

14 División celular

Las células de muchos organismos eucariontes pluricelulares, como animales, plantas y hongos, pueden presentar dos modalidades de división celular: **mitosis** y **meiosis**. A través de la mitosis la célula experimenta un proceso de división nuclear en la que se generan **dos núcleos** con el **mismo número de cromosomas** que el que presenta la célula de origen. Esta modalidad de división nuclear forma parte de la **reproducción celular**, dado que, como resultado de la mitosis y de la subsecuente división del citoplasma (citodiéresis o citoquinesis), se originan dos células idénticas a la progenitora.

En la meiosis se originan cuatro células con la **mitad de la dotación cromosómica** de las células somáticas de la especie, es decir, células haploides si las células somáticas son diploides, o células diploides si las somáticas son tetraploides. Este tipo de división celular da origen a los **gametos** (óvulos y espermatozoides).

Ciclo celular

Un ser humano adulto está formado por unos cien billones de células, aproximadamente. Al unirse un óvulo y un espermatozoide, en la fecundación, se origina el **cigoto**, célula que contiene la información genética proveniente de la madre y del padre. Luego que los núcleos de los gametos se han fusionado, el cigoto entra en una fase de proliferación celular, vale decir, comienza a dividirse sucesivamente. De este modo, a partir de una única célula se originan las millones de células que forman a un individuo adulto, donde cada célula hija debe recibir la información genética aportada por ambos progenitores. Para que esto ocurra, la información genética debe repartirse equitativamente en las dos células hijas, suceso que se lleva a cabo en la división celular.



El cigoto, que se origina tras la fecundación, contiene la mitad de los cromosomas (información genética) proveniente del padre y la otra mitad, de la madre.

Para dividirse, toda célula experimenta una serie de transformaciones que culminan en la generación de dos células hijas. Esta serie de cambios recibe el nombre de **ciclo celular** o **ciclo proliferativo** y consta de las etapas que se describen a continuación.

Duración del ciclo celular.

En células humanas de división rápida, el ciclo celular tiene una duración de 24 horas, donde G1 dura 9 horas; S, 10 horas; G2, 4,5 horas y mitosis, 30 minutos.

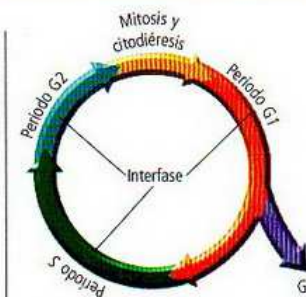
- **Período G1.** Es el punto de inicio del ciclo celular. En esta etapa la célula entra en un **período de crecimiento**, por lo que aumenta de tamaño; aumenta el número de organelos celulares y la síntesis de algunas enzimas. Los centriolos se separan y comienzan a duplicarse. Cuando la célula ha alcanzado un tamaño suficiente, y bajo ciertos estímulos, puede ingresar a la siguiente etapa.
- **Período S.** Etapa caracterizada por la **síntesis, duplicación o replicación** del material genético.

Los cromosomas de las células que han iniciado el ciclo celular cuentan solo con una cromátida. En esta etapa cada cromosoma se duplica, es decir, cada hebra de ADN origina una copia idéntica, quedando ahora cada cromosoma constituido por **dos cromátidas**.

La duplicación del material genético requiere que las moléculas de ADN se encuentren menos empaquetadas, por lo que deben desprenderse de las proteínas que participan en la condensación de los cromosomas, lo cual permite que las enzimas encargadas puedan sintetizar la nueva hebra.

- **Período G2.** En esta etapa la célula se prepara para la división: se reparan algunos errores que ocurren en la duplicación del ADN, los cromosomas comienzan a condensarse, y se producen estructuras relacionadas con la división del núcleo y del citoplasma. Al finalizar esta etapa la célula se encuentra lista para dividirse.
- **Mitosis.** En esta etapa ocurre la división del núcleo celular, proceso en el cual se reparte en forma equitativa el material genético en las dos células hijas. Una vez que el núcleo se ha dividido, el citoplasma también lo hace, proceso denominado **citodiéresis** o **citoquinesis**. Así, cada célula hija recibe la misma cantidad de material genético y una parte más o menos igual de citoplasma.

