

2.- LA INFORMACIÓN GENÉTICA



ROSALIND FRANKLIN.

ADN a la luz de los rayos X

Existen infinidad de fenómenos tan ínfimos que eluden el poder de nuestros ojos. Por eso, para mí, los ojos nunca fueron suficientes. Yo aprendí a valerme de los rayos X para explorar lo desconocido.

Me llamo Rosalind Franklin. Nací en Londres en 1920, en el seno de una familia de banqueros. Desde pequeña destacué en las ciencias así que escogí estudiar Física y Química en la Universidad de Cambridge. En un primer momento a mi padre no le hizo ninguna gracia; menos mal que una de mis tías me ayudó económicamente y pronto mi padre entró en razón: su hija iba a ser científica, le gustara o no.

En la universidad conocí al profesor William Lawrence Bragg. Años antes, él y su padre habían recibido un Nobel por desarrollar una nueva técnica que permitía utilizar rayos X para observar la distribución de los átomos en un cristal. Era complicadísima, pero abría un mundo de posibilidades que me cautivó. Con los años aprendí y practiqué el método hasta convertirme en una experta a nivel internacional. Incluso mejoré el procedimiento logrando imágenes más nítidas que nunca.

Tras tres años investigando en Francia regresé a Inglaterra en 1951. Conseguí una plaza en el King's College de Londres y comencé a trabajar aplicando mis técnicas de difracción de rayos X para observar el ADN. Una de mis fotografías resultó ser especialmente reveladora, la número 51. Mi compañero de laboratorio Maurice Wilkins, con quien nunca me entendí demasiado, se la mostró sin mi conocimiento a dos amigos suyos: James Watson y Francis Crick. Ellos llevaban años intentando esclarecer la estructura del ADN y mi fotografía les brindó una pista clave para completar su modelo y publicarlo en 1953: la estructura de doble hélice.

Mi participación no fue reconocida en aquel momento, por lo que decidí cambiar de laboratorio y centrarme en estudiar los virus hasta que fallecí en 1958 a causa de un cáncer de ovario. Cuatro años después, Watson, Crick y Wilkins compartieron un Premio Nobel por sus descubrimientos sobre el ADN. Quién sabe... si hubiese estado viva para entonces quizá mi nombre formaría parte de esa lista.

¿Qué vas a descubrir ▼

Situación de aprendizaje. Desafíos que dejan huella ▼

1. Los ácidos nucleicos

En la segunda mitad del siglo xx se conoció la estructura química de los **cromosomas**, lo que permitió comprender su papel como portadores de la información genética. Los **genes**, localizados en los cromosomas, son en realidad fragmentos de ADN, una molécula que lleva la información necesaria para que se manifieste un carácter.

El ADN es la molécula portadora de la información genética, controla la aparición de los caracteres a través de la síntesis de proteínas. Además, sus características le permiten, mediante su duplicación o replicación, transmitir esa información a las células hija.

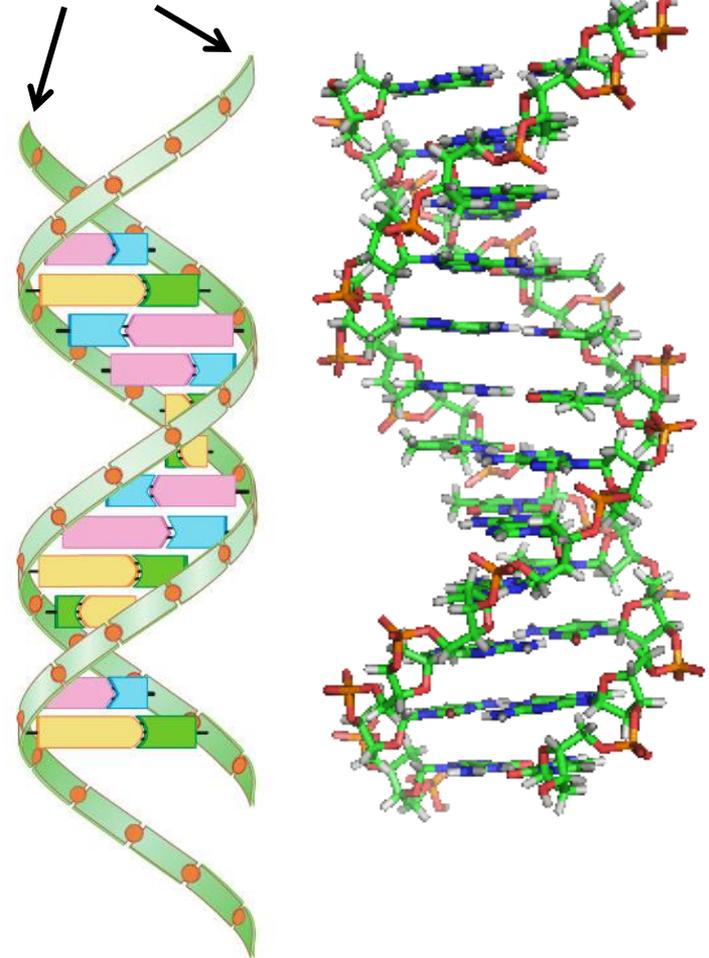
1.1

La molécula de ADN

La molécula de **ADN** es una **doble hélice** formada por dos cadenas de **nucleótidos** complementarias.

El ADN está formado por subunidades más pequeñas llamadas **nucleótidos**. A su vez, cada nucleótido se forma por la unión de un **azúcar (la desoxirribosa)**, un **grupo fosfato** y una base nitrogenada, de la que existen cuatro tipos diferentes: **adenina (A)**, **timina (T)**, **citosina (C)** y **guanina (G)**. Los nucleótidos se unen entre sí, mediante un enlace entre el grupo fosfato de un nucleótido y el azúcar del nucleótido siguiente.

2 cadenas de nucleótidos



La doble hélice de ADN

1.1

La molécula de ADN

La molécula de **ADN** es una **doble hélice** formada por dos cadenas de **nucleótidos** complementarias.

El ADN está formado por subunidades más pequeñas llamadas **nucleótidos**. A su vez, cada nucleótido se forma por la unión de un **azúcar (la desoxirribosa)**, un **grupo fosfato** y una base nitrogenada, de la que existen cuatro tipos diferentes: **adenina (A)**, **timina (T)**, **citocina (C)** y **guanina (G)**. Los nucleótidos se unen entre sí, mediante un enlace entre el grupo fosfato de un nucleótido y el azúcar del nucleótido siguiente.

Bases púricas

Adenina (A)

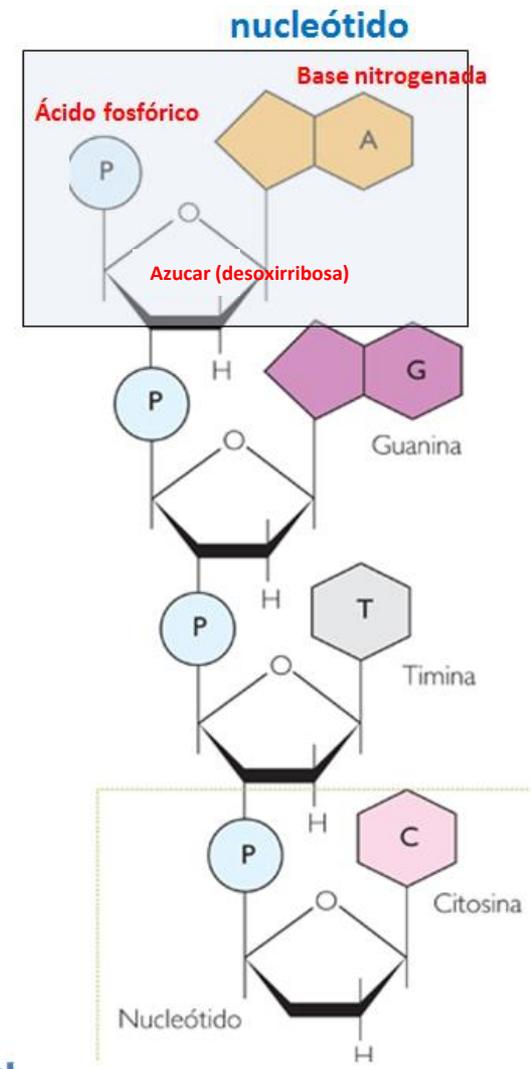
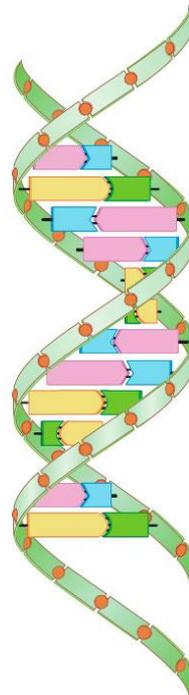
Guanina (G)

Bases pirimidínicas

Timina (T)

Citosina (C)

Uracilo (U)

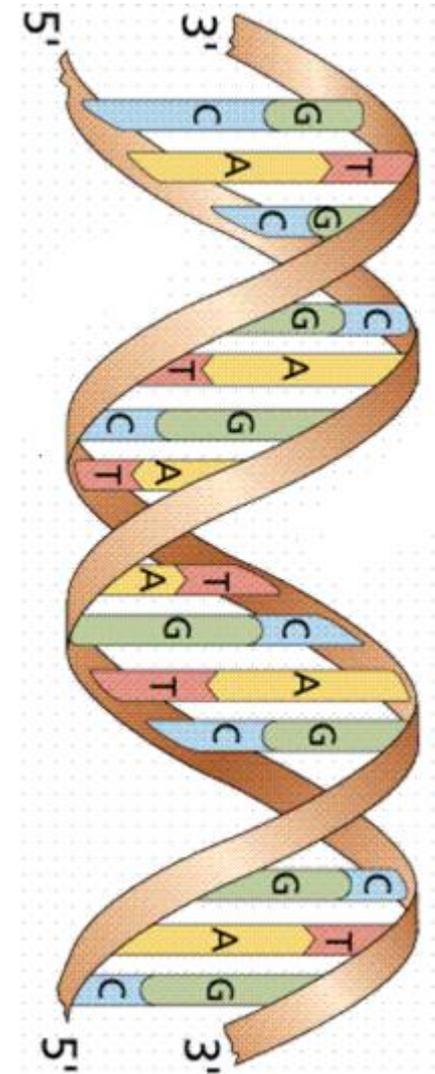
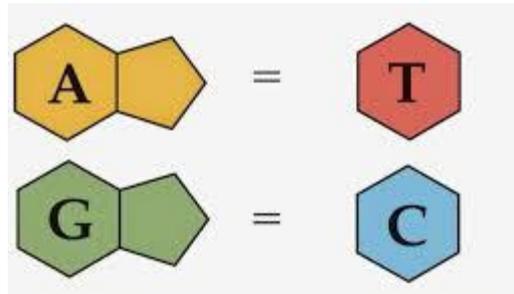


Cadena de nucleótidos en el ADN

El modelo de la doble hélice

En 1953, Francis Crick y James Watson, apoyándose en trabajos de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins, propusieron un modelo de estructura del ADN. Según este modelo:

- La molécula de ADN está formada por **dos cadenas de nucleótidos** enrolladas en forma de hélice.
- Las **bases nitrogenadas** se sitúan hacia el **interior de la hélice** y los **azúcares** y los **grupos fosfato** forman el **esqueleto**.
- Ambas cadenas se mantienen unidas mediante **enlaces débiles** que se establecen entre las bases de los nucleótidos.
- Las bases nitrogenadas no se unen de forma aleatoria, la timina se une con la adenina, y la citosina, con la guanina. Debido a ello, **las cadenas son complementarias**; es decir, la sucesión de bases de una cadena de nucleótidos determina la sucesión de bases en la otra cadena. Esta complementariedad es la base para la replicación del ADN.

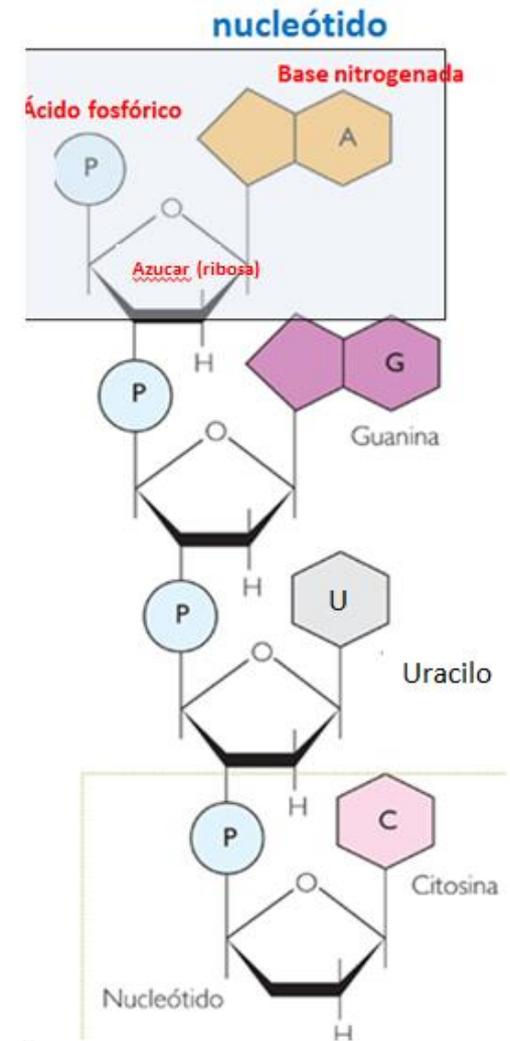


1.2

La molécula de ARN

El ARN es un ácido nucleico cuyas principales características son:

- Es **monocatenario**, es decir, no forma dobles cadenas como el ADN salvo en algunos tipos de virus como los reovirus.
- También está constituido por **nucleótidos**. Cada uno de ellos está formado por la unión de un **azúcar** (la ribosa), un **grupo fosfato** y una base nitrogenada que puede ser **adenina (A)**, **uracilo (U)**, **guanina (G)** o **citosa (C)**.
- Las hebras de ARN son de **menor tamaño** porque tienen menor número de nucleótidos.
- Su **estructura tridimensional** puede ser muy compleja, ya que a menudo forma plegamientos y uniones entre regiones distintas de una misma molécula.
- Existen distintos tipos de ARN con diferentes funciones:
 - El **ARN mensajero (ARNm)**: es un ARN que se sintetiza en el núcleo a partir del ADN y lleva la información para fabricar proteínas en el citoplasma.
 - El **ARN ribosómico (ARNr)**: está formado por moléculas de distintos tamaños que forman la estructura de los ribosomas.
 - EL **ARN transferente (ARNt)**: interviene en la síntesis de proteínas al transportar los aminoácidos hasta los ribosomas.



