

# Tema 7. El núcleo y la división celular

## 1. Introducción

El núcleo es la estructura más destacada de la célula eucariota, tanto por su morfología como por sus funciones. Su tamaño es variable, al igual que su ubicación, siendo, en la mayoría de los tipos, central.

El núcleo tiene tres funciones primarias, todas ellas relacionadas con su contenido de ADN: **EXAMEN!!**

- Almacenar la información genética en el ADN.
- Recuperar la información almacenada en el ADN en la forma de ARN.
- Ejecutar, dirigir y regular las actividades citoplasmáticas, a través del producto de la expresión de los genes: las proteínas.

## 2. Reproducción celular

La supervivencia de una especie requiere que los individuos que la forman produzcan otros, para reemplazar a los que van desapareciendo, lo cual se consigue mediante el proceso reproductor.

La reproducción celular es por tanto un fenómeno imprescindible para que las células se perpetúen. Una vez han llegado a cierto momento de su vida, las células adquieren aptitud para multiplicarse, generando otras semejantes a sus progenitoras.

La reproducción celular se reduce siempre a un proceso de división, mediante el cual la célula se parte en varios trozos (generalmente dos) cada uno de los cuales aumenta de tamaño hasta alcanzar el propio de la que le ha dado origen.

En los organismos unicelulares: la célula que se divide, llamada célula madre, desaparece como individuo y en su lugar aparecen dos o más células hijas.

En los pluricelulares: el proceso reproductor no supone su desaparición como tales individuos.

### 2.1. La división en procariontes

Los **procariontes** tienen una organización mucho más simple que la de los eucariotas.

El cromosoma procarionte es una sola molécula circular de ADN contenida en una región definida del citoplasma, denominada **nucleoide**, sin estar separada del mismo por una membrana. Este cromosoma es el elemento obligatorio del genoma.

El método usual de duplicación de las células eucariotas se denomina **fisión binaria**. La duplicación de la célula va precedida por la replicación del cromosoma bacteriano.

Primero se replica y luego pega cada copia a una parte diferente de la membrana celular.

Cuando las células que se originan comienzan a separarse, también se separa el cromosoma original del replicado. Después de la separación, queda como resultado dos células de idéntica composición genética.

Una consecuencia de este método asexual de reproducción es que todos los organismos de una colonia son genéticamente iguales.

## 2.2. La división en eucariotas

La **mitosis** es la forma más común de la división celular en las células eucariotas. Una célula que ha adquirido determinados parámetros o condiciones de tamaño puede replicar totalmente su dotación de ADN y dividirse en dos células hijas, normalmente iguales.

Existen numerosos puntos en común entre la división celular de ambos tipos de células, son:

1. Crecimiento
2. Debe ocurrir la duplicación del ADN.
3. Debe separarse el ADN "original" de su "réplica" (para ello se empaqueta en forma de unidades discretas o cromosomas)
4. Deben separarse las dos células "hijas" con lo que finaliza la división celular.

## 3. El ciclo celular

Es la secuencia cíclica de procesos en la vida de una célula eucariota que conserva la capacidad de dividirse.

Consiste en **interfase, mitosis y citocinesis**.

### 3.1. Interfase

Antes de que una célula eucariótica pueda comenzar la mitosis y dividirse efectivamente, debe duplicar su ADN, sintetizar proteínas asociadas con el ADN de los cromosomas, producir una reserva adecuada de organelas para las dos células hijas y ensamblar las estructuras necesarias para que se lleven a cabo la mitosis y la citocinesis.

Estos procesos preparatorios ocurren durante la interfase, en la cual, a su vez, se distinguen tres etapas: las fases G1, S y G2.

