

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico



## Para iniciar, reflexiona

Es muy importante que conozcas los tipos de reproducción por los cuales los organismos perpetúan su especie y los mecanismos celulares que se llevan a cabo con este fin, pero lo más importante es que seas capaz de descubrir el impacto que tiene esto en tu vida y los avances científicos y tecnológicos que han sucedido en los últimos años y que sin duda, han marcado una diferencia en el estilo de vida de quienes vivimos en este siglo. Algunos cuestionamientos característicos son: ¿es posible que los padres decidan y/o elijan las características genéticas que tendrán sus hijos? o ¿el uso de células madre es un tratamiento para curar enfermedades hasta ahora incurables?

¿Qué otros cuestionamientos has escuchado o te has planteado a partir de lo que observas en tu entorno?



## Aprende más

### Tipos de reproducción en los seres vivos

Una de las características de la vida es la habilidad de los organismos vivos para reproducirse; con la reproducción se da origen a descendientes con características iguales; por ejemplo, los elefantes producen elefantes pequeños, los robles generan robles jóvenes y las bacterias generan más bacterias. Los procesos para que esto ocurra son diversos, pero se logra en todos ellos la perpetuación de los genes de los progenitores.

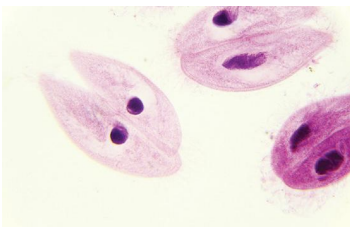


Figura 1.1. El protista *Paramecium* produce asexualmente dos organismos nuevos independientes.

Todos los organismos vivos se reproducen ya sea *asexual* o *sexualmente*. Los que se reproducen asexualmente producen *clones*, es decir, una descendencia que es genéticamente idéntica a ellos mismos, por lo tanto, en la reproducción asexual, un solo individuo es el único padre y transmite copias de todos sus genes a su descendencia (figura 1.1).

Los organismos **eucariontes** y **procariontes** unicelulares pueden reproducirse asexualmente por una división celular mitótica, en la

cual el ADN es copiado y repartido equitativamente en sus dos células hijas (figura 1.2). De la misma manera, algunos organismos eucariontes multicelulares también son capaces de reproducirse asexualmente (figura 1.3 y 1.4).

Si observas a los miembros de la familia mostrada en la figura 1.6, puedes notar algunas características que comparten los padres con los hijos. La transmisión de los rasgos de una generación a la siguiente es llamada herencia. Sin embargo, los hijos y las hijas no son copias idénticas de los padres o de sus hermanos, lo cual es la base de la reproducción sexual.

En la reproducción sexual dos padres originan una descendencia que tiene combinaciones únicas de genes provenientes de ambos padres, lo cual se denomina variación genética y es una consecuencia importante de la reproducción sexual.

La reproducción sexual involucra a las **células germinativas**, llamadas **gametos** (figura 1.5). Después de que el gameto masculino (espermatozoide) se une con el gameto femenino (óvulo) en la fecundación, la célula resultante contiene un conjunto de cromosomas de cada progenitor. Los gametos se forman por un mecanismo llamado meiosis, el cual trataremos posteriormente en este bloque.



**Célula germinativa:** células que contienen el material genético que se transmite a la siguiente generación. Se conocen también como gametos.

**Eucarionte:** organismo cuyas célula o células tienen un núcleo definido, llamado también verdadero, que contiene el material genético, es decir, con una membrana nuclear que separa a esta estructura de los otros componentes de la célula.

**Procarionte:** organismo cuya célula o células no tienen un núcleo definido, es decir, con una membrana nuclear que separa a esta estructura de los otros componentes de la célula.



Figura 1.2. Las bacterias se reproducen al dividirse en dos.



Figura 1.3. La hydra se reproduce a través de brotes.



Figura 1.4. Los árboles de un bosque crecen a partir de un solo árbol ancestral.



Figura 1.5. Gametos masculino (espermatozoides) y femenino (óvulo).



Figura 1.6.  
Familia.



## Aprende más

### Estructuras bioquímicas involucradas en la reproducción celular

La información que se hereda de una célula a otra se encuentra en las moléculas de *ácido desoxirribonucleico* o *ADN*. Tras utilizar los datos de difracción de **rayos X** (obtenidos por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins), Watson y Crick propusieron el *modelo de la doble hélice de ADN*, la cual consiste de dos cadenas de nucleótidos, enrolladas en espiral, una alrededor de la otra y con dirección antiparalela (figura 1.7).



**Rayos X:** radiación electromagnética que atraviesa cuerpos opacos, a través de los cuales la luz pasa con dificultad, por lo que son útiles en la toma de fotografías para ver dentro de un cuerpo. Los rayos X son invisibles a la vista humana.

Las dos cadenas se conservan unidas mediante puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas de una cadena y sus correspondientes bases en la otra (Karp, 2010). Como mencionamos, cada cadena de ADN consta de unidades llamadas nucleótidos. Un nucleótido tiene tres elementos: un grupo fosfato, un azúcar de cinco átomos de carbono (desoxirribosa) y una de cuatro bases nitrogenadas: adenina (A), timina (T), citosina (C) o guanina (G). Debido a que una A en una cadena está siempre unida a una T en la otra cadena, y una G a una C, se dice que las dos cadenas de la doble hélice son complementarias entre sí (figura 1.8).

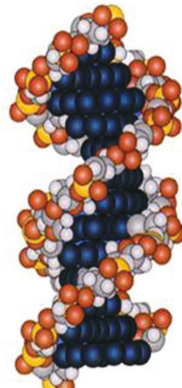


Figura 1.7. Doble hélice de ADN.

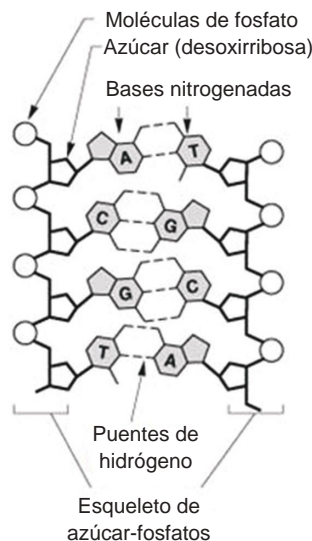


Figura 1.8. Estructura química parcial del ADN. Una hebra simple de ADN consta de una larga cadena de nucleótidos unidos por un enlace entre el fosfato de un nucleótido y el azúcar (desoxirribosa) del siguiente. Dos hebras de ADN interactúan a través de puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas para formar una doble hélice.

