plastilina de seis colores diferentes y/o trozos de cartón de seis colores distintos.
- Para simular los enlaces químicos: alambres, palitos de helado o escarbadientes.

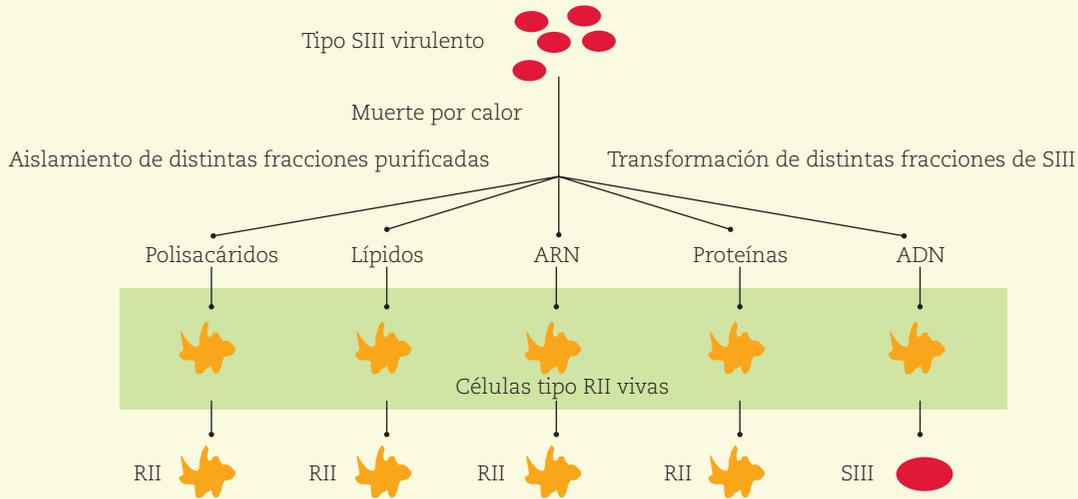


Modelo tridimensional de ADN.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. En el modelo, ¿están representadas todas las partes y características de la molécula, como distintos enlaces, enrollamiento, cadenas antiparalelas y otras características?
2. A partir de los distintos modelos construidos, reflexionen de qué manera el ADN almacena la información genética. Registren sus conclusiones.
3. Comparen los distintos modelos. ¿En qué se parecen? ¿En qué difieren? ¿Qué pueden concluir respecto de las posibilidades de variabilidad de la molécula de ADN?
4. ¿Cómo se relacionan las características del ADN con la unidad y diversidad de la vida?
5. ¿Cómo explican la duplicación de la molécula de ADN a partir del modelo que construyeron?
6. ¿Qué aprendieron sobre el ADN y sus propiedades realizando esta actividad?
7. ¿Qué dificultades se presentaron al elaborar el modelo? ¿Cómo las superaron?

1. La siguiente imagen muestra el método utilizado por Avery y sus colaboradores para identificar la naturaleza química del "factor transformador de los neumococos" en el experimento de Griffith. Describan, basándose en la imagen, cada una de las etapas desarrolladas por Avery y sus colaboradores.



2. Considerando que la molécula de ADN es estable a altas temperaturas, ¿cómo explicarían la transformación de neumococos rugosos vivos al mezclarse, en un experimento, con neumococos lisos muertos por acción del calor?

3. Relean el texto de la sección #ConCienciaCrítica y respondan.

a. ¿Cómo llegó Friedrich Miescher a aislar la nucleína? ¿Qué materiales utilizó?

b. Escriban una breve reflexión sobre cómo se relacionan las tres líneas de investigación que nacieron de modos independientes: los estudios sobre la herencia, la citología y la química de la herencia.

c. ¿Cuáles eran los argumentos por los que, a fines del siglo XIX, la mayoría de los investigadores pensaba que las proteínas eran las mejores candidatas para ser las moléculas de la herencia?

d. ¿Cuáles fueron las evidencias que comenzaron a inclinar la balanza hacia el ADN como la molécula de la herencia?

4. Expliquen cómo el experimento de Hershey y Chase logró dirimir de manera definitiva el debate sobre si la composición química de los genes es de proteínas o de ADN.

5. ¿Cuál fue la utilidad de marcar las proteínas y el ADN con azufre y con fósforo radioactivo? ¿A qué conclusión habrían llegado Hershey y Chase si hubiesen encontrado azufre radioactivo en el interior de las células de los neumococos?

6. Chargaff estudió la molécula de ADN y encontró algunas regularidades a las que les dieron el nombre de reglas de Chargaff. Explíquenlas a partir de su conocimiento de la estructura de la molécula de ADN.

7. Si la secuencia de una cadena de ADN es:  
AATTGCCGTAGCCGTAAGGCCTA

a. ¿Cuál será la secuencia de la cadena complementaria?

b. ¿Qué relación tiene este hecho con las reglas de Chargaff?

8. Describan la secuencia de acontecimientos que dan lugar a dos cadenas de ADN a partir de una única cadena progenitora. Tengan en cuenta que deben responder las siguientes preguntas.

a. ¿Por qué las tres cadenas, la progenitora y las dos descendientes, son idénticas?

b. ¿Cuál es la relación entre este hecho y la reproducción celular?

1. Vuelvan a leer las respuestas que escribieron en "Ingresar" y respondan.

a. ¿Qué cambios les harían después de estudiar el capítulo?

b. ¿Qué aprendieron en este capítulo? ¿Qué actividades les ayudaron a comprender mejor los contenidos? ¿Qué temas les resultaron más difíciles de comprender? ¿Por qué?



# # Biología

Modelo de ADN. Procesos macroevolutivos y microevolutivos. Ecosistemas. Función de regulación y autorregulación del organismo humano.

habilidades y capacidades del siglo XXI  
proyectos participativa  
colaborativos conciencia  
crítica reflexión  
modos de conocer ciencias

Avanza

  
**Kapelusz**  
#EducandoGeneraciones

[www.editorialkapelusz.com](http://www.editorialkapelusz.com)

 @kapeluszeditora

 @kapelusznormaar

 kapeluszeditora