Finalmente, cada célula hija permanece en el período G1 para comenzar un nuevo ciclo celular. Sin embargo, hay células altamente especializadas que salen del ciclo, tales como las neuronas, las células musculares estriadas y los glóbulos rojos, que permanecen en un estado de pausa o latencia proliferativa, cesando su división, período denominado **G₀**. También, algunas células pueden detener su ciclo en G2 (por lo general células vegetales) y entrar en un estado de latencia proliferativa similar a G₀. Es por eso que en la actualidad se habla de G₀₁ y G₀₂, para células que se han salido del ciclo en G1 y G2, respectivamente.



El ciclo celular contempla los procesos de mitosis y citodiéresis y la etapa de interfase que agrupa a los períodos G1, S y G2.

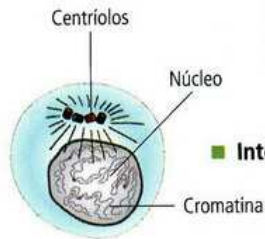
Cantidad de ADN en una célula. La cantidad de ADN en una célula se describe comúnmente como **cADN**. Así, por ejemplo, una célula que contiene 2 cromosomas, antes de duplicarse cuenta con un **cADN=2 (2c)**, pues tiene una pareja de cromosomas y cada uno cuenta con una cromátida; y, posterior a la replicación, su **cADN=4 (4c)**.

15 Mitosis y citodiéresis

La mitosis, proceso a través del cual el núcleo celular se divide, es bastante precisa en cuanto a la distribución del número de cromosomas, lo que asegura que cada célula hija reciba igual cantidad de material genético nuclear.

La mitosis es un proceso continuo que los biólogos, para facilitar su estudio, han subdividido en 4 etapas: **profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**; cada una está caracterizada por hechos particulares que permiten distinguirlas.

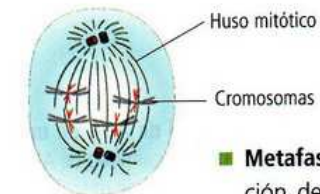
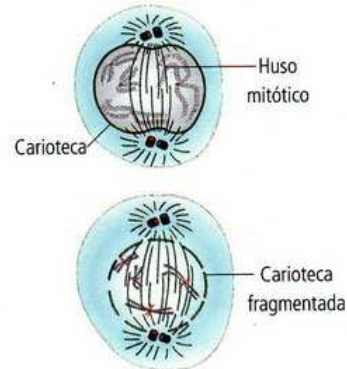
Una célula que ha entrado en el ciclo celular, pasa por el período de interfase antes de comenzar la mitosis.



■ **Interfase.** Etapa comprendida por el período G1, S y G2 del ciclo celular.

■ **Profase.** En esta etapa, la cromatina ubicada en el núcleo comienza a condensarse adquiriendo un aspecto de largos y delgados filamentos, visibles al microscopio óptico. Los cromosomas se comienzan a acercar a la envoltura nuclear o carioteca, la que empieza a desaparecer. El nucléolo se desorganiza y desaparece.

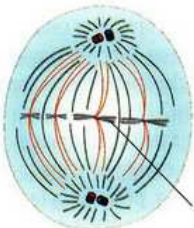
En el citoplasma, los centriolos migran hacia los polos y a su alrededor comienzan a aparecer unos filamentos tubulares de naturaleza proteica (microtúbulos) que forman el **huso mitótico**.