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

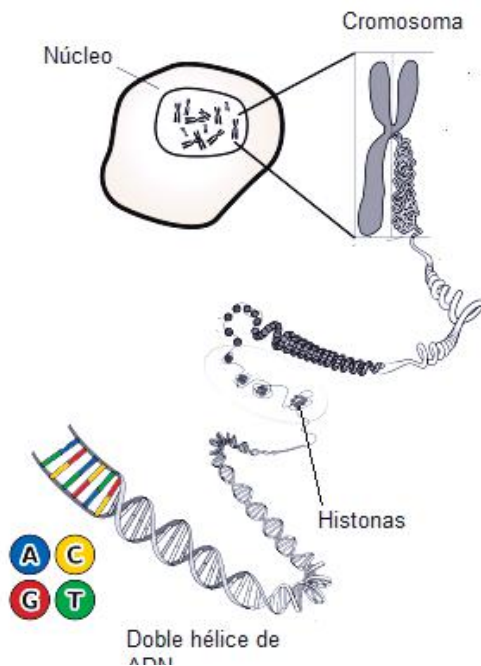


Figura 1.9. Empaquetamiento de ADN en los cromosomas eucarióticos.

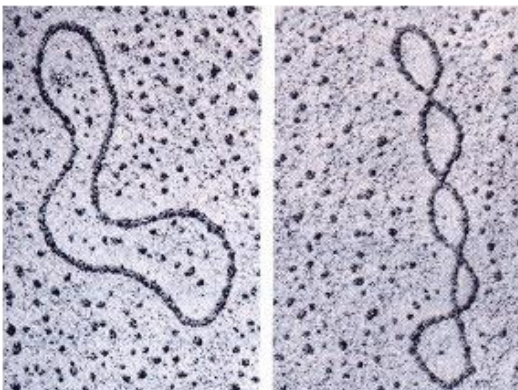


Figura 1.10. Cromosoma bacteriano circular.

En las células eucariontes el ADN se encuentra asociado a **histonas** y otras proteínas. Cuando la célula no está en división celular, el ADN junto con las proteínas forman una estructura llamada **cromatina**, que no es visible al microscopio, mientras que durante la división celular, la cromatina se condensa para formar unas estructuras celulares llamadas **cromosomas**. En los cromosomas el ADN se encuentra organizado en altos niveles de **empaquetamiento** (figura 1.9). En cambio, el cromosoma de las bacterias es usualmente una molécula de ADN circular con algunas proteínas asociadas, que componen al **nucleoide** de la célula (figura 1.10).

Los **genes**, las unidades de la herencia, son segmentos de ADN que están constituidos por cientos a miles de nucleótidos. Las secuencias concretas de nucleótidos de los genes detallan las instrucciones para formar las proteínas de una célula.



**Empaquetamiento:** proceso en el que la célula acomoda el ADN en el núcleo para almacenarlo y, de acuerdo con el orden en que lo hace (niveles), cumplir funciones específicas.

**Histonas:** proteínas del núcleo de células eucarióticas cuya función es empaquetar el ADN.

**Nucleoide:** término que significa "similar al núcleo", pues es lo que contiene al ADN en las células procarióticas (células sin núcleo).



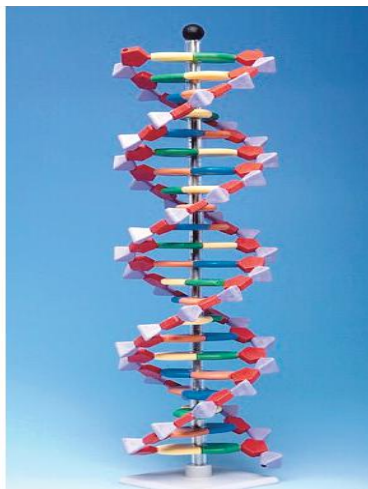


Figura 1.11. Modelo de  
molécula de ADN.

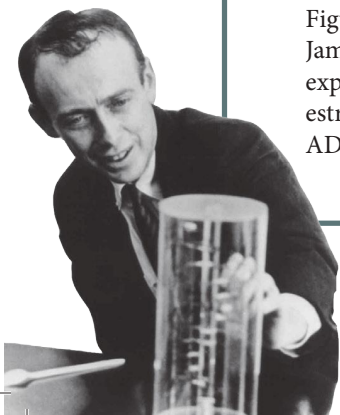
**50 años de la doble hélice: la molécula más bella del mundo por Martín Bonfil Olivera**

Todos sabemos lo importante que es el ADN: los genes que están en el núcleo de cada una de nuestras células están hechos de ADN. Desde ahí controlan qué proteínas fabrica la célula y cuándo. Como las proteínas forman el material del que están hechas las células, y además regulan las reacciones químicas que se llevan a cabo ahí dentro, resulta que los genes del núcleo controlan indirectamente todas las actividades de una célula (y por lo tanto, de todo ser vivo).

En el siglo XXI nos encontramos con el tema de los genes a cada paso: hablamos de enfermedades genéticas, causadas por defectos en la información de los genes. Podemos fabricar sustancias útiles por medio de la “ingeniería genética”, que es una forma elegante para decir que introducimos en un organismo genes de otro. En todos lados se discuten los pros y contras de la clonación, o producción de un organismo que contenga exactamente los mismos genes que otro. Se habla también de los peligros y beneficios que puede acarrear la creación de plantas y animales transgénicos (los que contienen genes procedentes de otra especie). En pocas palabras, estamos viviendo plenamente en la era de la genética. Sin embargo, todo esto comenzó con un descubrimiento hecho hace medio siglo.

Figura 1.12.  
James Watson  
explicando la  
estructura del  
ADN.

El 25 de abril de 1953 se publicó en la revista inglesa *Nature* uno de los artículos científicos más importantes de la historia. Se titulaba *Estructura molecular de los ácidos nucleicos. Una estructura para el ácido nucleico de desoxirribosa*, y estaba firmado precisamente por J. D. Watson (figura 1.12) y F. H. C. Crick.



El título no parece muy emocionante, pero hizo que sus autores recibieran, nueve años después, el premio Nobel de fisiología y medicina. El artículo fue la culminación del trabajo de muchas personas durante varios años. Puede considerarse que con su publicación se inició la era de la genética moderna. Y cuando decimos “genética moderna” nos referimos a la genética molecular: a partir del artículo de Crick y Watson pudo entenderse cómo estaban hechas las moléculas de la herencia.

### *Armando el rompecabezas de la vida*

Watson y Crick partieron del muy sensato principio de que para entender cómo funciona algo, primero hay que saber cómo está hecho. Por ello, decidieron concentrarse en averiguar la estructura molecular del ADN.

En 1951, cuando comenzaron a investigarlo, ya se conocía algo sobre la estructura de la intrigante molécula. Se sabía, por ejemplo, que contenía carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo. También se sabía que está formada por largas cadenas de unidades llamadas nucleótidos. La columna vertebral de la molécula está formada por fósforo (en forma de grupos fosfato) y el azúcar desoxirribosa. De esta columna sobresalen las llamadas bases púricas (adenina y guanina) y pirimídicas (timina y citosina). Se pensaba que, de alguna manera, la información genética del ADN estaba “escrita” en el orden de las bases en la molécula. Lo que no se sabía era cuántas cadenas formaban una molécula, ni cómo se acomodaban una respecto a otra.