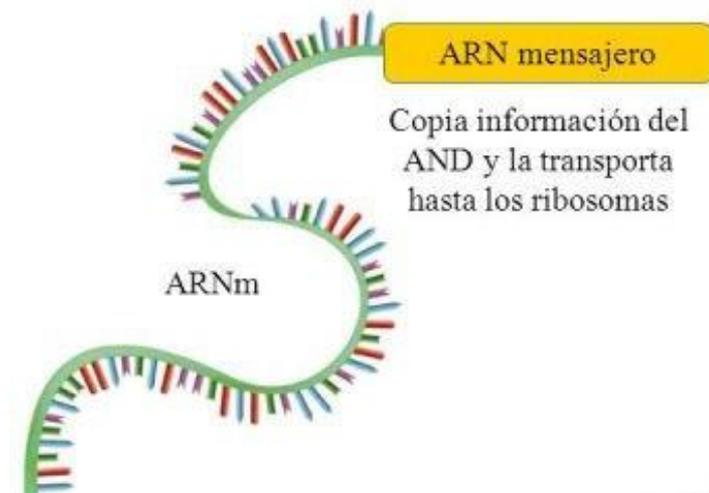
Cadena de nucleótidos en el ARN

1.2

La molécula de ARN

El ARN es un ácido nucleico cuyas principales características son:

- Es **monocatenario**, es decir, no forma dobles cadenas como el ADN salvo en algunos tipos de virus como los reovirus.
- También está constituido por **nucleótidos**. Cada uno de ellos está formado por la unión de un **azúcar** (la ribosa), un **grupo fosfato** y una base nitrogenada que puede ser **adenina (A)**, **uracilo (U)**, **guanina (G)** o **citocina (C)**.
- Las hebras de ARN son de **menor tamaño** porque tienen menor número de nucleótidos.
- Su **estructura tridimensional** puede ser muy compleja, ya que a menudo forma plegamientos y uniones entre regiones distintas de una misma molécula.
- Existen distintos tipos de ARN con diferentes funciones:
 - El **ARN mensajero** (ARNm): es un ARN que se sintetiza en el núcleo a partir del ADN y lleva la información para fabricar proteínas en el citoplasma.



1.2

La molécula de ARN

El ARN es un ácido nucleico cuyas principales características son:

- Es **monocatenario**, es decir, no forma dobles cadenas como el ADN salvo en algunos tipos de virus como los reovirus.
- También está constituido por **nucleótidos**. Cada uno de ellos está formado por la unión de un **azúcar** (la ribosa), un **grupo fosfato** y una base nitrogenada que puede ser **adenina (A)**, **uracilo (U)**, **guanina (G)** o **citocina (C)**.
- Las hebras de ARN son de **menor tamaño** porque tienen menor número de nucleótidos.
- Su **estructura tridimensional** puede ser muy compleja, ya que a menudo forma plegamientos y uniones entre regiones distintas de una misma molécula.
- Existen distintos tipos de ARN con diferentes funciones:
 - El **ARN mensajero** (ARNm): es un ARN que se sintetiza en el núcleo a partir del ADN y lleva la información para fabricar proteínas en el citoplasma.
 - El **ARN ribosómico** (ARNr): está formado por moléculas de distintos tamaños que forman la estructura de los ribosomas.



1.2

La molécula de ARN

El ARN es un ácido nucleico cuyas principales características son:

- Es **monocatenario**, es decir, no forma dobles cadenas como el ADN salvo en algunos tipos de virus como los reovirus.
- También está constituido por **nucleótidos**. Cada uno de ellos está formado por la unión de un **azúcar** (la ribosa), un **grupo fosfato** y una base nitrogenada que puede ser **adenina (A)**, **uracilo (U)**, **guanina (G)** o **citocina (C)**.
- Las hebras de ARN son de **menor tamaño** porque tienen menor número de nucleótidos.
- Su **estructura tridimensional** puede ser muy compleja, ya que a menudo forma plegamientos y uniones entre regiones distintas de una misma molécula.
- Existen distintos tipos de ARN con diferentes funciones:
 - El **ARN mensajero** (ARNm): es un ARN que se sintetiza en el núcleo a partir del ADN y lleva la información para fabricar proteínas en el citoplasma.
 - El **ARN ribosómico** (ARNr): está formado por moléculas de distintos tamaños que forman la estructura de los ribosomas.
 - EL **ARN transferente** (ARNt): interviene en la síntesis de proteínas al transportar los aminoácidos hasta los ribosomas.

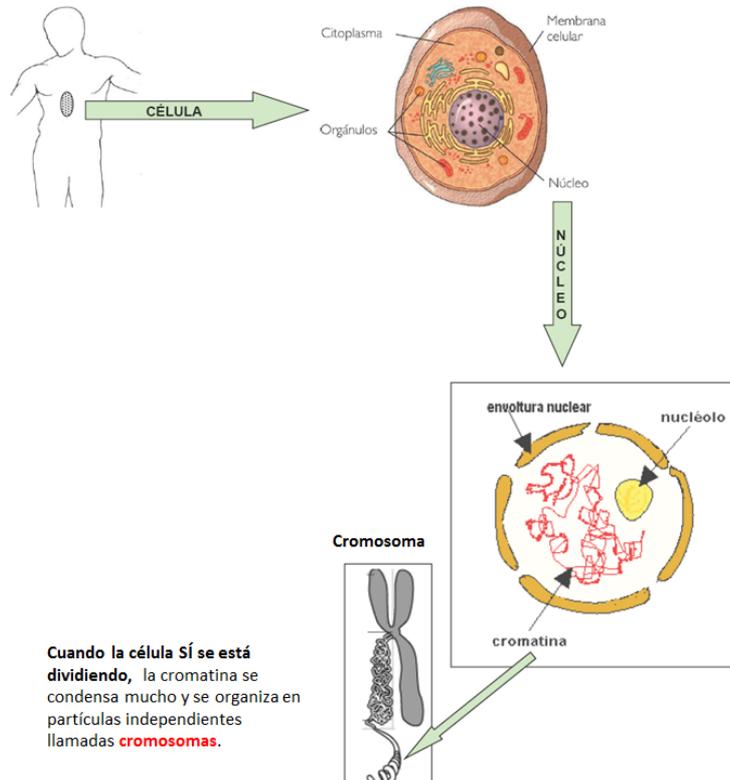


1.3

Los cromosomas

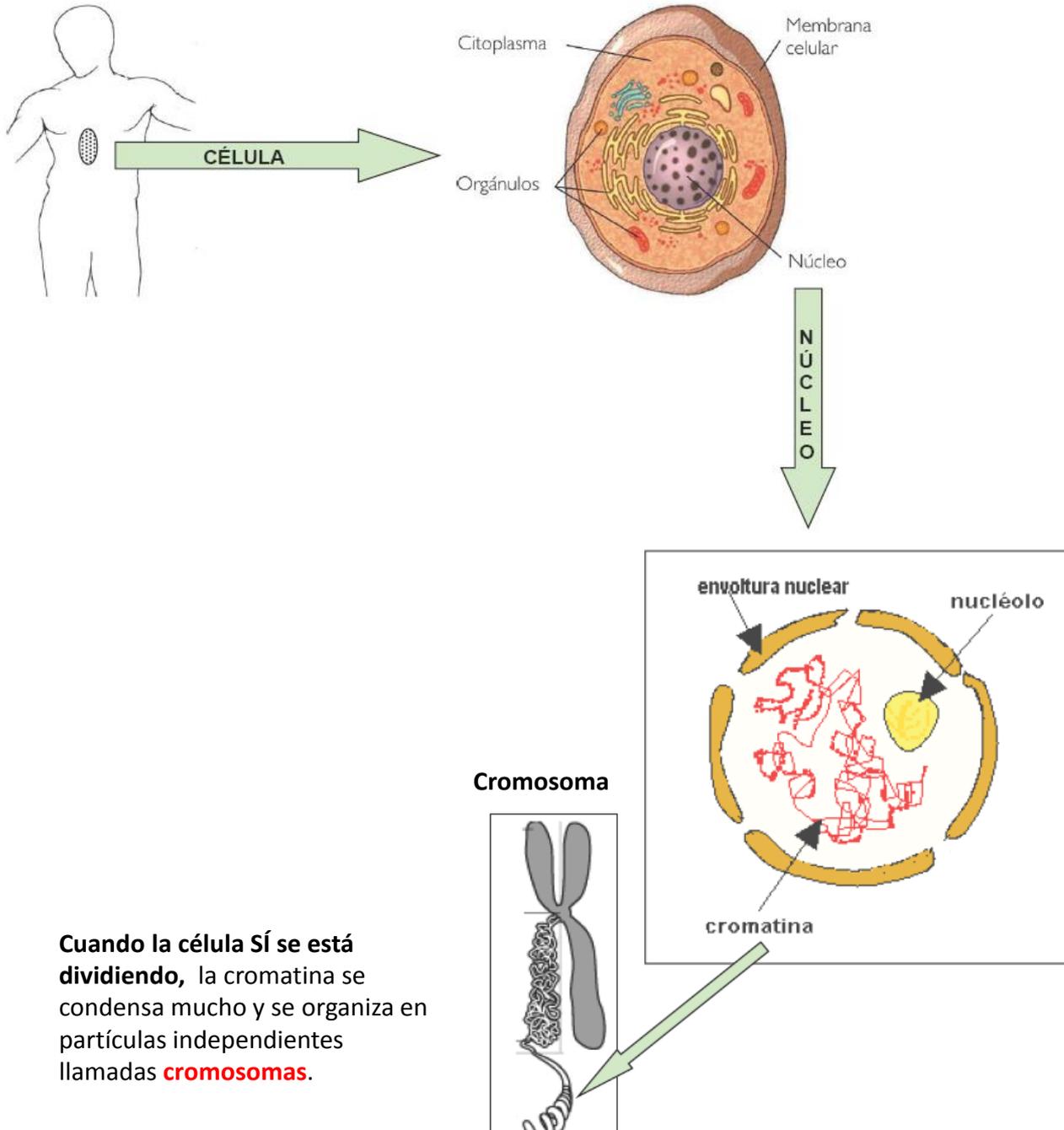
Los **cromosomas** son estructuras formadas por la condensación del ADN y proteínas, llamadas **histonas**, que aparecen cuando la célula se va a dividir.

En los organismos eucariotas, el genoma está formado por varias cadenas distintas de ADN. Durante la división celular, cada una de estas moléculas de ADN se empaqueta y enrolla sobre sí misma hasta dar lugar a un cromosoma.



Quando la célula **SÍ** se está **dividiendo**, la cromatina se condensa mucho y se organiza en partículas independientes llamadas **cromosomas**.

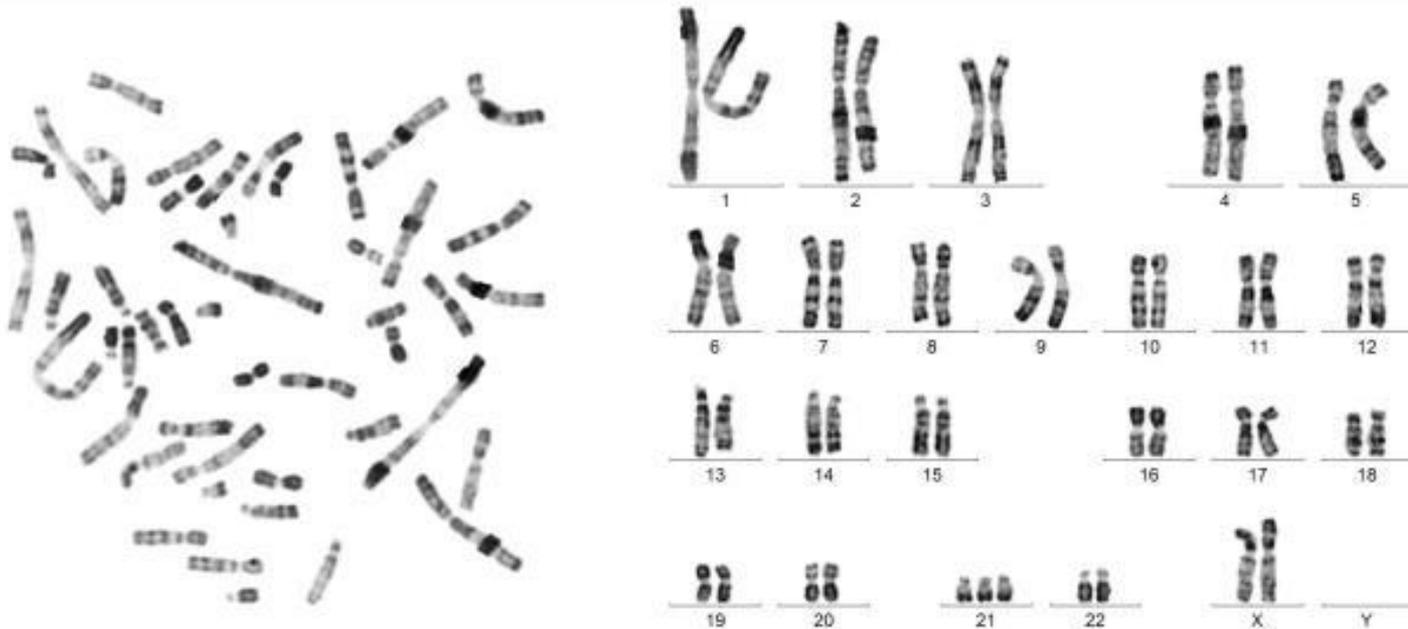
Quando la célula **NO** se está **dividiendo** (está en **interfase**) el material genético, el **ADN**, se encuentra asociado a unas proteínas llamadas **histonas** formando la **cromatina**.