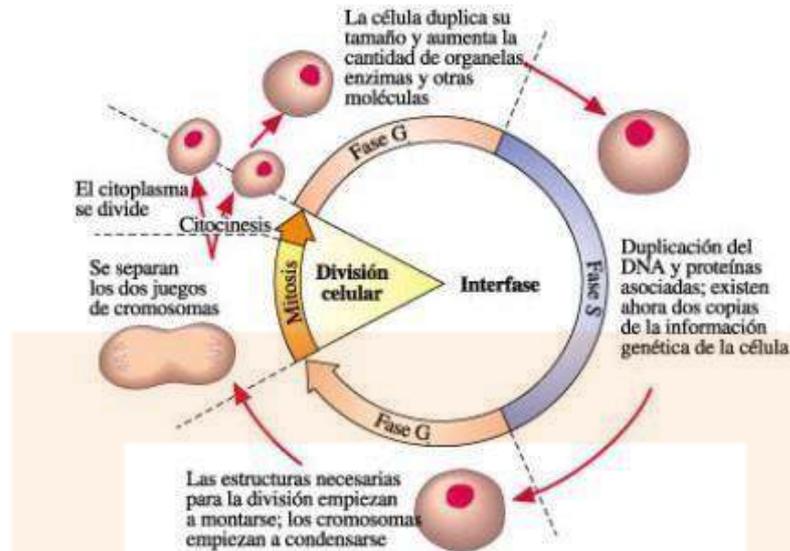
**En la fase G1**, las moléculas y estructuras citoplasmáticas aumentan en número.

**En la fase S**, los cromosomas se duplican.

**En la fase G2**, comienza la condensación de los cromosomas y el ensamblado de las estructuras especiales requeridas para la mitosis y la citocinesis.

**Durante la mitosis**, los cromosomas duplicados son distribuidos entre los dos núcleos hijos.

**En la citocinesis**, el citoplasma se divide, separando a la célula materna en dos células hijas.



### 3.2. Mitosis

El hecho fundamental de la mitosis es que las células hijas reciben el mismo número de cromosomas que poseía la célula madre que las ha originado.

La mitosis cumple la función de distribuir los cromosomas duplicados de modo tal que cada nueva célula obtenga una dotación completa de cromosomas.

En los estadios tempranos de la mitosis, cada uno de los cromosomas consiste en dos copias idénticas, llamadas cromátidas, que se mantienen juntas por sus centrómeros. Simultáneamente se organiza el huso, cuya formación se inicia a partir de los centrosomas.

Tanto en las células animales como en las vegetales, el entramado del huso está formado por fibras que se extienden desde los polos al ecuador de la célula. Otras fibras están unidas a las cromátidas al nivel de los cinetocoros, estructuras proteicas asociadas con los centrómeros. La profase finaliza con la desintegración de la envoltura nuclear y la desaparición de los nucleolos.

Durante la metafase, los pares de cromátidas, dirigidos por las fibras del huso, se mueven hacia el centro de la célula. Al final de la metafase se disponen en el plano ecuatorial. Durante la anafase se separan las cromátidas hermanas, y cada cromátida -ahora un cromosoma independiente- se mueve a un polo opuesto. Durante la telofase se forma una envoltura nuclear alrededor de cada grupo de cromosomas. El huso comienza a desintegrarse, los cromosomas se desenrollan y una vez más se extienden y aparecen difusos.

- Interfase.** La cromatina ya está duplicada pero todavía no se ha condensado. Dos pares de centríolos se encuentran justo al lado de la envoltura nuclear.
- Profase.** Los centríolos empiezan a moverse en dirección a los polos opuestos de la célula, los cromosomas condensados son ya visibles, la envoltura nuclear se rompe y comienza la formación del huso mitótico.
- Metafase temprana.** Las fibras polares y cinetocóricas del huso tiran de cada par de cromátidas hacia un lado y otro.
- Metafase tardía.** Los pares de cromátidas se alinean en el ecuador de la célula.