Finalmente, se contaba también con un dato curioso: estudiando ADN de diversas especies, el bioquímico austriaco Erwin Chargaff había encontrado que el contenido de adenina era siempre igual que el de timina, y el de guanina era igual al de citosina (aunque las proporciones de adenina + timina y guanina + citosina variaban según el organismo de que se tratara). Nadie podía imaginar qué significaban estas “reglas de Chargaff”, pero estaba claro que no se trataba de una coincidencia.

Por aquel entonces, Watson era un “niño genio” de 23 años. Había obtenido su doctorado en Chicago, donde se había especializado en ornitología (el estudio de los pájaros). Había ido a Copenhague, Dinamarca, a estudiar genética, pero como encontró poco estimulante el ambiente, decidió mejor ir a Cambridge, Inglaterra, al famoso Laboratorio Cavendish, donde se aplicaba una nueva técnica conocida como “cristalografía por difracción de rayos X” (véase recuadro) para estudiar la estructura de moléculas biológicas, sobre todo proteínas.

Crick, por su parte, tenía 33 años y, luego de estudiar Física y trabajar en el desarrollo del radar, durante la Segunda Guerra Mundial, había ido a dar al mismo laboratorio. Se reconocía ampliamente su gran inteligencia, pero hasta el momento no había logrado

obtener un éxito importante. Como la mayor parte de los científicos que trabajaban ahí, se interesaba en averiguar la estructura molecular de las proteínas.

### *La molécula más bella del mundo*

Quizá la característica más impresionante de la molécula de ADN es su belleza. Se trata de una estructura simétrica, armoniosa, que impresiona con su mezcla de sencillez y complejidad. Cuando Crick y Watson (figura 1.13) la observaron por primera vez, pensaron, entusiasmados que “una estructura tan bonita tenía, por fuerza, que existir”. Pero la belleza de la molécula no se halla sólo en su forma: también radica en la casi increíble simplicidad con que se reproduce a sí misma, conservando el orden de sus bases —la información genética— a lo largo de millones de generaciones.

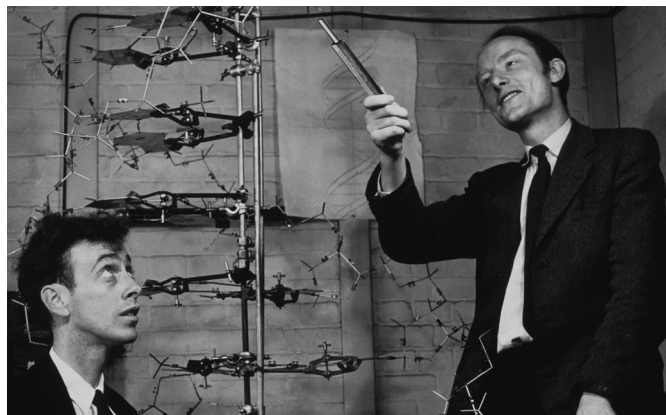


Figura 1.13. James Watson y Francis Crick en 1953.

Cuando Watson, jugando con sus modelos, se topó con la idea fallida de la unión entre bases iguales, faltaban sólo unos pocos ajustes para dar con la estructura correcta. En poco tiempo se dio cuenta de que también podían formarse otro tipo de pares unidos por puentes de hidrógeno, esta vez uniendo una base púrica con una pirimídica: la adenina podía unirse perfectamente sólo con la timina, y la guanina sólo con la citosina.

Inmediatamente se lo comunicó a Crick, quien verificó que con los nuevos pares de bases podía construirse una hélice estable. También se dieron cuenta de que esta nueva configuración resolvía el problema del ancho de la molécula (ahora todos los “escalones” de la escalera de caracol eran del mismo ancho, formados por una base grande y otra pequeña). Y por si fuera poco, seguía permitiendo que una cadena sirviera como molde para construir la otra. Sólo que ahora, en vez de que el orden de las bases fuera idéntico, las dos cadenas eran complementarias. Pero había algo más importante todavía: la nueva estructura explicaba, en forma totalmente natural, las extrañas reglas de Chargaff: ahora estaba claro por qué la cantidad de adenina en cualquier molécula de ADN tenía

que ser igual a la de timina, y la de guanina a la de citosina. Las piezas sobrantes del rompecabezas finalmente habían caído en su lugar. A partir de ese momento, la ruta fue directa. El modelo de la doble hélice fue comprobado ampliamente en los años siguientes, y abrió nuevas y prometedoras vías de investigación. Nueve años después, en 1962, James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins recibieron el premio Nobel de fisiología o medicina por su descubrimiento. Rosalind Franklin había muerto en 1958.

Con base en conocimientos de Química y datos físicos obtenidos por Franklin y Wilkins, Watson y Crick pudieron desentrañar el más profundo secreto de la Biología. El resultado fue de una simplicidad admirable. Al igual que el físico Fritz Houtermans, quien en 1929 fue el primero en desentrañar la cadena de reacciones nucleares que hacen que el Sol brille, Crick y Watson pudieron enorgullecerse de ser los primeros en deslumbrarse con la belleza de la doble hélice, situada en el núcleo mismo de la vida. Desde entonces, y hasta llegar a la actual era de la genética, la perfección de esta molécula sigue fascinando a quienes la conocemos. Entender la doble hélice, puente entre la Química y la Biología, es admirarla.

Sobre el autor: Martín Bonfil Olivera es químico farmacéutico biólogo y divulgador de la ciencia. Trabaja en la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Colabora con diversas publicaciones y escribe la columna mensual “Ojo de mosca” en la revista *¿Cómo ves?*

**Fuente:** <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/53/50-anos-de-la-doble-helice-la-molecula-mas-bella-del-mundo>





## Aprende más

### Ciclo celular

La habilidad de los organismos para producir más de su especie es una de las características que mejor distinguen a los organismos vivos de los organismos inertes. Esta única capacidad para procrear tiene una base celular. Rudolf Virchow, un físico alemán, postuló en 1855: *donde una célula existe, debió existir una célula preexistente*. Por lo tanto, la continuidad de la vida se basa en la reproducción de las células, o división celular.

Además, la división celular juega importantes papeles en la vida. El crecimiento de una célula, la reproducción asexual, la renovación y reparación de tejidos, el desarrollo embrionario son algunos ejemplos de procesos que requieren la formación de nuevas células.

El proceso de división celular es parte integral del ciclo celular, es decir, la vida de una célula desde su formación hasta dividirse en dos células hijas. Una función crucial de la división celular es la transmisión del material genético idéntico de la célula a su descendencia.

El ciclo celular eucarionte está dividido en dos fases importantes: interfase y mitosis o propiamente la división celular.

### Interfase

Antes de que la célula se divida en dos células hijas, es necesario que el ADN se replique, es decir, que cada cromosoma sea convertido de una sola molécula de ADN a dos moléculas idénticas de ADN, llamadas cromátidas hermanas (figura 1.14).