Quando la célula **NO** se está dividiendo (está en interfase) el material genético, el **ADN**, se encuentra asociado a unas proteínas llamadas **histonas** formando la **cromatina**.

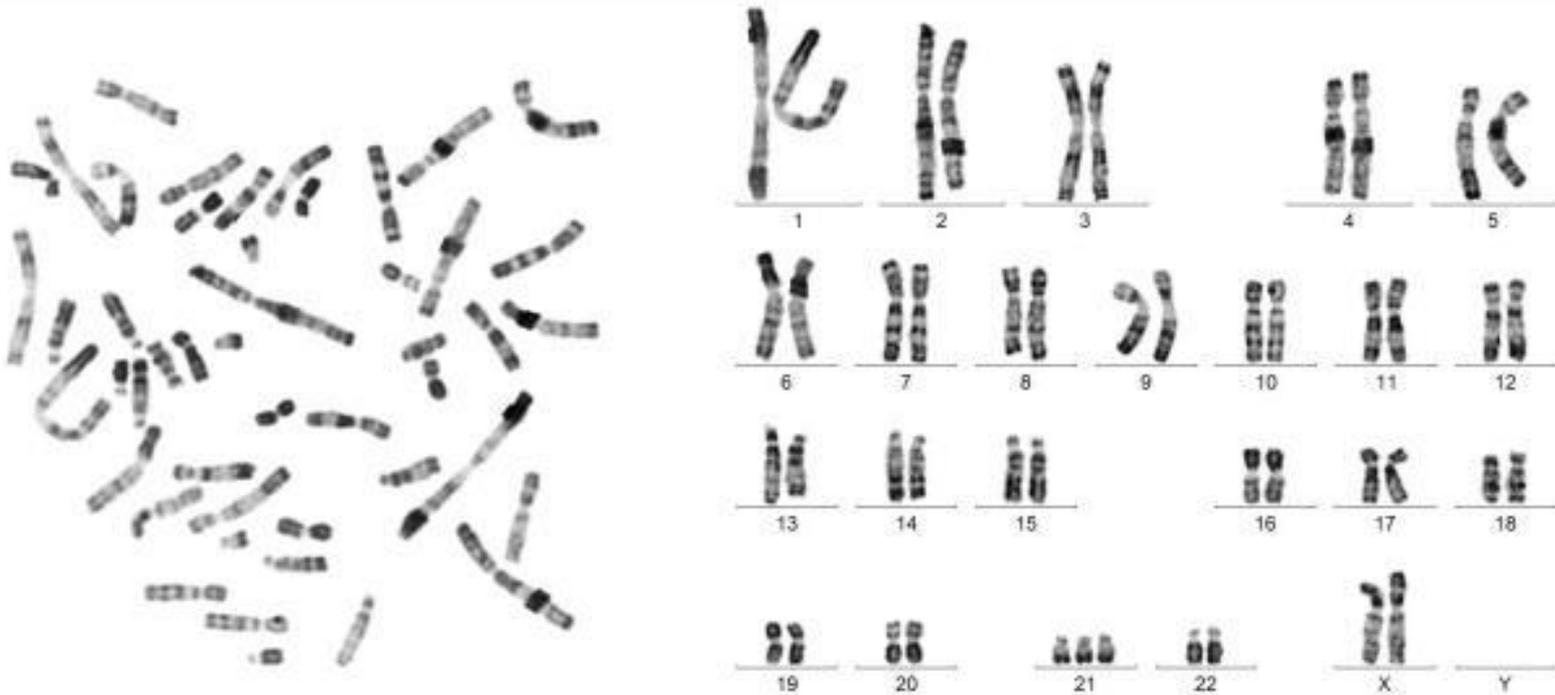
Quando la célula **SÍ** se está dividiendo, la cromatina se condensa mucho y se organiza en partículas independientes llamadas **cromosomas**.

- **Todas las células de los individuos de una misma especie tienen el mismo número de cromosomas.** También son constantes la forma y el tamaño de cada uno. Así, los mosquitos de la especie *Aedes aegypti* tienen 6 cromosomas; la mosca *Drosophila melanogaster*, 8; el ser humano, 46; el perro, 78; cierta especie de helecho, más de 500.
- En la dotación cromosómica de la **mayoría de las células se distinguen dos series o parejas de cromosomas.** A los cromosomas de cada pareja se los llama cromosomas **homólogos**.



Cada una de las células de un ser humano tiene 46 cromosomas, dispuestos en parejas, es decir, hay 23 parejas de cromosomas homólogos.

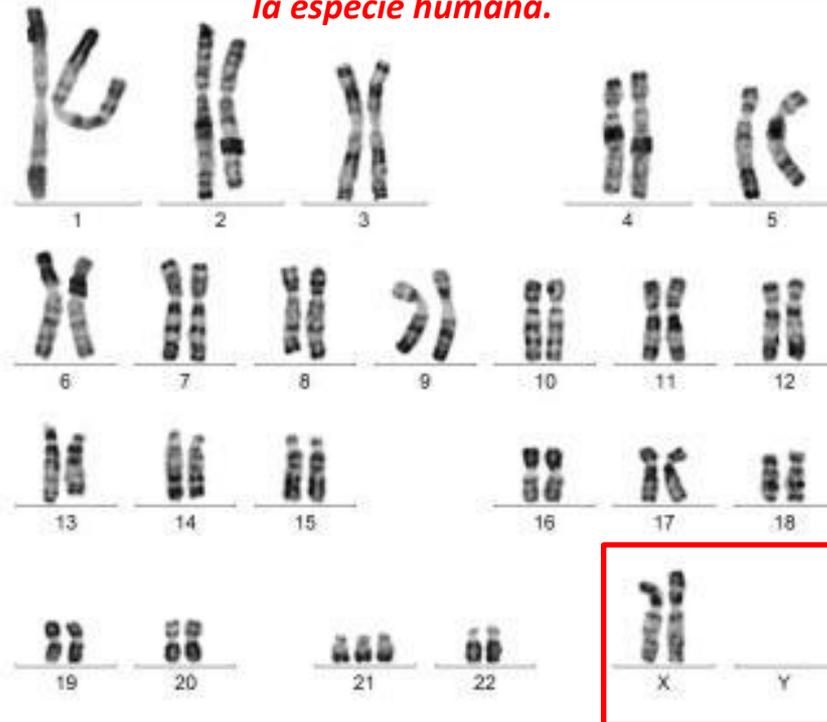
Al número de parejas de cromosomas que tiene una especie se lo conoce como número **haploide (n)**, y al número total de cromosomas, considerando las dos series, se lo conoce como número **diploide (2n)**. A los organismos que cumplen esta condición se los llama diploides. Esto sucede, por ejemplo, en todos los seres vivos del reino animal. Existen otros seres vivos que son haploides y hay otros que son poliploides y tienen 3n, 4n, o más cromosomas.



En la especie humana $2n = 46$, hay 23 parejas de cromosomas homólogos, es por tanto una especie diploide.

En muchas especies, las células de los individuos de un determinado sexo tienen una pareja de cromosomas que no son homólogos. Son los **cromosomas sexuales**. Al resto de cromosomas de la célula se los llama **autosomas**. En estos seres vivos, el sexo del organismo viene determinado por los cromosomas sexuales. Así, por ejemplo, las células de un perro (78 cromosomas) se encuentran en dos series **n = 39**. De ellos, **38 pares** son autosomas y **1 par** se corresponde con los cromosomas sexuales, siendo X e Y, en el caso de los machos, y dos cromosomas X, en el caso de las hembras.

44 autosomas (22 pares) de la especie humana.

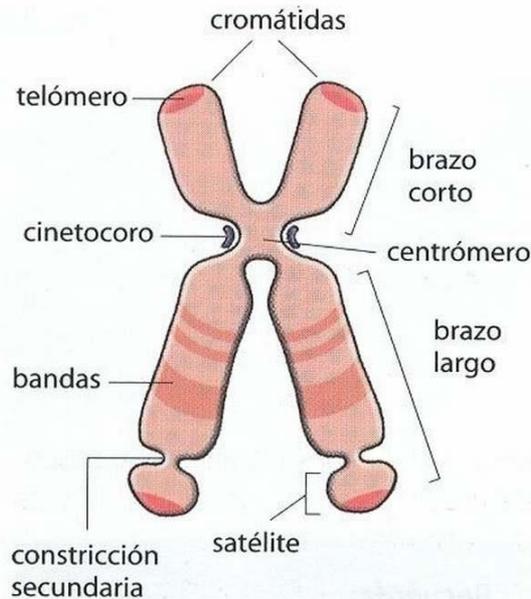


2 cromosomas sexuales (1 par) de la especie humana.

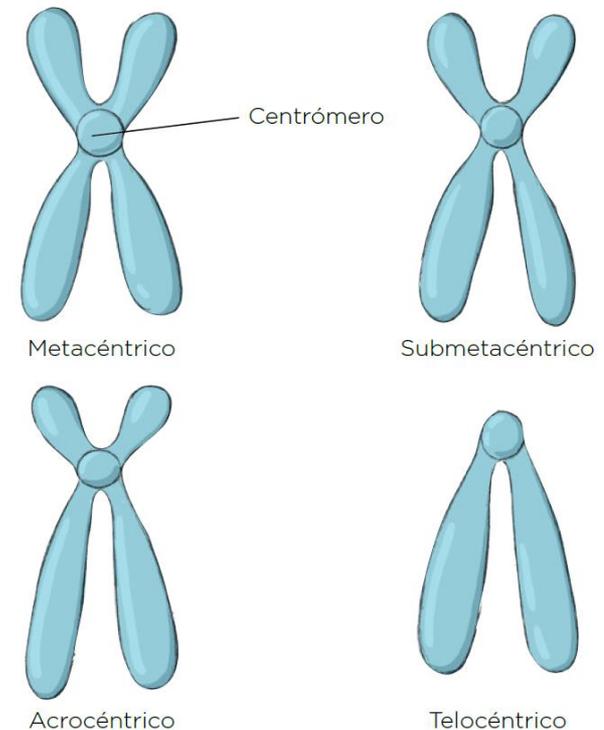
Los tipos de cromosomas

Los cromosomas se clasifican en función de la posición del centrómero con respecto a los brazos.

- **Metacéntricos.** El centrómero se encuentra situado en la parte media del cromosoma. Los brazos tienen prácticamente la misma longitud.
- **Submetacéntricos.** El centrómero está desplazado hacia uno de los lados. Los brazos son ligeramente desiguales.
- **Acrocéntricos.** El centrómero está muy desplazado hacia uno de los extremos del cromosoma, lo que hace que los brazos sean muy desiguales.
- **Telocéntricos.** El centrómero se localiza en uno de los extremos del cromosoma, por lo que solo es visible un brazo.