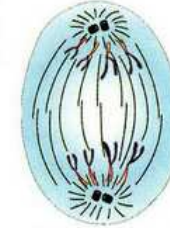
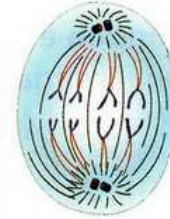
■ **Metafase.** La principal característica de esta etapa es la completa desaparición de la carioteca, por lo que los cromosomas, que han alcanzado su grado máximo de condensación, quedan en contacto directo con el citoplasma donde comienzan a migrar para ubicarse en el plano ecuatorial de la célula con sus cinetocoros orientados hacia los polos.

Las fibras del huso mitótico se unen fuertemente a los cinetocoros de los cromosomas.

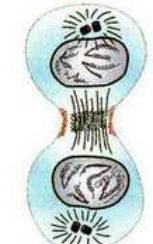
Cromosomas alineados en el plano ecuatorial



■ **Anafase.** Esta etapa está caracterizada por la migración de los cromosomas hacia los polos de la célula. Los centrómeros, que mantienen unidas a las cromátidas, se dividen, quedando cada cromosoma constituido por una sola cromátida. Las fibras del huso mitótico comienzan a acortarse arrastrando los cromosomas hacia los polos de la célula. A esta separación de las cromátidas hermanas se le denomina **segregación**.



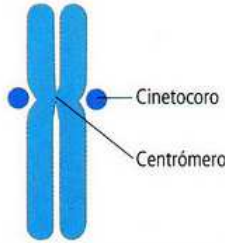
Formación de la envoltura nuclear



■ **Telofase.** Los cromosomas, constituidos ahora por solo una cromátida, migran completamente hacia los polos de la célula y comienzan a volverse menos densos y compactos, es decir, comienzan a descondensarse. En cada polo de la célula y en torno a los cromosomas comienza a reorganizarse la envoltura nuclear para originar nuevos núcleos; el huso mitótico comienza a desaparecer y los nucléolos se reorganizan en el interior de cada núcleo.

■ **Citoquinesis o citodiéresis.** Mientras el núcleo se está dividiendo, el citoplasma también inicia el proceso de división. En las células animales, ciertas proteínas (actina y miosina) se ubican en el plano ecuatorial de la célula formando un anillo interno adherido a la membrana plasmática, el que comienza a cerrarse cada vez más provocando un estrangulamiento que resulta en la división completa del citoplasma.

En las células vegetales, en cambio, la separación del citoplasma ocurre gracias a la formación de un tabique en el plano ecuatorial de la célula, entre los dos nuevos núcleos. En este lugar, una serie de vesículas provenientes del aparato de Golgi se fusionan y comienzan a dividir el citoplasma formando la **placa celular** o **fragmoplasto**, que crece hasta separar por completo a las dos nuevas células hijas.



Cinetocoros Son formaciones proteicas en forma de discos dispuestos en la región centromérica del cromosoma. Los cromosomas se unen a las fibras o microtúbulos del huso solo por esta zona.

Función e importancia de la mitosis en los organismos eucariontes

La mitosis es un proceso que reviste gran importancia para los organismos eucariontes, tanto unicelulares como pluricelulares. Para estos últimos, la mitosis cumple un rol fundamental en los siguientes procesos.

- **Desarrollo.** A partir del cigoto formado después de la fecundación y mediante sucesivas divisiones celulares se originan las millones de células que forman parte de un individuo. En este proceso de proliferación celular, la mitosis es de suma importancia, pues asegura que todas las células contengan la misma información genética y así dar origen a los diferentes tipos celulares que formarán parte del organismo.
- **Crecimiento.** La división celular por mitosis permite un aumento en el número de células en los organismos y, como consecuencia de esto, los organismos crecen.
- **Reparación y renovación de tejidos.** A diario nuestro cuerpo pierde un gran número de células por diversos motivos. En ciertos tejidos, como la piel y los tejidos de revestimiento de algunos órganos, producto del roce pierden a diario muchas células; cuando se produce una herida se dañan muchas células que posteriormente mueren; así mismo, en nuestro organismo hay células que tienen un tiempo de vida limitado, como los glóbulos rojos, cuya vida media es de 120 días aproximadamente. En todos estos casos, la proliferación celular permite restablecer las células perdidas.