La replicación del ADN ocurre en la *interfase*, la cual se caracteriza por ser un periodo muy activo en la vida de una célula, donde además de la replicación del ADN también ocurren otras reacciones metabólicas importantes, tales como la síntesis de proteínas y el incremento en el número de mitocondrias y cloroplastos.

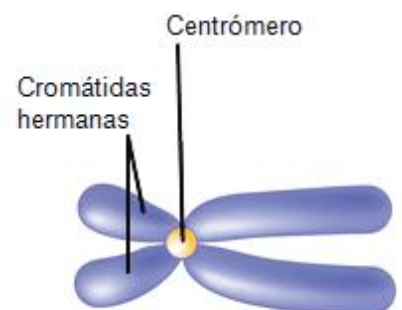


Figura 1.14. Estructura de un cromosoma eucarionte.

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

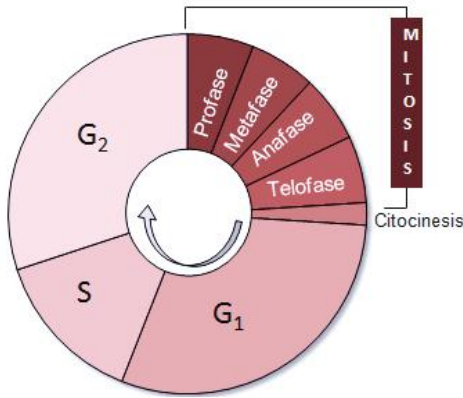


Figura 1.15. Ciclo celular eucarionte. El ciclo celular eucarionte consta de interfase y mitosis. La interfase comprende G<sub>1</sub>: crecimiento y diferenciación celular; S: síntesis de ADN; G<sub>2</sub>: crecimiento y preparación para la división celular.

La interfase se subdivide en tres fases: la fase G<sub>1</sub>, la fase S y la fase G<sub>2</sub> (figura 1.15). En la fase S la célula replica el material genético en su núcleo. Algunas células no llevan a cabo el ciclo celular porque una vez que se han originado no necesitan dividirse y en lugar de entrar en G<sub>1</sub> pasan temporal o permanentemente a una fase de reposo metabólico llamada G<sub>0</sub>.

## Mitosis

Las nuevas células, genéticamente idénticas a la célula madre, son creadas a través de un proceso llamado *mitosis* que involucra la división del núcleo celular eucariótico para formar dos núcleos genéticamente idénticos. Por lo tanto, la mitosis permite a la célula dividirse en

dos células hijas idénticas. Después de la división celular, las células hijas vuelven a crecer y dividirse, o bien se diferencian y se especializan en determinadas funciones, como la contracción muscular (células musculares), el combate de infecciones (leucocitos) o la producción de enzimas digestivas (células del páncreas y el hígado). Este esquema repetido de división, crecimiento y diferenciación y luego nueva división se llama ciclo celular.

Aunque la mitosis es un proceso continuo, está dividida en cuatro fases: *profase*, *metafase*, *anafase* y *telofase*.

### P Profase

Los cromosomas se compactan y acortan por un proceso llamado *súper enrollamiento*. Inicia la formación de los microtúbulos del **huso mitótico**. Al final de la profase la membrana nuclear empieza a fragmentarse (figura 1.16).

### M Metafase

Los **microtúbulos** del huso mitótico se enlazan a los **centrómeros** de cada cromosoma para posicionar a las cromátidas hermanas en el ecuador de la célula en un “juego de estira y afloja”.

### A Anafase

Al inicio de la anafase el huso mitótico separa a las cromátidas hermanas y las posiciona en los polos opuestos de la célula. Ahora las cromátidas hermanas se con-

vierten en cromosomas independientes. De esta manera la mitosis produce dos núcleos genéticamente idénticos.

### T Telofase

Como los cromosomas hijos son copias idénticas de los cromosomas originales, cada agrupamiento de cromosomas que se forma en los polos opuestos de la célula contiene una copia de todos los cromosomas que estaban en la célula progenitora. En esta etapa final de la mitosis los microtúbulos del huso se desensamblan y desaparecen y se forma una envoltura nuclear alrededor de cada grupo de cromosomas.



**Centrómero:** lugar del cromosoma donde las cromátidas hacen contacto.

**Huso mitótico:** se refiere al conjunto de microtúbulos producidos por los centriolos durante la reproducción celular para el transporte de materiales durante la división celular.

**Microtúbulo:** estructuras de la célula que tienen forma de tubo (tubular) y que se encargan de transportar materiales y sustancias de la célula durante la división celular.

El proceso final de la división celular es llamado *citocinesis*. Usualmente inicia después de la mitosis y ocurre de manera distinta en las células animales y en las células vegetales.

En las células animales la membrana celular es contraída hacia dentro de la célula justo en el ecuador (a la mitad de la célula) para formar un surco de segmentación (figura 1.17) Además, dos proteínas contráctiles, la actina y la miocina, ayudan a la completa segmentación de la célula madre para dar origen a dos nuevas células hijas.

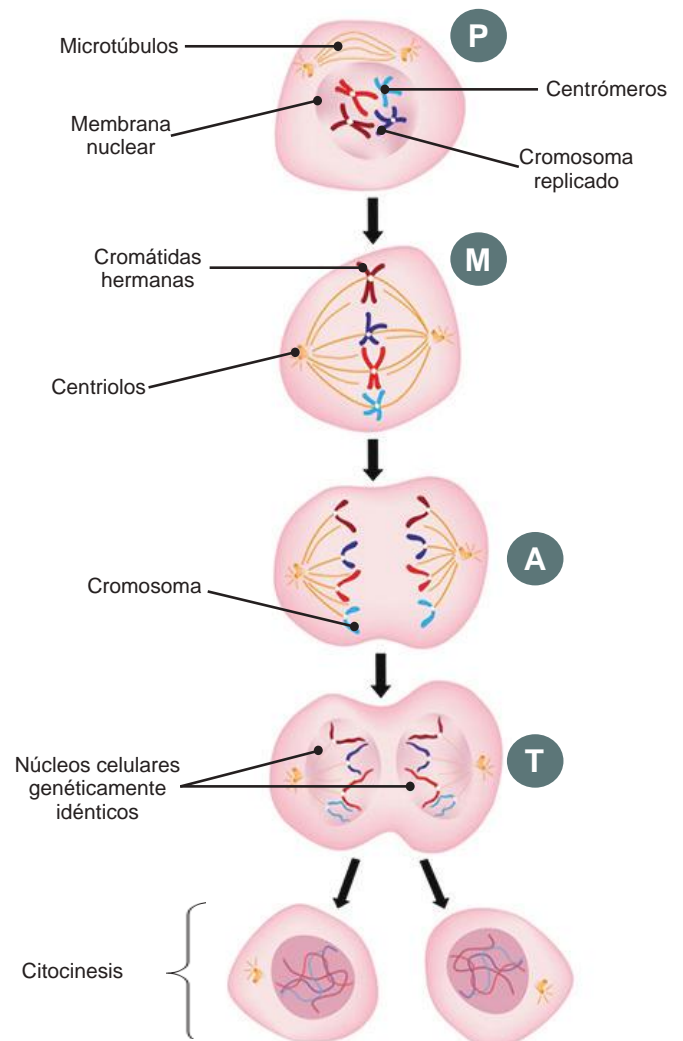


Figura 1.16. Fases de la mitosis y citocinesis.