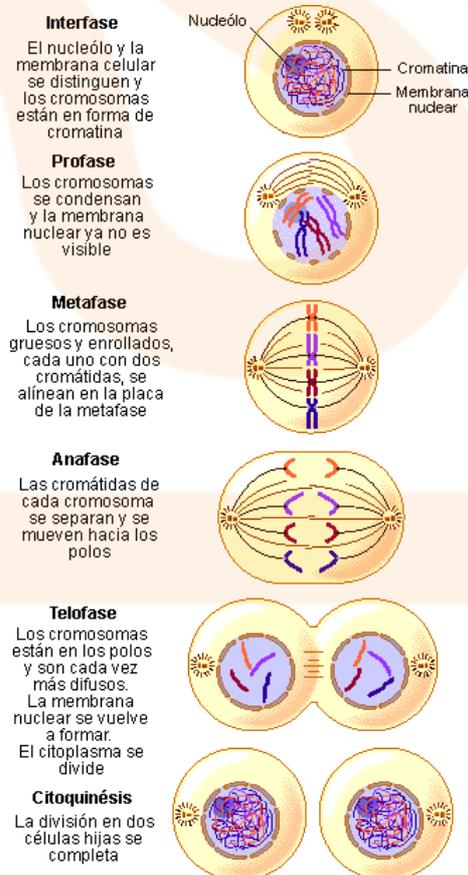
- e. **Anafase**. Las cromátidas se separan. Las dos dotaciones de cromosomas recién formados son empujadas hacia polos opuestos de la célula.
- f. **Telofase**. La envoltura nuclear se forma alrededor de cada dotación cromosómica y los cromosomas se descondensan y adquieren, nuevamente, un aspecto difuso. Los nucleolos reaparecen. El huso mitótico se desorganiza y la membrana plasmática se secciona en un proceso que hace separar las dos células hijas.

### 3.3. Citocinesis

Es la etapa de la división celular que consiste en la división del citoplasma. El proceso visible de la citocinesis suele empezar en la telofase de la mitosis y por lo general divide la célula en dos partes más o menos iguales.

En las **células animales**, durante la telofase, la membrana celular empieza a estrecharse en la zona donde estaba el ecuador del huso. Al principio se forma en la superficie una depresión, que poco a poco se va profundizando para convertirse en un surco hasta que la conexión entre las células hijas queda reducida a un hilo fino, que no tarda en romperse para así separar las dos células hijas.

En las **células vegetales**, este proceso es un tanto diferente, puesto que estas células presentan externamente a la membrana plasmática, una pared bastante rígida. En este caso, la citocinesis se produce por la formación de un tabique entre los dos nuevos núcleos. Este tabique va creciendo desde el centro hacia la periferia de la célula, hasta que sus membranas hacen contacto con la membrana plasmática, con la que posteriormente se fusionan completándose la división celular.



### ¿Por qué las células hijas son idénticas a la célula madre en esta división (mitosis)?

La **mitosis** interviene en la reproducción asexual de los organismos y también en el crecimiento de los seres pluricelulares.

Es un proceso de división celular mediante el cual, a partir de una célula madre, aparecen dos células hijas con idéntica dotación cromosómica que su progenitora.

Son idénticas porque una de las principales características que tiene este fenómeno reproductivo es que la partición del material genético es idéntica, no existe cabida para cambios en los descendientes a no ser que sea por una mutación, o algún factor que intervenga en el proceso mientras este ocurre.

No así con la meiosis, la cual deja a las células hijas con la mitad del material genético necesario para que sean idénticas.

## 4. Meiosis

La reproducción sexual requiere de dos progenitores y siempre involucra dos hechos: la fecundación y la meiosis.

La fecundación es el medio por el cual las dotaciones genéticas de ambos progenitores se reúnen y forman una nueva identidad genética, la de la progenie.

La meiosis es un tipo especial de división nuclear en el que se redistribuyen los cromosomas y se producen células que tienen un número haploide de cromosomas ( $n$ ). Posteriormente la fecundación restablece el número diploide ( $2n$ ).

### 4.1. Las fases de la meiosis

La meiosis es un tipo especial de división nuclear. Consiste en dos divisiones nucleares sucesivas, designadas convencionalmente meiosis I y meiosis II.

**Durante la interfase** que precede a la meiosis, los cromosomas se duplican.

**En la profase I de la meiosis**, los cromosomas homólogos se aparean.

Un homólogo de cada par proviene de un progenitor, y el otro homólogo, del otro progenitor. Cada homólogo consta de dos cromátidas hermanas idénticas, que se mantienen unidas por el centrómero.

Mientras los homólogos están apareados, ocurre entre ellos el entrecruzamiento, dando como resultado el intercambio de material cromosómico.

Al finalizar la meiosis I, los cromosomas homólogos se separan. Se producen dos núcleos, cada uno con un número haploide de cromosomas. Cada cromosoma, a su vez, está formado por dos cromátidas.