A diferencia de lo que ocurre en los organismos pluricelulares, para los organismos unicelulares eucariontes la división celular constituye un mecanismo de reproducción, pues da origen a dos nuevos individuos.

Paramecio en proceso de división celular.



Regulación del ciclo celular

En la célula, la regulación del ciclo celular está a cargo de numerosos genes que codifican proteínas, principalmente enzimas, que hacen de este ciclo un proceso muy preciso a través del cual se mantiene relativamente constante el número de células en cada tejido, asegurando así el correcto funcionamiento del organismo.

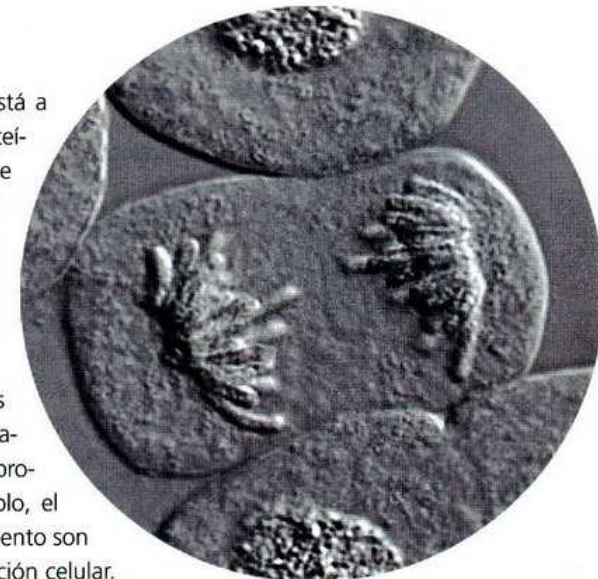
Las diferentes células responden a diversas señales químicas, provenientes del mismo organismo, que le indican cuándo ingresar al ciclo proliferativo, o bien continuar en G_0 . Por ejemplo, el daño de los tejidos y las hormonas del crecimiento son señales que estimulan el inicio de la proliferación celular.

El control de la división celular es un proceso muy complejo que está controlado por diversos factores, uno de ellos es el **tamaño celular**. Después de la mitosis las dos células hijas presentan el mismo tamaño que la célula progenitora presenta durante la mayor parte de la etapa G_1 , ya que esta última se divide solo cuando su tamaño ha aumentado al doble, hacia el final de G_2 .

Otros factores que controlan este ciclo son las proteínas **Cdk** (quinasa dependiente de ciclinas) y **ciclinas**, las que promueven que una célula que ha entrado en el ciclo pase del período G_1 a S , o del período G_2 a la mitosis.

El **factor promotor de la mitosis** o **MPF**, o también llamado factor promotor de la maduración, incluye las proteínas Cdk y ciclinas. Este factor regula el inicio de la mitosis en todas las células eucariontes.

Por otro lado, si la síntesis de ADN no ha ocurrido en forma correcta y el ADN está dañado, la célula sintetiza una proteína que bloquea el ciclo celular dando tiempo para su reparación. Si este daño es muy severo, esta proteína induce la **apoptosis** o **muerte celular programada**, pues de lo contrario las alteraciones en el ADN pueden ocasionar que la célula se dividida rápidamente y sin control, y las células hijas comiencen a acumularse en el tejido formando **tumores**, lo que desencadena en **cáncer**.



Célula en anafase. Fotografía tomada en microscopía de interferencia (DIC).

Apoptosis. Las células, al igual que todo ser vivo, tienen un ciclo de vida, vale decir, surge una nueva célula, crece, se reproduce y muere. La apoptosis o muerte celular programada es una secuencia de acontecimientos que termina con la muerte celular controlada por la propia célula suicida. La apoptosis ocurre en el período de formación de los órganos cuando se requiere eliminar células, también cuando en un tejido hay sobrepoblación de células, o cuando el ADN de las células ha sido severamente dañado.