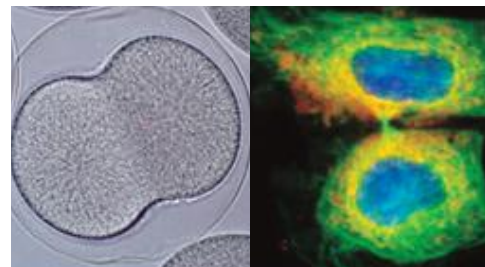


Figura 1.17. Citocinesis en células animales de erizo de mar.

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

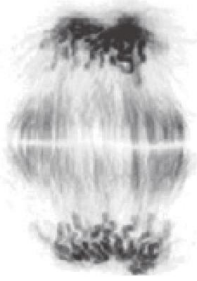


Figura 1.18.  
Citocinesis en célula vegetal de cebolla.

En las células vegetales las vesículas se mueven hacia el ecuador de la célula, donde éstas se fusionan entre sí para formar estructuras tubulares que darán origen a dos capas de membrana a lo ancho del ecuador, las cuales se convertirán más tarde en las membranas plasmáticas de las células hijas rodeando todo el citoplasma hasta la completa división del mismo (figura 1.18).

Posteriormente, las pectinas y otras sustancias como la celulosa, contenidas en las vesículas, son depositadas por exocitosis entre las dos membranas recién formadas, lo cual dará origen a las paredes celulares de las nuevas células hijas.

## Ciclo celular de los procariontes

El ciclo celular de procariontes consiste en un periodo relativamente largo de crecimiento, donde la célula también duplica su ADN, seguida por una forma de división celular (figura 1.19) llamada fisión binaria, que significa “dividirse en dos”. Como la replicación del ADN produce dos moléculas idénticas de ADN, las dos células hijas son genéticamente idénticas una a la otra y a la célula madre. En condiciones óptimas de temperatura, pH, concentración de nutrientes y sales, la división binaria de las células procariontes ocurre rápidamente.

1. La célula duplica su ADN y las dos dobles hélices se unen a la membrana plasmática en lugares cercanos.
2. La membrana plasmática se alarga y se separan las moléculas de ADN.
3. Inicia la formación de la pared celular y de la membrana plasmática entre los puntos de unión.
4. La membrana plasmática crece hacia dentro en la mitad de la célula y se completa la pared celular.
5. La célula madre se divide en dos células hijas.

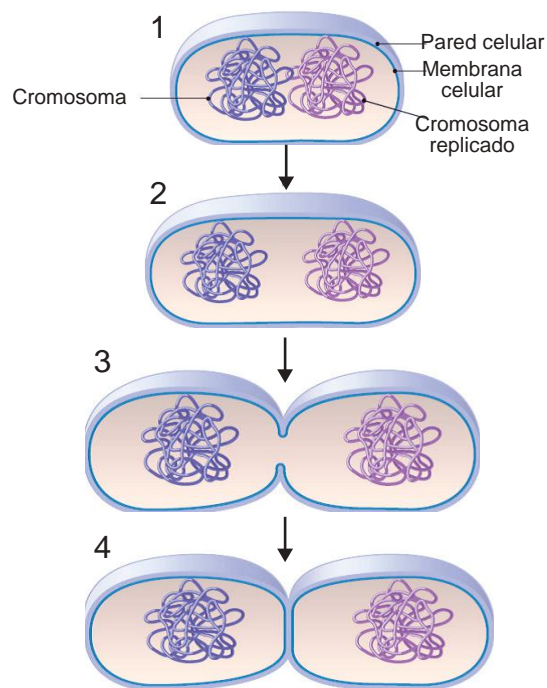


Figura 1.19. División celular de procariontes.

## Control de ciclo celular

Muchas células de nuestro cuerpo, como las de la mucosa gástrica y la piel, se dividen durante toda nuestra vida. Otras, como las del hígado o los glóbulos blancos de la sangre, se dividen sólo en respuesta a estímulos (daño a un tejido o una infección). Otras más, como las del cerebro y el corazón nunca se dividen en un adulto. Sin embargo, todas las células tienen mecanismos muy estrictos que regulan su proceso de división celular e indican a la célula cuándo debe dividirse y cuándo no es necesaria su división.

Un número increíble de moléculas de naturaleza proteica controlan el ciclo celular, las más estudiadas a la fecha son proteínas llamadas *ciclinas* y *cinasa dependientes de ciclina*. Estas proteínas actúan en tres puntos clave o puntos de control durante el ciclo celular de una célula (figura 1.20) (Audesirk, 2013).

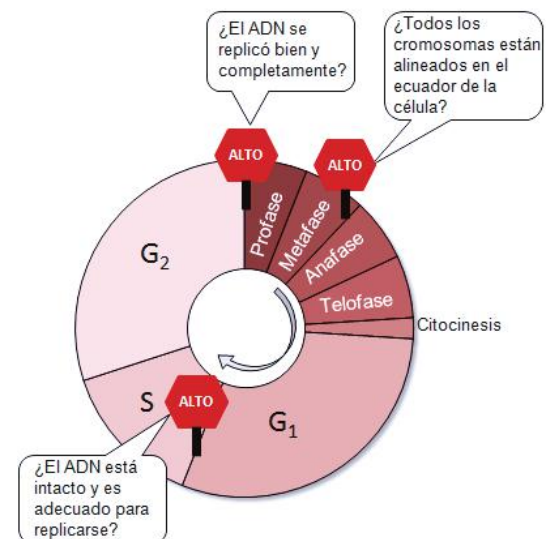


Figura 1.20. Puntos de control en el ciclo celular eucariótico.

## Cáncer

Un control incorrecto de la verificación en el ciclo celular es una causa importante de cáncer.

Las células cancerosas se dividen excesivamente, ya que no ponen atención a las señales de regulación del ciclo celular. La base de estas células anormales es frecuentemente un cambio o mutación en uno o más genes que alteran la función de sus productos proteicos, resultando en una falla en el control del ciclo celular. Además, las células cancerosas evaden los controles normales que indican a una célula que debe morir cuando ocurrió algún daño en su ADN.