Partes de un cromosoma

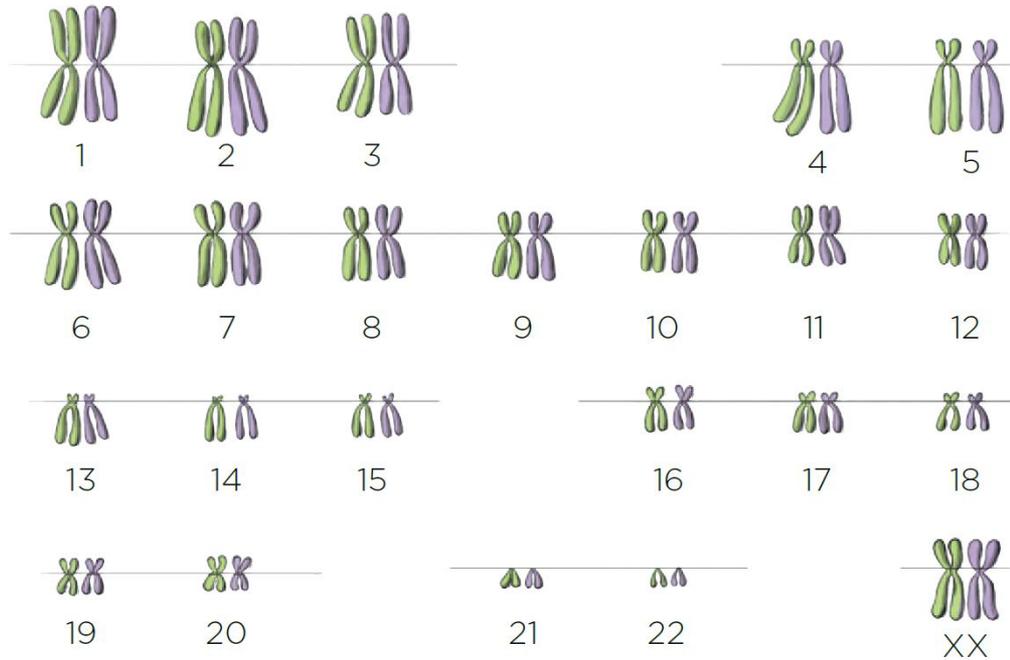


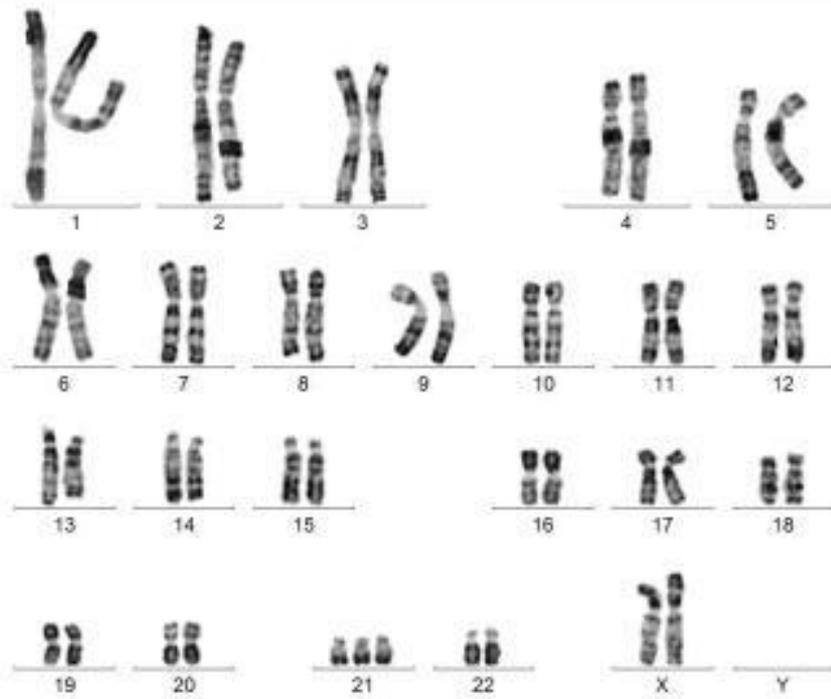
Tipos de cromosomas

El cariotipo

Un cariotipo es el conjunto de todos los cromosomas aislados de una célula y refleja el número, el tipo y la estructura de los cromosomas característicos de una especie.

En un cariotipo, los autosomas se colocan, primero, ordenados por parejas de homólogos, de mayor a menor tamaño, y los cromosomas sexuales se sitúan al final.

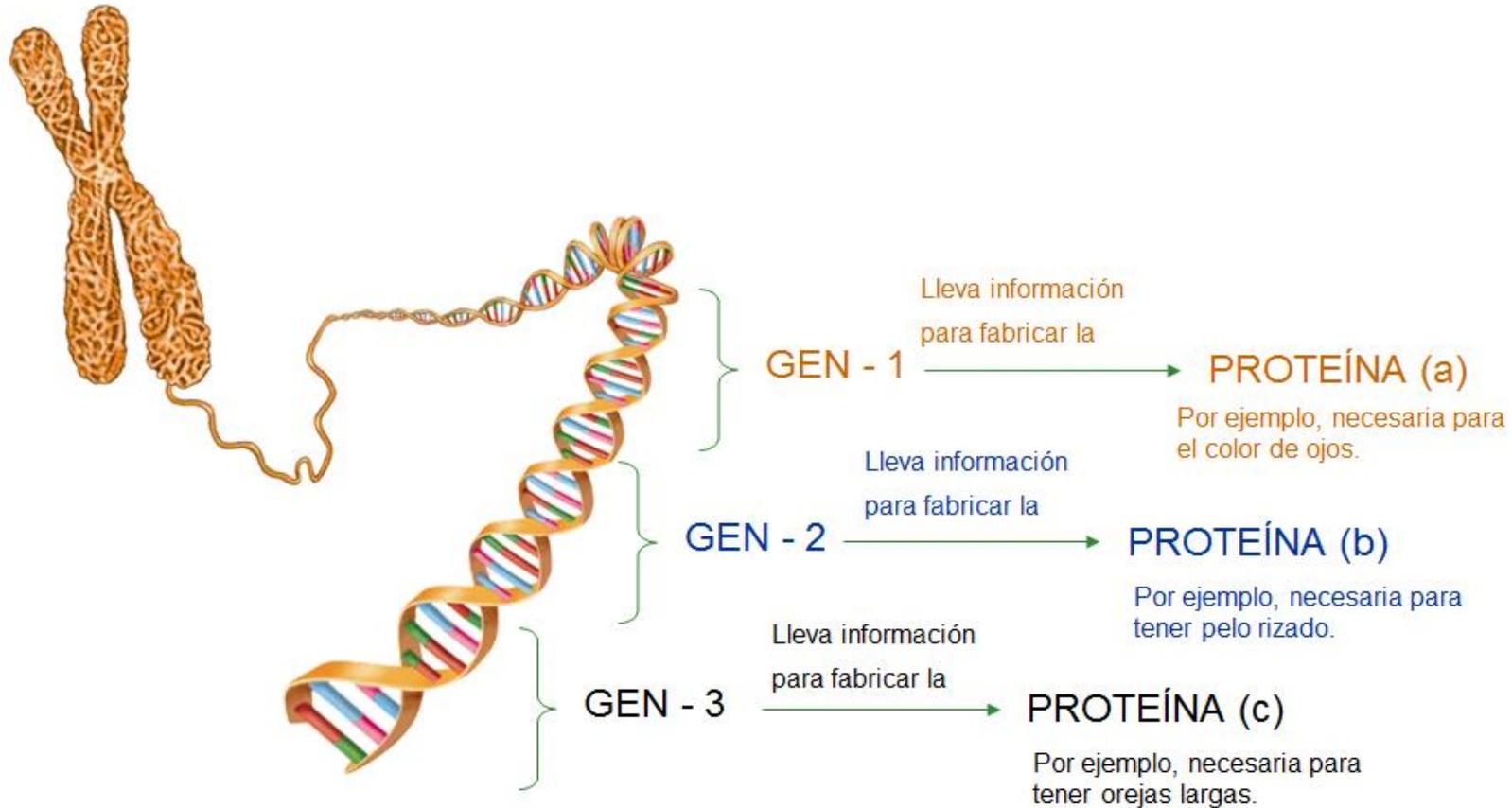




Cariotipo humano

2. La expresión de los genes. Síntesis de proteínas

El ADN es el portador de la información genética. Un gen o fragmento de ADN lleva información que, por lo general, se expresa a través de la síntesis de una proteína.

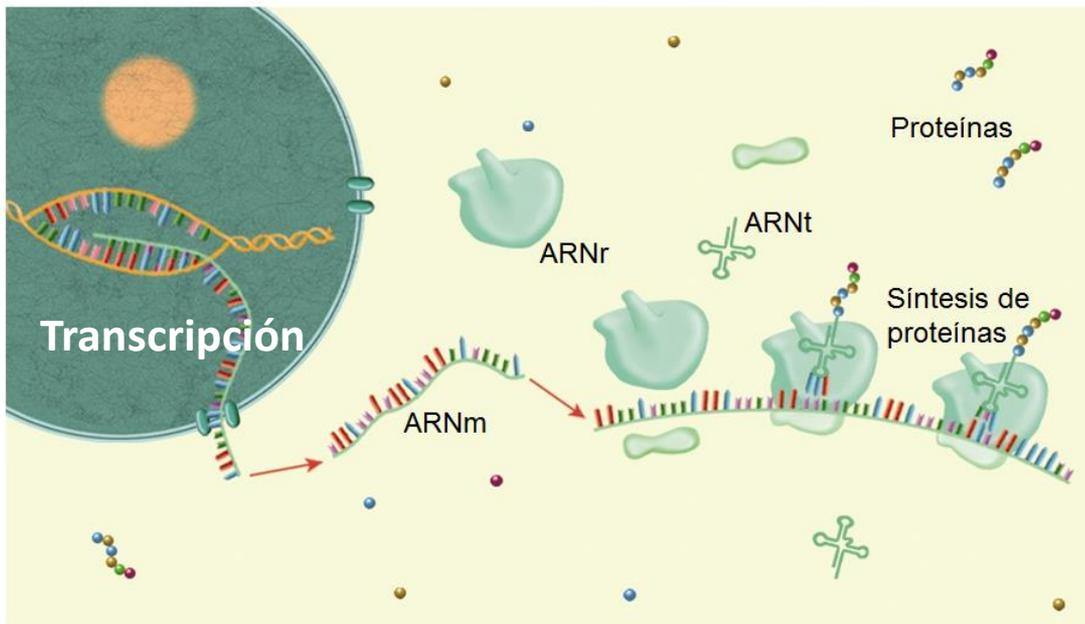


2.1

La transcripción

Las proteínas se sintetizan en los ribosomas, que se encuentran en el citoplasma celular (libres o adheridos al retículo endoplasmático). Como el ADN permanece en el núcleo de la célula, debe existir un mecanismo que le permita «trasladar» esa información que porta el material genético hasta el citoplasma. Este mecanismo es la **transcripción**.

La **transcripción** sucede en el núcleo de la célula donde la **información almacenada en el ADN** (según la secuencia de sus bases) **se transfiere** a una molécula de **ARN mensajero (ARNm)**.



2.2

El código genético

La correspondencia entre los codones de ARNm y los aminoácidos que forman las proteínas es el **código genético**.

Primer nucleótido	Segundo nucleótido				Tercer nucleótido
	U	C	A	G	
U	Fenilalanina Leucina	Serina	Tirosina Stop	Cisteína Triptófano	U C A G
C	Leucina	Prolina	Histidina Glutamina	Arginina	U C A G
A	Isoleucina Metionina	Treonina	Asparagina Lisina	Serina Arginina	U C A G
G	Valina	Alanina	Ácido aspártico Ácido glutámico	Glicocola	U C A G

El código genético determina cómo se traduce una secuencia de ARNm a una secuencia de aminoácidos de una proteína. En este código, cada trío de nucleótidos consecutivos, llamado **codón** o **tripleto**, se corresponde con un aminoácido determinado.

El código genético está **degenerado**, es decir, varios tripletes distintos pueden codificar un mismo aminoácido, como la prolina que puede ser CCU, CCC, CCA y CCG. Esto ayuda a que se reduzcan los errores al colocar los nucleótidos durante la transcripción.

Varios codones codifican para el mismo aminoácido. Por ejemplo, los codones UUA y UUG codifican para el aminoácido leucina.

Final de la traducción

Segunda base do código

		Segunda base do código							
		U	C	A	G				
Primeira base do código	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } SER UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA } UAG }	UGU } Cys UGC } UGA } UGG } Trp	U	C	A	G
	C	CUU } Leu CUC } CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } Arg CGC } CGA } CGG }	U	C	A	G
	A	AUU } Ile AUC } AUA } AUG } Met	ACU } ACC } Thy ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U	C	A	G
	G	GUU } Val GUC } GUA } GUG }	GCU } Ala GCC } GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } Gly GGC } GGA } GGG }	U	C	A	G
						Tercera base do código			

Inicio de la traducción

HAY 64 CODONES POSIBLES

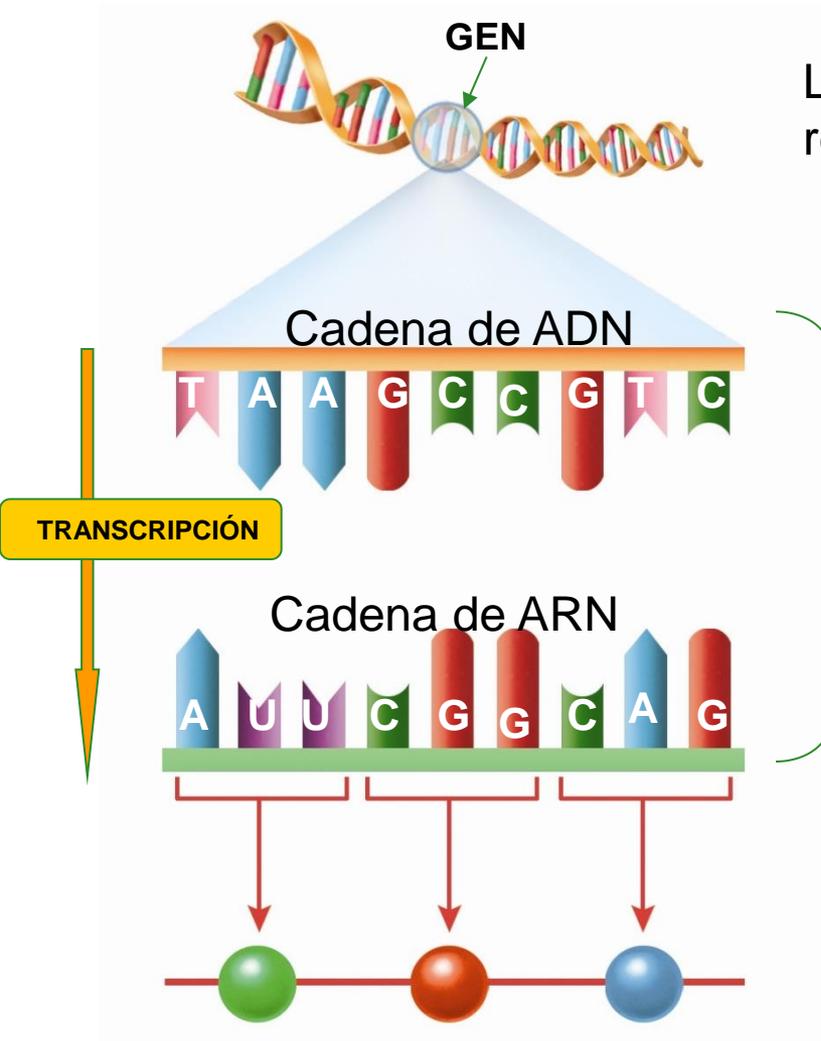
2.3

La traducción

La **traducción** consiste en la **síntesis de una molécula de proteína**, según el código contenido en la molécula de ARNm transcrito a partir de una secuencia de ADN.