El sistema inmune del cuerpo normalmente reconoce a las células cancerosas como un intruso y las destruye; sin embargo, si la célula evade la destrucción, puede proliferar y formar un tumor, es decir, una masa de células anormales. Las células anormales pueden permanecer en el lugar de inicio si es que tienen pocas alteraciones genéticas, en este caso es llamado tumor benigno, el cual no causa serios problemas de salud y puede retirarse con cirugía. En contraste, un tumor maligno incluye células con grandes alteraciones genéticas que las hace capaz de invadir nuevos tejidos y dañar las funciones de otros órganos.



Figura 1.21. Uno de los efectos de la quimioterapia es la pérdida del cabello.



# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

Cuando un individuo tiene un tumor maligno se dice que padece cáncer (Reece *et.al.*, 2009).



## Sabías que...

La electrodinámica tiene aplicaciones en la lucha contra el cáncer. Científicos de la Universidad de Tufts han identificado una señal bioeléctrica (electricidad en el cuerpo humano) que permite identificar cuáles células podrían convertirse en tumores, por lo que puede ser posible hacer ciertos pronósticos para monitorear el crecimiento y reproducción de las células cancerosas, si se conocen los voltajes que las identifican.



Aprende más

## Meiosis y el ciclo de vida sexual

Hay una gran cantidad de organismos muy exitosos que se reproducen asexualmente. Por ejemplo, los mohos *penicillium* (que sintetizan penicilina) y *Aspergillus niger* (manufactura comercial de vitamina C). El pasto y la hierba se reproducen mediante brotes del tallo o la raíz. Sin lugar a dudas es muy importante la reproducción asexual, pero entonces, ¿por qué tantos organismos se reproducen sexualmente? La respuesta es sencilla, porque la reproducción asexual, o sea la mitosis, sólo produce descendientes celulares genéticamente idénticos a la célula madre. Por el contrario, en la reproducción sexual (*meiosis*) se combinan los genes de los padres para producir descendientes únicos desde el punto de vista genético, lo cual constituye una ventaja evolutiva.

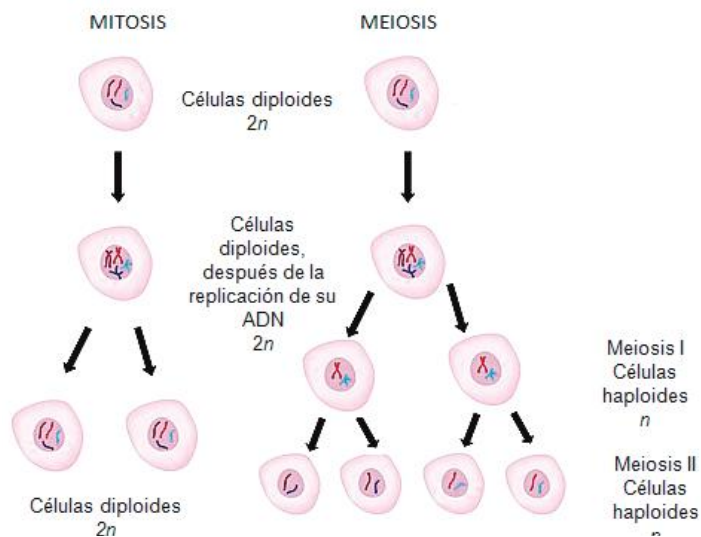


Figura 1.23. Resumen de las fases de la mitosis y la meiosis.

La *meiosis* es el mecanismo que permite a los organismos eucariontes reproducirse sexualmente. La meiosis (que proviene de la palabra griega que significa “disminuir”) reduce a la mitad el número de cromosomas de una célula diploide. Por ejemplo, las células humanas precursoras de los espermatozoides u óvulos tienen 23 pares de cromosomas (células diploides), y cuando éstas se dividen a través de la meiosis dan origen a gametos (espermatozoides y óvulos) con 23 cromosomas, uno de cada par (células haploides). La meiosis evolucionó a partir de la mitosis, así que la mayoría de los acontecimientos que ocurren en ambas son muy parecidos.

A diferencia de la mitosis, en la meiosis ocurren dos divisiones nucleares (figura 1.23). La primera, llamada meiosis I, separa los pares de cromosomas homólogos y envía uno de cada par a las nuevas células hijas. Ahora bien, cada cromosoma homólogo sigue constando de dos cromátidas. En la segunda división, llamada meiosis II, las células hijas nuevamente se dividen y las cromátidas hermanas se separan. Por lo tanto, al final de la meiosis hay cuatro células haploides hijas. A continuación se describen detalladamente las etapas de la meiosis.

## Meiosis I

### PI Profase I

Los cromosomas duplicados se **condensan**. Se da un mecanismo de entrecruzamiento entre pares de cromosomas homólogos. La envoltura nuclear desaparece y se forman los microtúbulos del huso.

### MI Metafase I

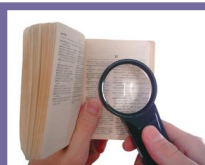
Los cromosomas homólogos se alinean en el ecuador de la célula a través de la unión de éstos con los microtúbulos del huso.

### AI Anafase I

Los cromosomas homólogos de cada par se separan y son dirigidos a polos opuestos de la célula.

### TI Telofase I

Desaparecen los microtúbulos del huso. Se forman dos conjuntos de cromosomas, uno por cada nueva célula hija. Cada uno contiene un miembro de cada par de homólogos. La citocinesis ocurre simultáneamente con la telofase I, formando dos células haploides hijas.



**Condensación:** compactación de las moléculas de ADN. El resultado es que los cromosomas se hacen más cortos.

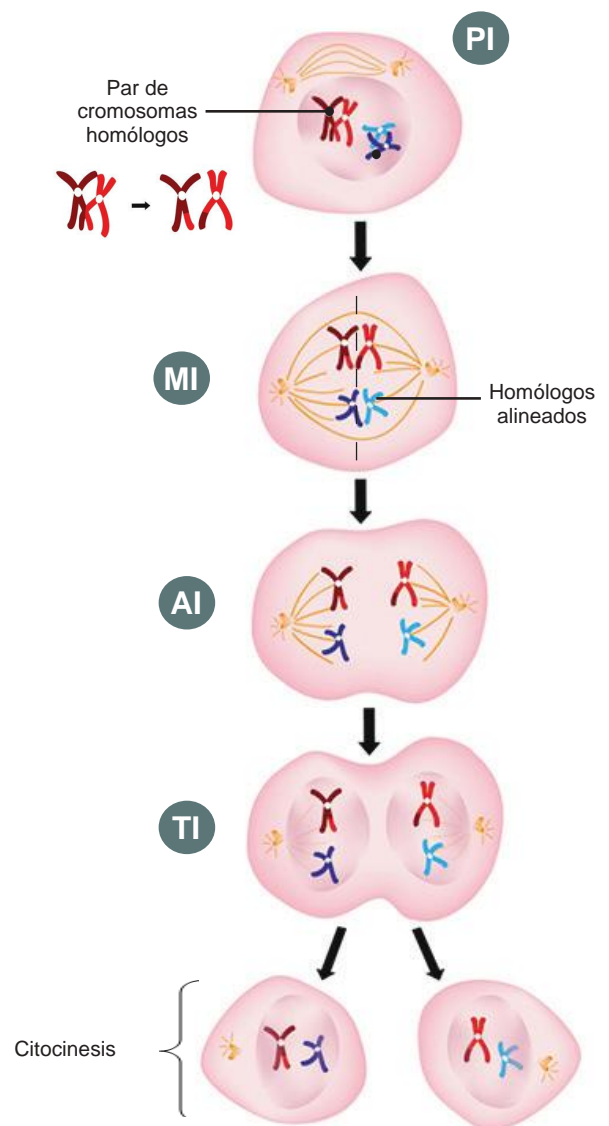


Figura 1.24. Meiosis I y citocinesis.

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

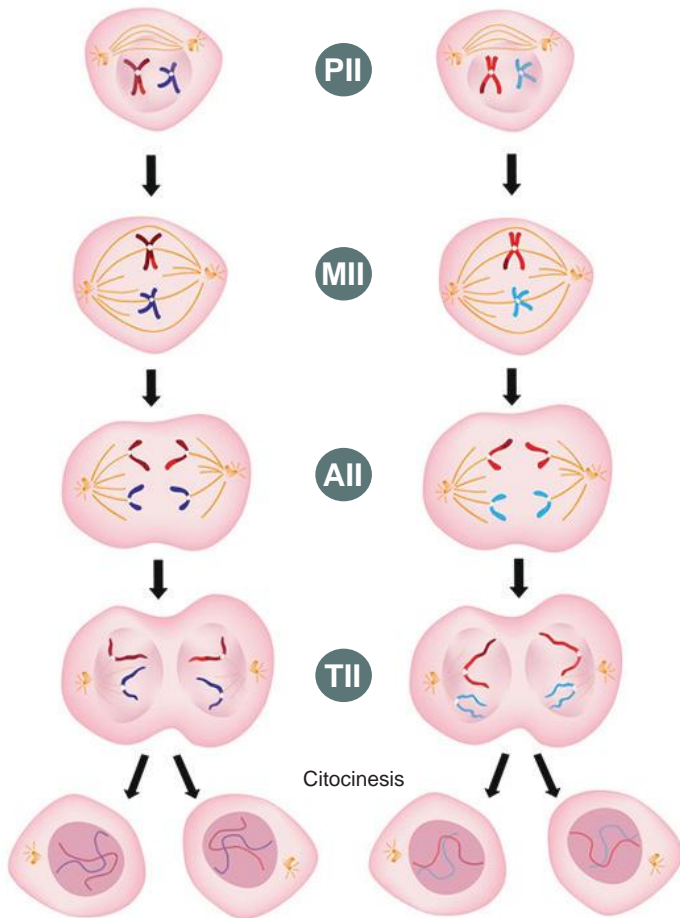


Figura 1.25. Meiosis II y citocinesis.

## TII Telofase II

Se forma el núcleo, los cromosomas empiezan a condensarse y ocurre la citocinesis. La división meiótica de una célula parental produce cuatro células hijas haploides. Las cuatro células hijas son genéticamente distintas una de la otra y de la célula parental.

En algunas ocasiones ocurren errores en la meiosis, llamados no disyunción, los cuales pueden afectar el número de cromosomas sexuales o de autosomas. Es posible que los cromosomas homólogos no se separen durante la meiosis I o que las cromátidas hermanas no se aparten durante la meiosis II (figura 1.25). Cuando cualquiera de estas situaciones se presenta, se forman gametos que contienen una cantidad anormal de cromosomas, ya sea un cromosoma de más o uno de menos.

En la mayor parte de los casos el cigoto se convierte en un embrión anormal que muere en algún momento de su gestación, sin embargo, en algunos casos el cigoto

## Meiosis II

### PII Profase II

Un huso mitótico se forma. Los cromosomas, cada uno compuesto por dos cromátidas hermanas, se asocian a los centrómeros para desplazarse hacia el ecuador de la célula.

### MII Metafase II

Los cromosomas son posicionados en el ecuador de la célula. Debido al entrecruzamiento en la meiosis I, las cromátidas hermanas no son genéticamente idénticas. Los microtúbulos del huso se unen a los centrómeros de cada cromátidas hermanas extendiéndolas hacia los polos opuestos de la célula.

### AII Anafase II

Las cromátidas hermanas son desplazadas a los polos opuestos de la célula como cromosomas individuales.

se desarrolla hasta convertirse en un lactante cuyas células tienen un número anormal de cromosomas, lo que se conoce como *aneuploidia*.

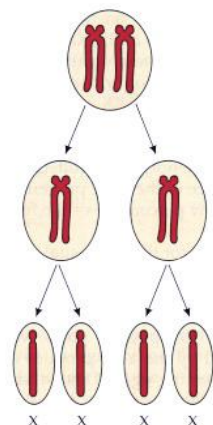


Figura 1.26. Meiosis normal.

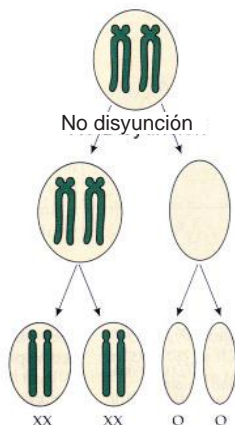


Figura 1.27. No disyunción en la meiosis I.

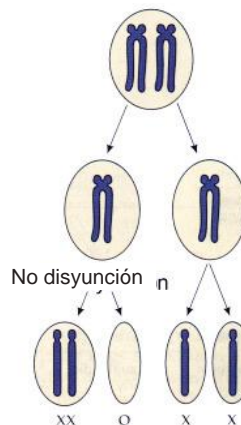


Figura 1.28. No disyunción en la meiosis II.



Figura 1.29.

El complemento cromosómico normal de los humanos es veintitrés pares de autosomas y un par de cromosomas sexuales representados como X y Y. Las aneuploidias tienen un trasfondo genético que se manifiesta fenotípicamente en los individuos afectados, como un síndrome con características específicas. El síndrome de Down o Trisomía 21 es una de las aneuploidias más comunes y más conocidas en la población, en la cual se ve afectado el número de autosomas. En aproximadamente uno de cada 900 nacimientos, el hijo hereda una copia de más del cromosoma 21 (figura 1.27). Los niños con síndrome de Down tienen varias características físicas distintivas, como tono muscular débil, boca pequeña y una forma peculiar de los ojos (figura 1.29). Defectos más graves son: poca resistencia a las enfermedades infecciosas, malformaciones del corazón y retraso mental. En las tablas que se presenta a continuación se mencionan los síndromes más comunes en los que se ve afectado el número de cromosomas sexuales, es decir, los cromosomas X y Y.