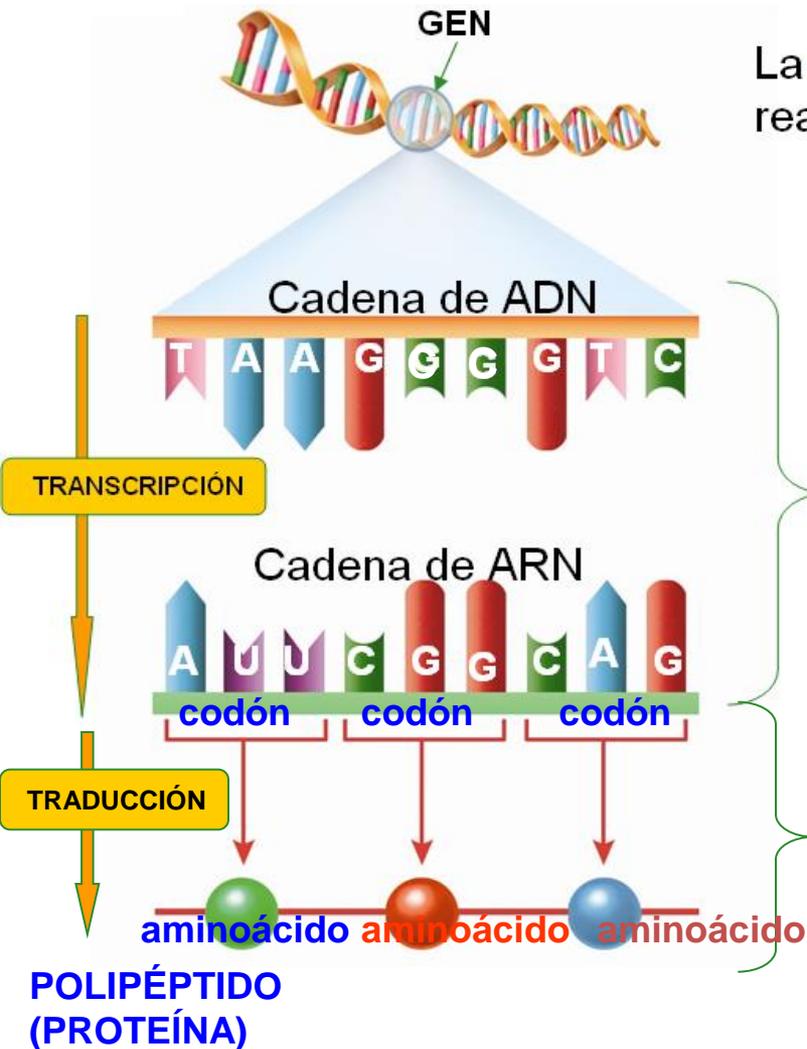
La traducción tiene lugar en el citoplasma y la realizan los ribosomas. Además de los ribosomas, en este proceso intervienen la molécula de ARNm, que se ha formado en el proceso de transcripción, y una molécula de otro tipo de ARN, llamada **ARN transferente (ARNt)**, que se encarga de transportar los aminoácidos hasta el ribosoma.

Hay un ARNt para cada uno de los aminoácidos. Esta molécula contiene en su estructura un conjunto de tres nucleótidos denominado anticodón. Las bases del anticodón del ARNt son complementarias a las del codón del ARNm.



La **descodificación** de la información del ADN se realiza en 2 fases:

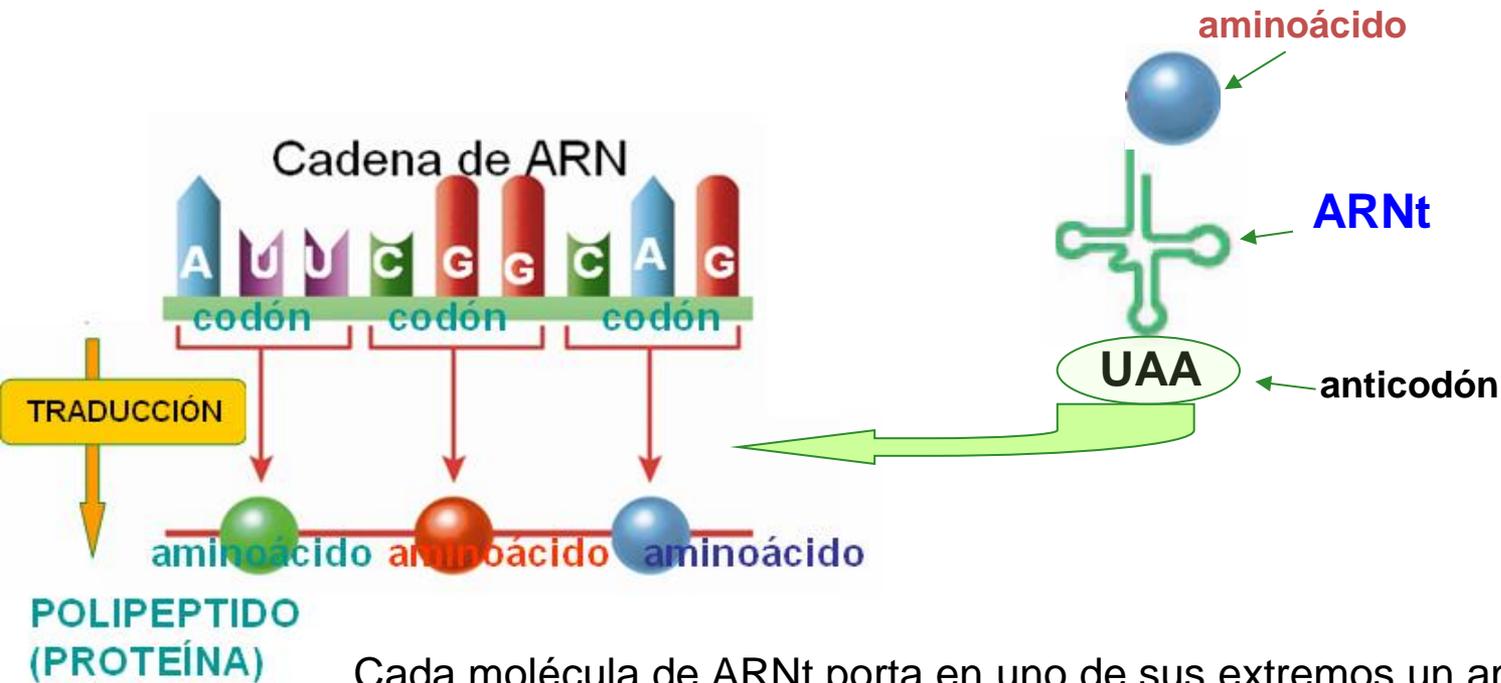
Transcripción del mensaje. Consiste en copiar la información genética contenida en una porción del ADN, a una molécula de ARNm. En los eucariotas, la transcripción tiene lugar en el núcleo. La doble hélice de ADN se abre y una de sus cadenas constituye el molde para sintetizar una molécula de ARNm. Esta molécula de ARNm se sintetiza siguiendo las reglas de complementariedad de bases. En este proceso, la base complementaria de la adenina (A) es el uracilo (U), ya que el ARN carece de timina (T).



La **descodificación** de la información del ADN se realiza en 2 fases:

Transcripción del mensaje. Consiste en copiar la información genética contenida en una porción del ADN, a una molécula de ARNm. En los eucariotas, la transcripción tiene lugar en el núcleo. La doble hélice de ADN se abre y una de sus cadenas constituye el molde para sintetizar una molécula de ARNm. Esta molécula de ARNm se sintetiza siguiendo las reglas de complementariedad de bases. En este proceso, la base complementaria de la adenina (A) es el uracilo (U), ya que el ARN carece de timina (T).

Traducción del mensaje. Consiste en traducir el mensaje contenido en el ARNm al lenguaje de las proteínas. El ARNm traslada la información desde el núcleo hasta el citoplasma donde los ribosomas “leen” la información en forma de tripletes. Cada uno de estos tripletes se llaman **codón** y se “traducen” al lenguaje de las proteínas siguiendo un código en el que cada codón especifica un aminoácido concreto. De esta manera, la secuencia de bases de ARNm establece el orden en el que se van añadiendo los aminoácidos en la cadena polipeptídica que formará la proteína. El ARNt es la molécula que transporta los aminoácidos hasta el ribosoma.



Cada molécula de ARNt porta en uno de sus extremos un aminoácido concreto, además tiene un triplete de nucleótidos, llamado **anticodón**, complementario de un codón determinado del ARNm. De esta manera, si el codón del ARNm es UGG, el anticodón complementario del ARNt será ACC, y el aminoácido que portará será el triptófano (Trp).

Así, los ARNt van añadiendo aminoácidos a la cadena polipeptídica en formación, según el orden de los codones del ARNm.

La correspondencia entre los codones del ARNm y los anticodones que forman las proteínas recibe el nombre de **código genético**.

3.1

El ciclo celular

Se llama ciclo celular a las fases en las que se puede dividir la vida de una célula. En las células eucariotas, el ciclo celular es muy complejo. Se divide en dos períodos: la **interfase** y la **fase mitótica**.

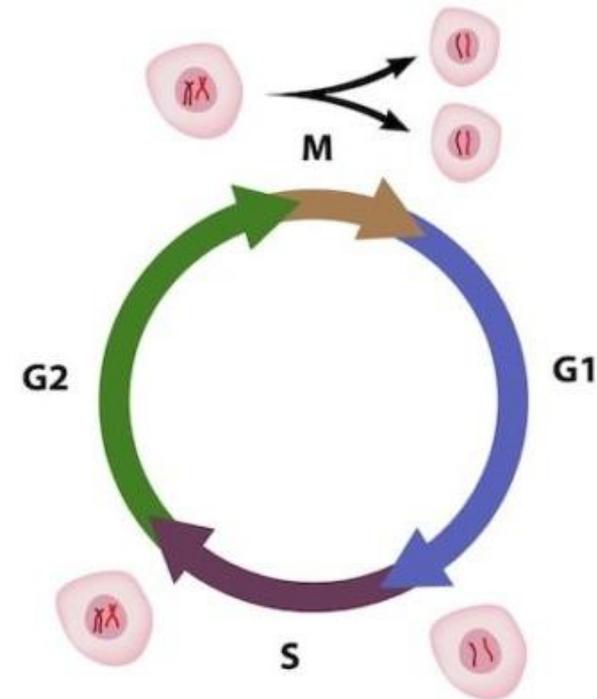
La interfase

Es una etapa larga durante la cual la célula crece, duplica su ADN y se prepara para la división. Se divide en fase G1, fase S y fase G2.

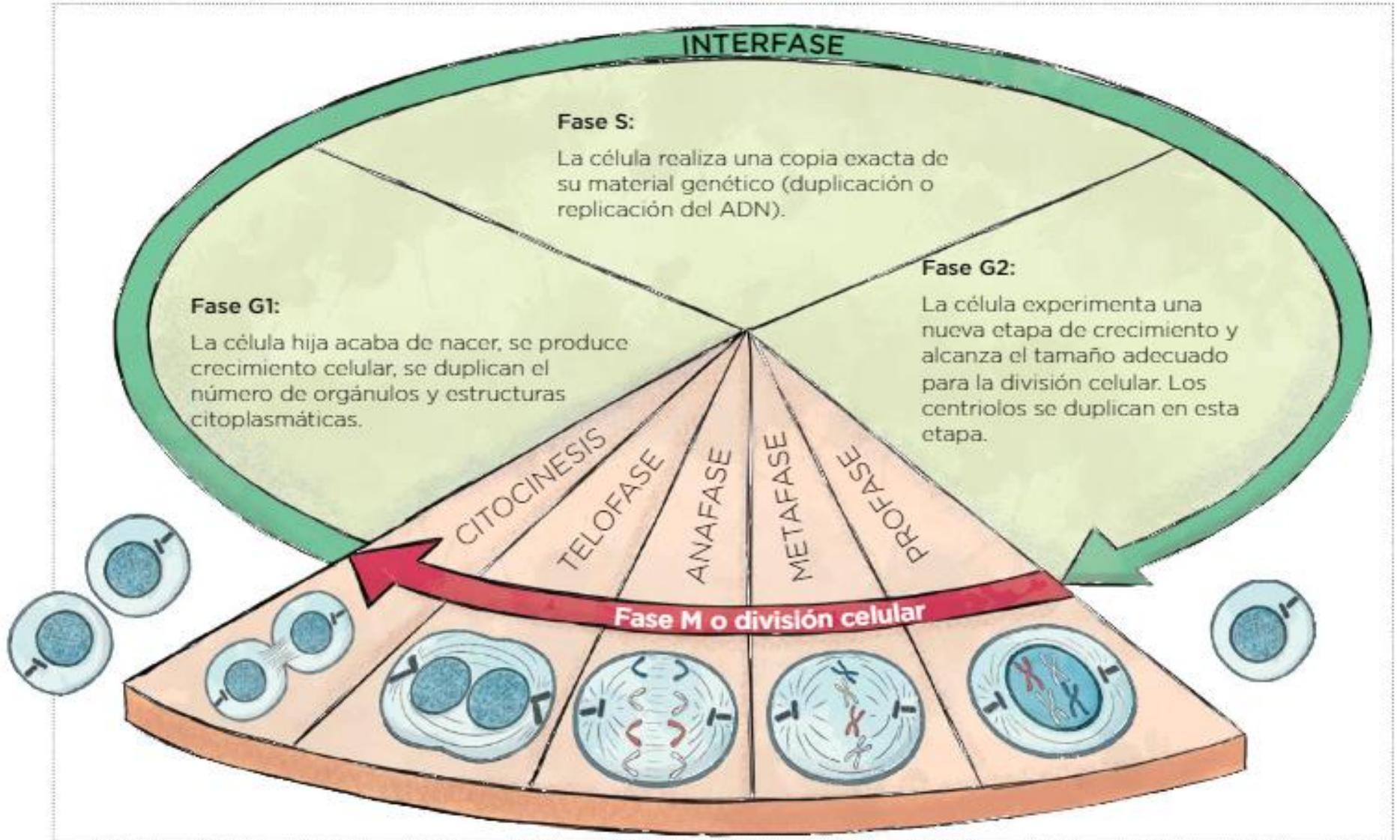
Fase mitótica o de división celular

Es una breve etapa durante la que la célula divide, primero, su núcleo y, después, su citoplasma.