No disyunción en el padre			
Par de cromosomas sexuales en el espermatozoide defectuoso	Par de cromosomas sexuales en el óvulo normal	Par de cromosomas sexuales en el óvulo normal	Síndrome
O Ninguno	X	X	Mujer: síndrome de Turner
XX	X	XXX	Mujer: trisomía X
XY	X	XXY	Hombre: síndrome de Klinefelter
YY	X	XYY	Hombre: síndrome de Jacob



# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

No disyunción en la madre			
<i>Par de cromosomas sexuales en el espermatozoide normal</i>	<i>Par de cromosomas sexuales en el óvulo defectuoso</i>	<i>Número anormal de cromosomas sexuales en el hijo</i>	<i>Síndrome</i>
X	O Ninguno	XO	Mujer: síndrome de Turner
Y	O Ninguno	YO	Muere como embrión
X	XX	XXX	Mujer: trisomía X
Y	XX	XXY	Hombre: síndrome de Klinefelter



## Aprende más

# Avances científico-tecnológicos en el campo de la reproducción celular y sus implicaciones en la sociedad

## Clonación

La clonación es la producción de uno o más organismos (clones) genéticamente idénticos a otro. Las ranas fueron los primeros animales clonados en la década de 1950. En 2005, investigadores de la Universidad Nacional de Corea del Sur produjeron a *Snuppy* (figura 1.30), un sabueso afgano clonado y posteriormente produjeron tres clones más de perros. Algunos de éstos son “copias” del mejor perro rastreador de drogas de Corea del Sur.

El ganado valioso es otro animal favorito de la clonación. En 2006 la empresa ViaGen, en Texas, clonó el caballo *Scamper*, 10 veces campeón mundial de carreras de barriles.



Figura 1.30. *Snuppy* (a la derecha). Primer perro clonado con su donante genético, un perro de raza afgano.

## Células madre

Son aquellas células que tienen la capacidad de formar un organismo completo o estructuras de nuestro organismo y que se pueden renovar nuevamente y en algunas otras se autolimitan. El linaje de células madre es el siguiente: totipotente, pluripotente, multipotente (ver glosario).

La enfermedad de Parkinson (EP) es una patología que mata o daña las neuronas en el cerebro. Éstas controlan los movimientos musculares mediante un neurotransmisor denominado dopamina, que lleva mensajes entre las neuronas. Además de los problemas de control muscular, las personas que padecen la enfermedad experimentan dificultades de rigidez, equilibrio y coordinación muscular. Al comienzo, los síntomas no son notorios, pero empeoran con el tiempo. En la actualidad no se conoce cura para esta enfermedad. Los científicos desconocen las causas de la EP. Algunos casos se han asociado a la mutación de genes, la aparición de proteínas en las células cerebrales y a factores ambientales.

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

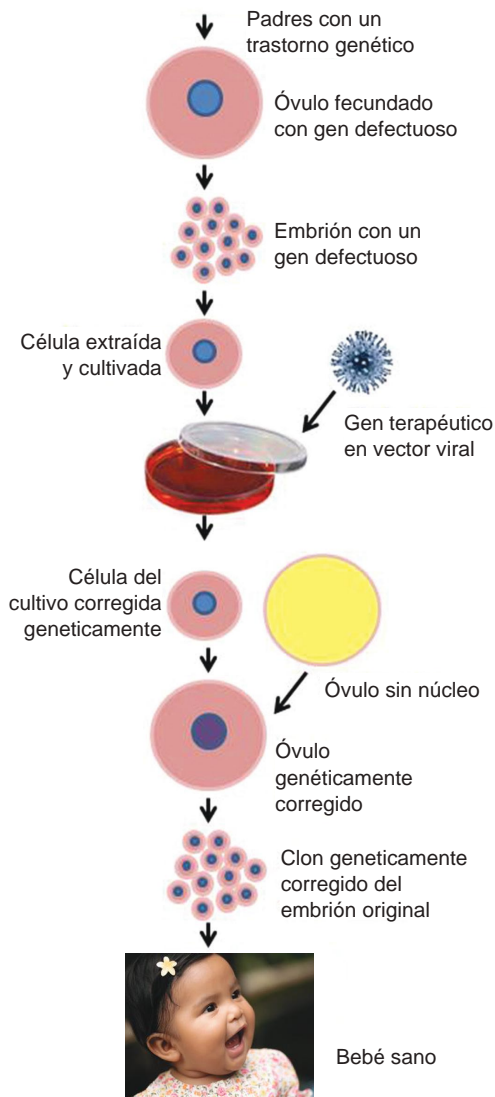


Figura 1.31. Empleo de la Biotecnología para corregir defectos genéticos en embriones de seres humanos.

Recientemente, los científicos experimentaron con células madre para reemplazar las neuronas cerebrales perdidas o dañadas a causa de la EP. Los científicos del estudio trabajaron en la creación de células madre a partir de células de la piel de los pacientes con EP.

Estas células madre podrían emplearse para producir neuronas que produzcan dopamina. Mediante procedimientos quirúrgicos, los médicos podrían implantar en el cerebro las neuronas recién creadas. Dado que las células madre provienen del cuerpo del paciente, el sistema inmune no las rechazaría, como ocurre con las células o con los órganos donados por otra persona.

La investigación sobre células madre está en sus primeras etapas con un estudio piloto que usa monos Rhesus como pacientes. Los científicos esperan que su trabajo ayude a aliviar algún día los síntomas que hacen de la EP una enfermedad devastadora (Biggs *et al.*, 2012).

## Empleo de la Biotecnología para corregir defectos genéticos en embriones de seres humanos

¿Debería permitirse que los padres seleccionen y/o cambien los genomas de sus descendientes? El 4 de julio de 1994 nació en Colorado una niña con anemia de Fanconi, un trastorno genético que es mortal si no se realiza un trasplante de médula ósea. Sus padres querían tener otro hijo que pudiera donar las células de médula ósea a su hermana, por lo que buscaron la ayuda de Yury Verlinsky del Instituto de Genética Reproductiva en Estados Unidos. Verlinsky utilizó los gametos de ambos padres para crear docenas de embriones en cultivos. Los embriones fueron sometidos a pruebas para detectar el defecto genético y para verificar la compatibilidad con los tejidos de su hija. Verlinsky escogió un embrión con el fenotipo deseado y lo implantó en el útero de la madre. Nueve meses después nació un niño. La sangre del cordón umbilical proporcionó las células para el trasplante de médula ósea para su hermana. Finalmente, con este procedimiento la niña quedó curada. ¿Es ético hacer esto si es la única manera de salvar la vida de otro niño?

# Bloque I

Identificas los tipos de reproducción celular y de los organismos, y su relación con el avance científico

La tecnología actual permite a los médicos seleccionar entre los embriones existentes y no cambiar su genoma. Pero hay tecnologías que alteran el genoma de los organismos (figura 1.31).

¿Qué pasaría si la **Biotechnología** pudiera cambiar los genes del óvulo fecundado? Todavía no es posible, pero con seguridad sucederá en un futuro muy próximo.



**Biotechnología:** se refiere a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.