- **Mitosis o fase M.** La célula divide su núcleo, es decir, se reparte el material genético entre las dos células que se están formando. La mitosis consta de cuatro fases, denominadas **profase, metafase, anafase y telofase**.
- **Citocinesis.** La célula divide su citoplasma y sus orgánulos entre las dos células hija que contienen idéntica dotación cromosómica que la madre.



El ciclo celular



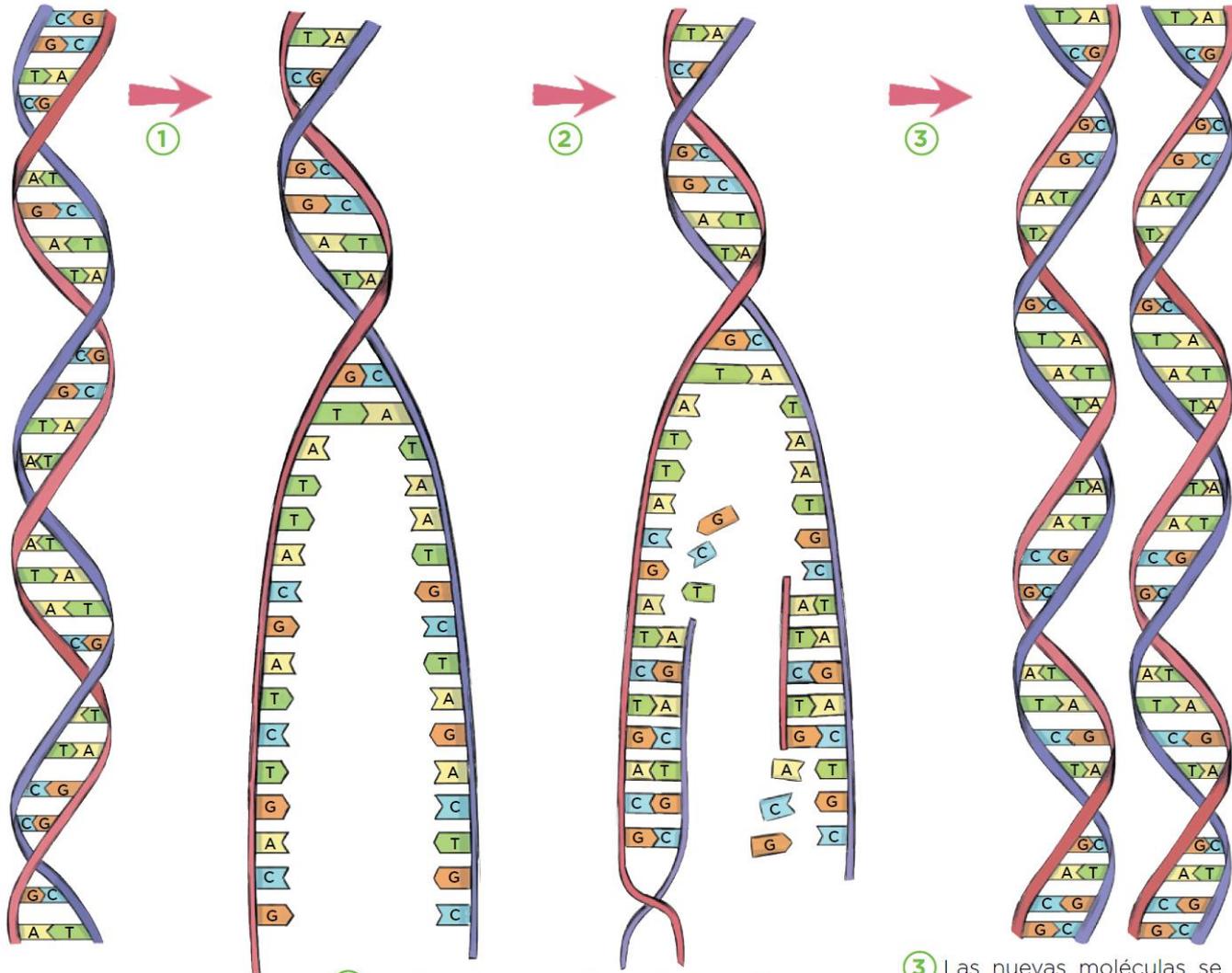
3.2

La replicación

La **replicación del ADN** es el proceso por el cual se sintetizan dos **copias idénticas** de la molécula de ADN.

La replicación es semiconservativa, es decir, la doble hélice se desenrolla y cada cadena sirve de «molde» para construir una complementaria. La replicación del ADN la lleva a cabo una enzima específica, la ADN polimerasa, que une los nucleótidos siguiendo la secuencia de la cadena molde.

Al terminar este proceso se habrán formado dos dobles hélices idénticas, que se reparten entre cada célula hija.



1 La doble hélice se desenrolla y la molécula se abre como una cremallera separándose ambas cadenas.

2 Cada cadena de ADN se duplica de forma independiente, sirviendo de molde para fabricar una nueva cadena complementaria mediante el acoplamiento de los nucleótidos (los de adenina con los de timina, y los de guanina con los de citosina).

3 Las nuevas moléculas se enrollan en espiral formando la estructura de doble hélice. El resultado final son dos nuevas dobles hélices, que son una copia exacta de la molécula de partida. Cada una de ellas está formada por una cadena antigua y otra nueva.

4. La mitosis y la citocinesis

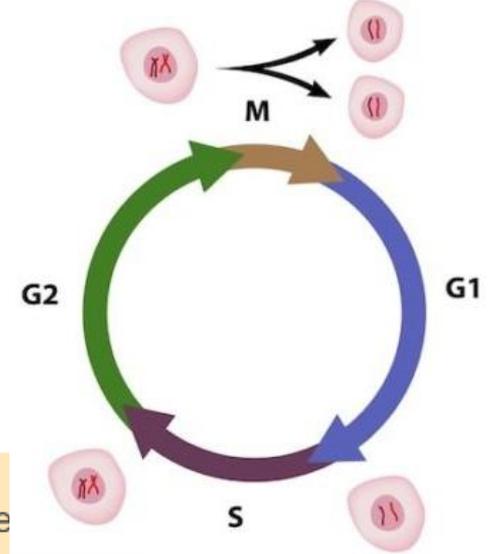
4.1

La mitosis

La **mitosis** es el proceso a través del cual se produce la división del núcleo y la célula

Significado biológico de la mitosis

En los organismos pluricelulares, la mitosis tiene como función permitir el crecimiento del individuo mediante divisiones sucesivas y la renovación de las células deterioradas. En los organismos unicelulares, la mitosis es un mecanismo de reproducción asexual, que permite aumentar el número de organismos de una especie.

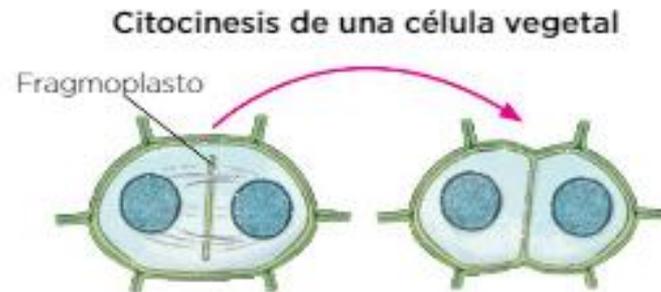
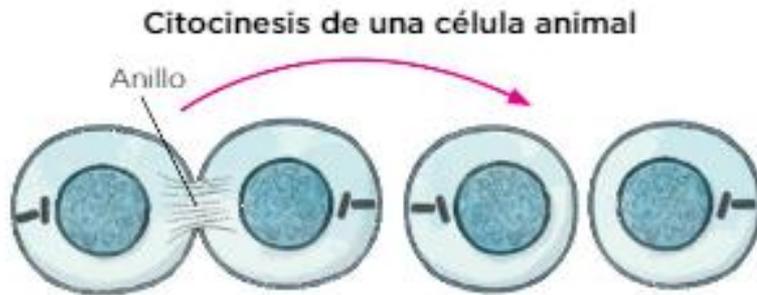


4.2

La citocinesis

La citocinesis es el proceso por el que la célula **divide su citoplasma y sus orgánulos** entre las dos células hija

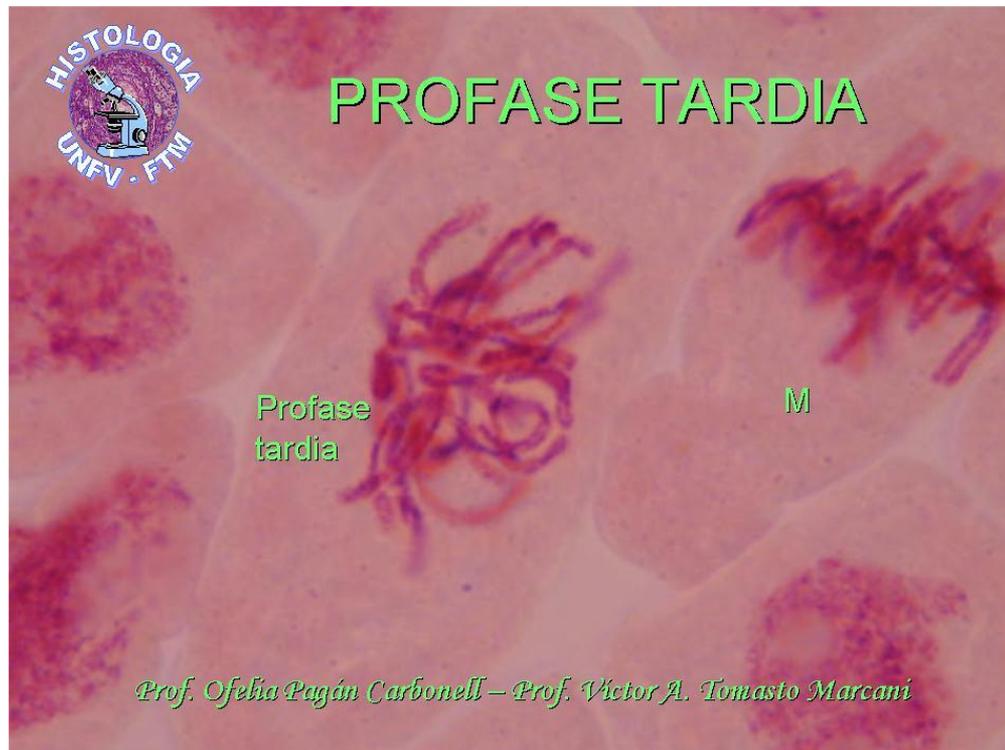
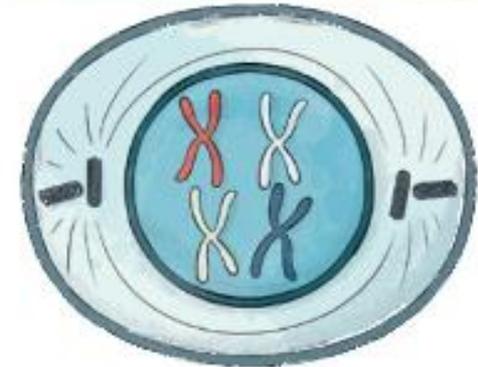
La citocinesis varía de un tipo celular a otro, debido a la diferente estructura de sus envolturas externas. Las **células eucariotas de tipo animal** solo están envueltas por la membrana plasmática, por lo que pueden deformarse fácilmente. Por el contrario, en las **células eucariotas de tipo vegetal**, la membrana está rodeada de una gruesa y rígida pared celular, que impide su deformación.



La mitosis y la citocinesis

Profase

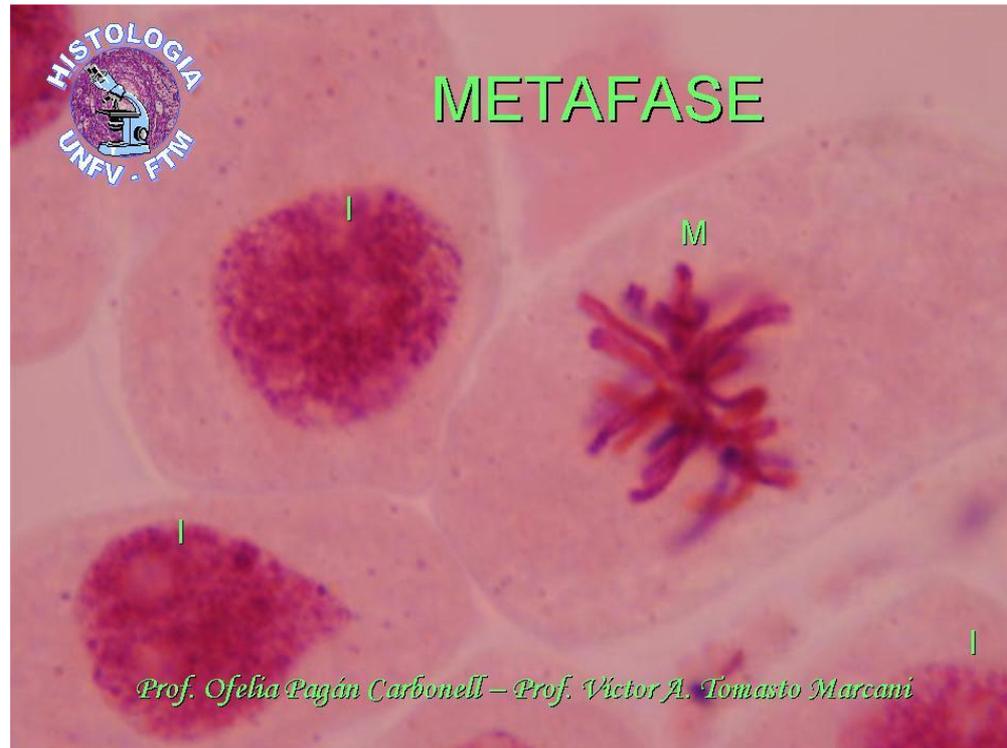
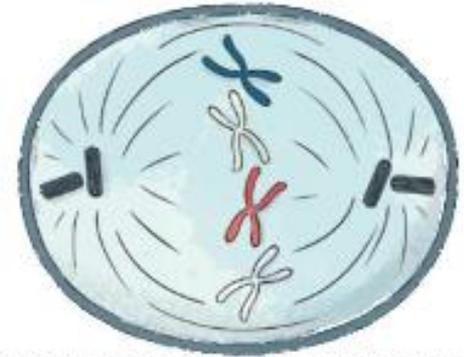
- Cada par de centriolos migra a un polo de la célula y entre ellos se forma el **huso acromático**, un haz de fibras del citoesqueleto que se dirigen hacia el otro extremo de la célula.
- La envoltura nuclear se desintegra.
- El ADN se condensa en forma de cromosomas, formados por dos cromátidas hermanas.



Prof. Ofelia Pagán Carbonell – Prof. Victor A. Tomasio Marcani

Metafase

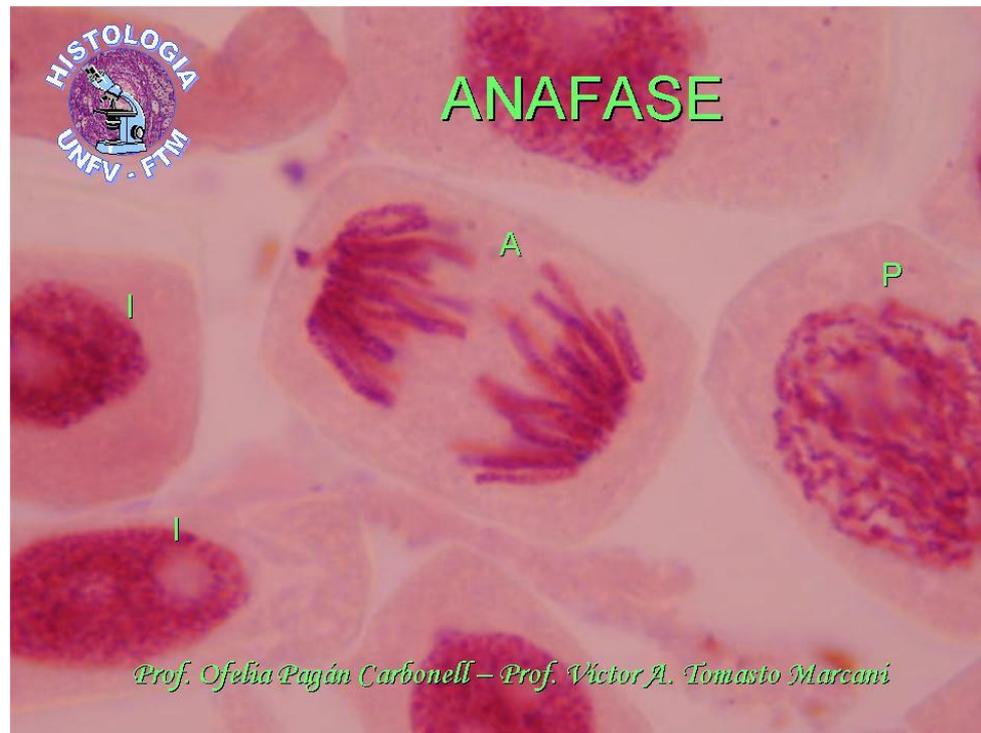
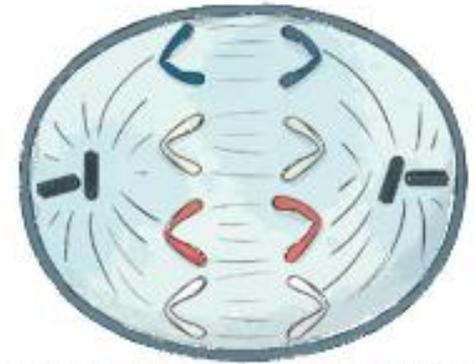
- Los centriolos se mantienen en los polos opuestos de la célula.
- Los componentes de la envoltura nuclear están dispersos por el citoplasma.
- Los cromosomas se sitúan en el ecuador de la célula y se unen a las fibras de huso acromático.



Prof. Ofelia Pagán Carbonell – Prof. Victor A. Tomasio Marcani

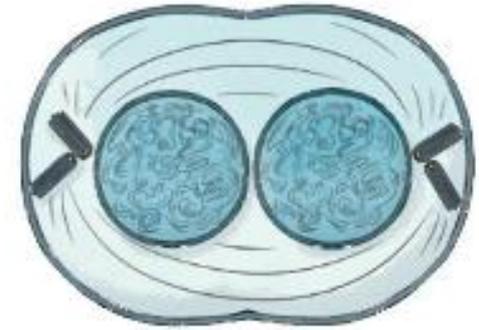
Anafase

- Los centriolos comienzan a acortar las fibras del huso acromático, tirando de los cromosomas en direcciones opuestas.
- Los componentes de la membrana nuclear continúan dispersos por el citoplasma.
- Se separan las **dos cromátidas hermanas** de cada cromosoma, migrando hacia los polos de la célula.



Telofase

- Los centriolos acortan las fibras del huso acromático, hasta que este se desintegra.
- Se forma una nueva envoltura nuclear, alrededor de cada conjunto de cromosomas.
- El ADN de las cromátidas comienza a descondensarse, hasta volver a encontrarse en forma de cromatina.



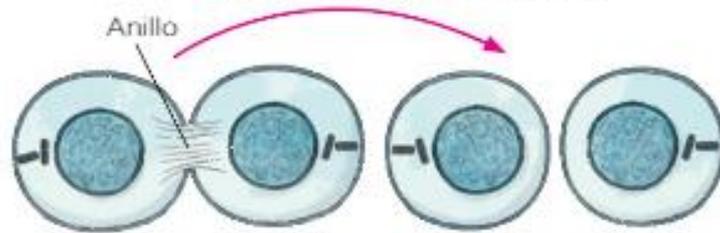
TELOFASE



Prof. Ofelia Pagán Carbonell – Prof. Víctor A. Tomasto Marcani

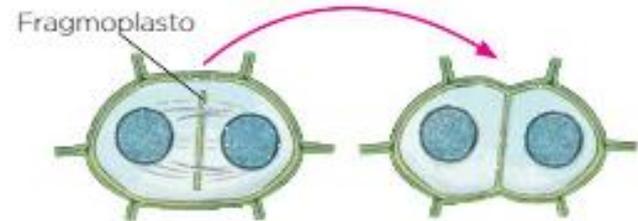
Citocinesis

Citocinesis de una célula animal



- El citoplasma se divide por estrangulamiento de la membrana.
- Se forma un **anillo en el ecuador** de la célula que se va estrechando.
- Finalmente, la membrana se rompe, dividiendo la célula en dos células hija.

Citocinesis de una célula vegetal



- La pared celular impide el estrangulamiento.
- La división del citoplasma se realiza mediante la **formación de un tabique** en el ecuador de la célula denominado fragmoplasto.
- El tabique progresa desde el centro de la célula hacia el exterior formándose una pared celular entre las células hija.

5. La meiosis y la reproducción sexual

5.1

La reproducción sexual

En la **reproducción sexual**, se requieren dos progenitores para formar un nuevo individuo, y el descendiente es una combinación de las características de sus progenitores.

Los organismos con reproducción sexual tienen dos tipos de células:

- Las que están formando parte del cuerpo son las denominadas **células somáticas**, que son células diploides ($2n$).
- Las células especializadas en la reproducción, denominadas **células germinales**, son diploides ($2n$), pero, a través de una división especial llamada meiosis, dan lugar a las células sexuales o gametos, que son haploides (n).

De esta manera, cuando sucede la **fecundación**, el **gameto masculino** (n) se une al **gameto femenino** (n), para dar lugar al **cigoto o célula huevo** ($2n$); es decir, se forma una célula con el mismo número de cromosomas que sus progenitores.

5.2

La meiosis

La **meiosis** es el proceso especial de división a través del cual se forman células haploides. Mediante este proceso se forman los **gametos**.

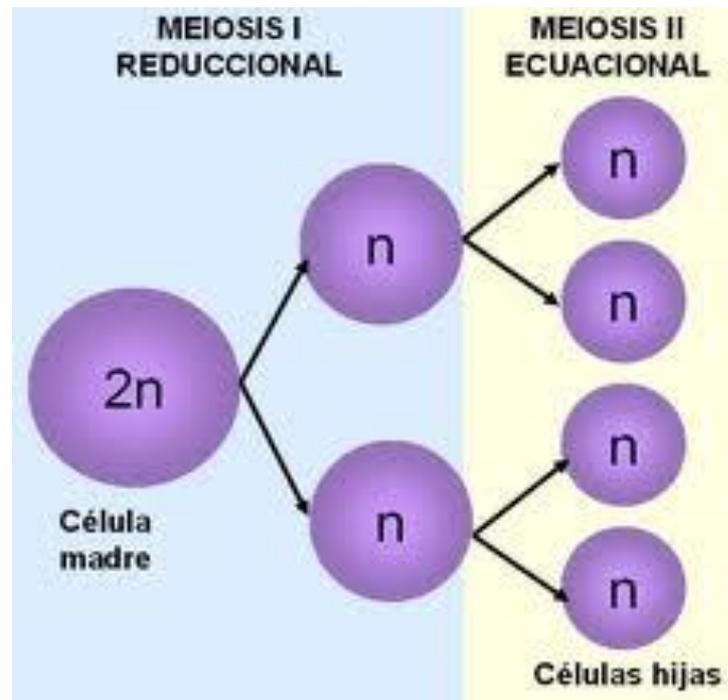
Significado biológico de la meiosis

- La meiosis es un proceso indispensable para reducir a la mitad el número de cromosomas durante la formación de las células sexuales. Así, a partir de células diploides ($2n$), con dos juegos completos de cromosomas, se obtienen células haploides (n), con un único juego de cromosomas.
- Durante la meiosis, se produce el denominado **sobrecruzamiento**, o intercambio de fragmentos de cromátidas hermanas, entre cromosomas homólogos. Este intercambio de información hace que se obtengan células genéticamente distintas a la célula madre, lo que genera la denominada **variabilidad genética**; es decir, modificaciones en la información genética que producen la diversidad genética en los organismos.

El proceso de la meiosis

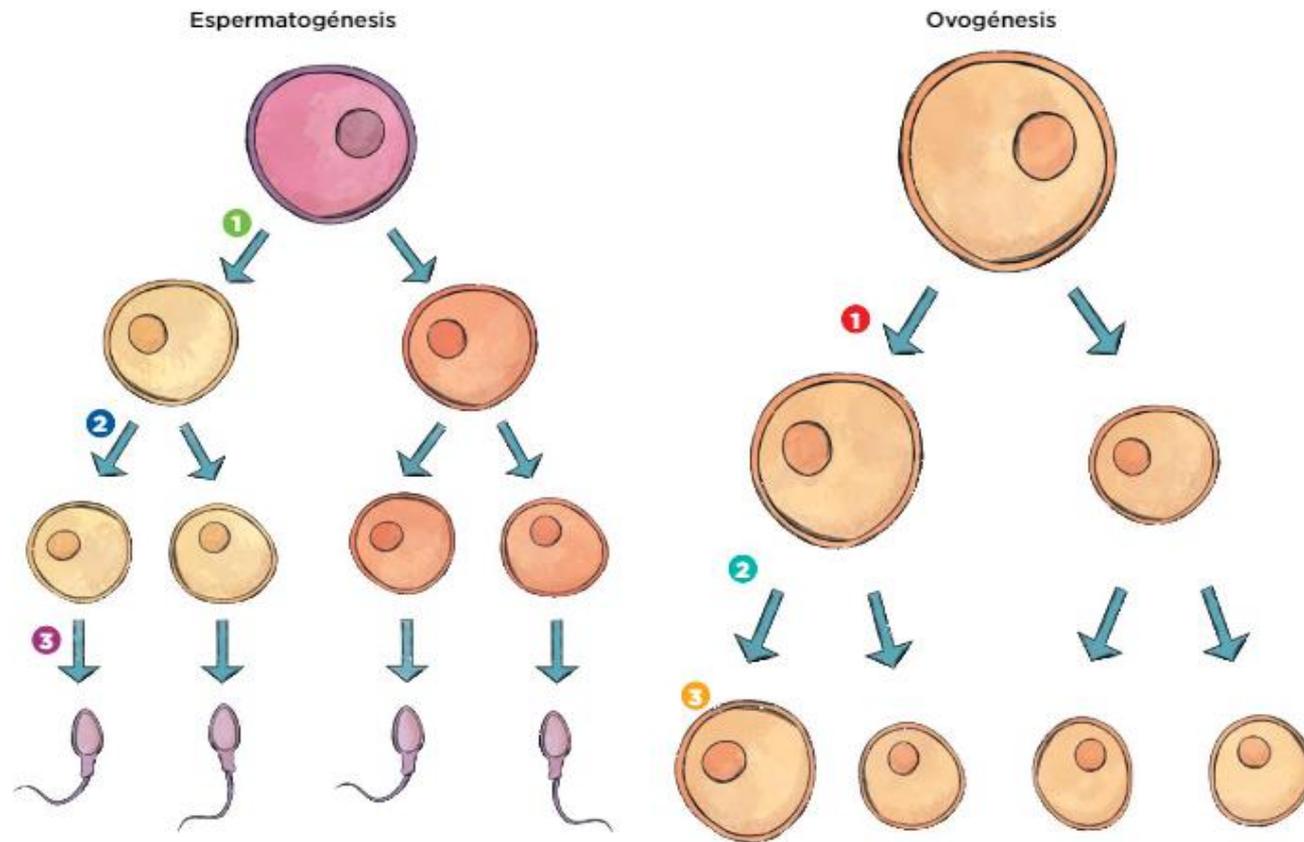
La meiosis consta de dos divisiones consecutivas; entre ambas no hay duplicación del ADN, ya que este solo se duplica en la interfase:

- La **primera división meiótica** separa las parejas de cromosomas homólogos. Consta de profase I, metafase I, anafase I y telofase I.
- La **segunda división meiótica** separa las dos cromátidas hermanas de cada cromosoma. Consta de profase II, metafase II, anafase II y telofase II, tras la que se produce la citocinesis



La formación de gametos y la meiosis

Las **células germinales** dan lugar a las células **sexuales o gametos**, mediante el proceso de gametogénesis, que es un proceso de meiosis. En los animales, este proceso se denomina **espermatogénesis**, cuando se producen los gametos masculinos o **espermatozoides**, y **ovogénesis**, cuando se forman los gametos femeninos u **óvulos**.



- 1 Se produce la **primera división meiótica**, en la que se separan los cromosomas homólogos entre las dos células hija.
- 2 Se produce la **segunda división meiótica**, en la que se reparten las cromátidas de cada cromosoma entre las células hija.
- 3 Las células hija maduran hasta formar **espermatozoides (n)**.

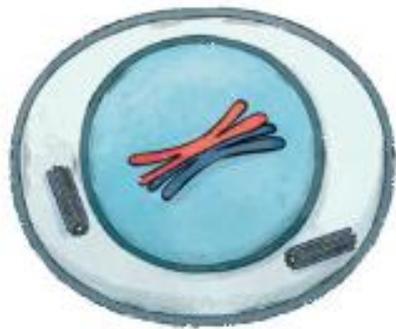
- 1 Se produce la **primera división meiótica**. Se separan los cromosomas homólogos y se produce una distribución desigual del citoplasma. La célula mayor es el oocito, y la pequeña, el corpúsculo polar.
- 2 Se produce la **segunda división meiótica**. Se reparten las cromátidas de cada cromosoma entre las células hija.
- 3 El resultado es la formación de un **óvulo (n)** y **tres corpúsculos polares (n)**.

Primera división meiótica, paso a paso

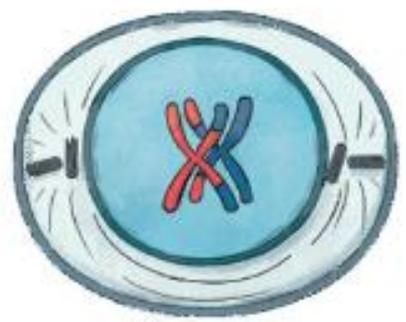
Profase I



Es la etapa más larga de la meiosis. En ella, las fibras de cromatina que se duplicaron en la interfase se condensan y se forman los cromosomas.

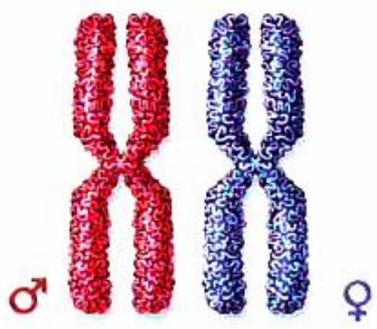


Cada cromosoma reconoce a su homólogo y se empareja con él cerrándose como una cremallera en un fenómeno llamado sinapsis.



A continuación, se produce un intercambio de fragmentos entre las cromátidas no hermanas. Este fenómeno se llama **sobrecruzamiento** y supone un intercambio de información hereditaria o **recombinación genética** entre los cromosomas.

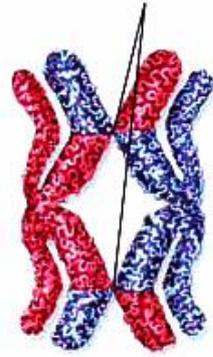
Apareamiento de cromosomas homólogos



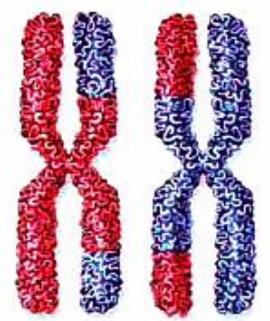
Entrecruzamiento

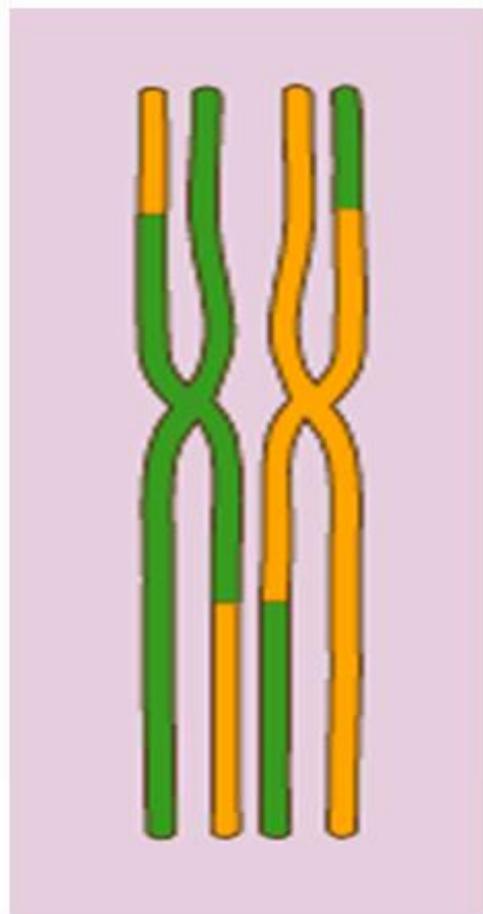


Quiasmas

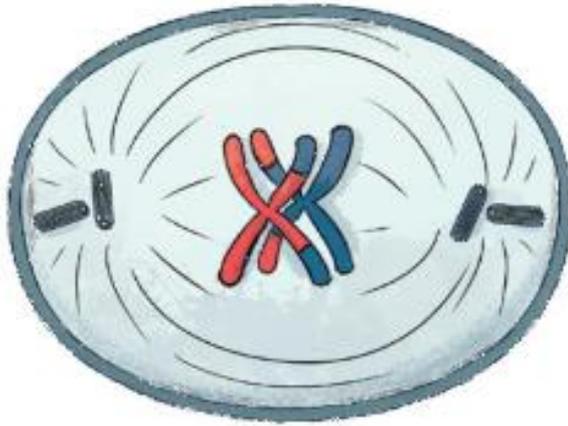


Recombinación génica



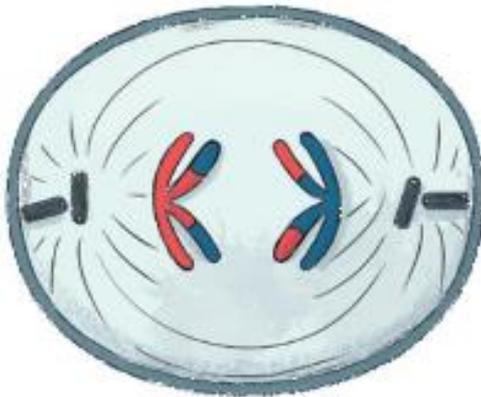


Metafase I



Las parejas de cromosomas homólogos se mantienen unidos por los puntos de sobrecruzamiento y se sitúan en el ecuador de la célula sujetos a los filamentos del huso.

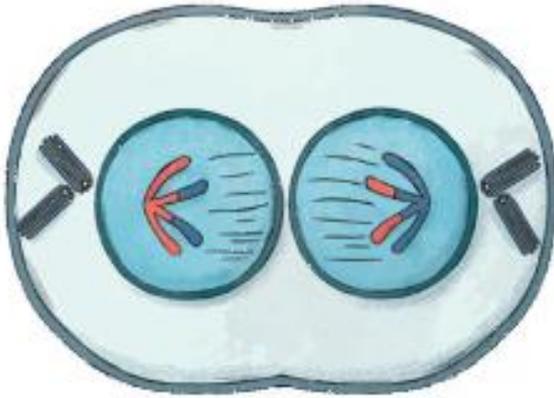
Anafase I



Las fibras del huso se acortan y separan a los cromosomas de cada pareja de homólogos, que se dirigen a los polos opuestos.

Al separarse, los brazos entrecruzados se llevan los fragmentos de las cromátidas no hermanas, como consecuencia de la recombinación genética producida en la primera etapa meiótica.

Telofase 1
y citocinesis

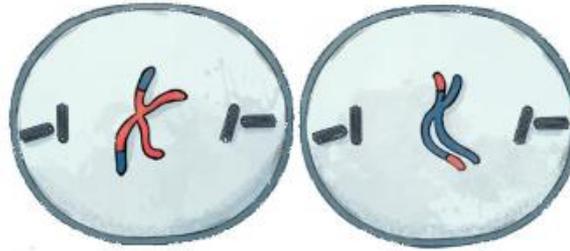


Las fibras del huso desaparecen y los cromosomas se descondensan. Se forma de nuevo la membrana nuclear.

Finalmente, el citoplasma se divide y **se forman dos células hija (n)** cuyo número de cromosomas se ha dividido a la mitad.

Segunda división meiótica, paso a paso

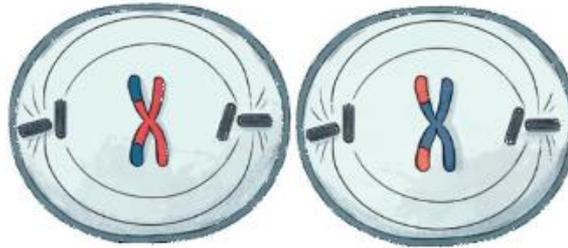
Profase II



Esta división se produce de forma simultánea en las dos células resultantes de la primera división.

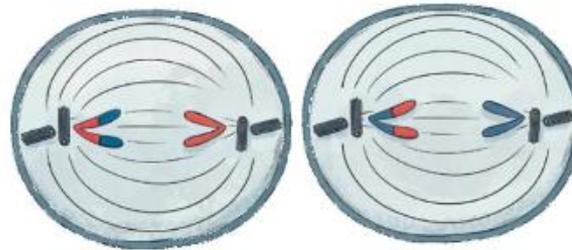
Sin pasar por una interfase desaparece la membrana del núcleo y se vuelven a visualizar los cromosomas.

Metafase II



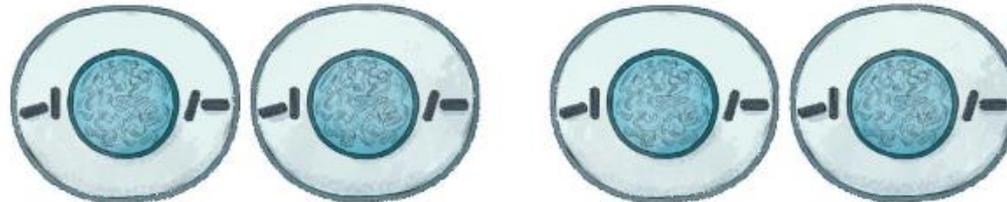
Los cromosomas se sitúan en el ecuador de la célula y forman la placa ecuatorial.

Anafase II



Las dos cromátidas de cada cromosoma se separan y migran, cada una de ellas a un polo celular.

Telofase II
y citocinesis



Los cromosomas se descondensan y se forma la cromatina. Se constituye la membrana nuclear.

Tras la telofase tiene lugar la división del citoplasma y el reparto de orgánulos entre las células hija.

El resultado final es que se forman **cuatro células hija n**, esto es, con la mitad de cromosomas que la célula madre.