**Esta primera división es reduccional y el resultado es la formación de dos células hijas cada una con "n" cromosomas.**

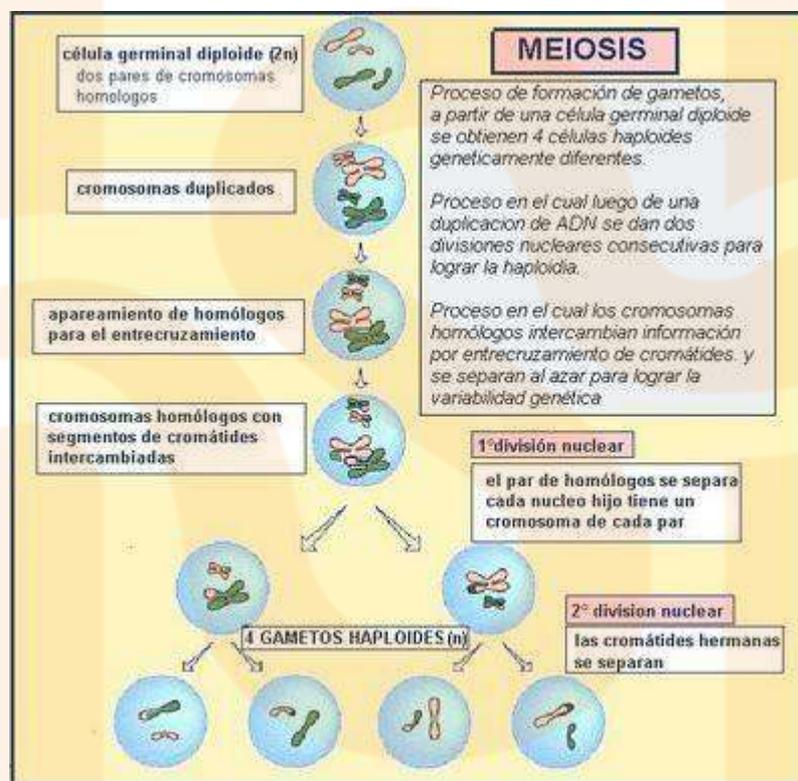
Los núcleos pasan por un nuevo periodo de interfase, pero el material cromosómico no se duplica.

En la segunda etapa de la meiosis, **la meiosis II**, las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan, como si fuese una mitosis. Cuando los dos núcleos se dividen, se forman cuatro células haploides.

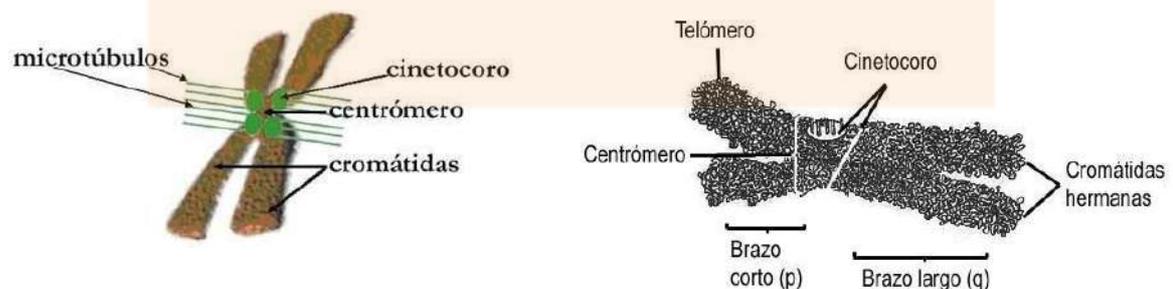
Esta segunda división es una división mitótica normal y el resultado final de la segunda división meiótica es la formación de cuatro células hijas cada una de las cuales tiene un núcleo con "n" cromátidas.

#### 4.2. Consecuencias de la meiosis **EXAMEN!**

1. Es el proceso mediante el cual se obtienen células especializadas para intervenir en la reproducción sexual.
2. Reduce a la mitad el número de cromosomas, y así al unirse las dos células sexuales, vuelve a restablecerse el número cromosómico de la especie.
3. Se produce una recombinación de la información genética.
4. Cada una de las células haploides producidas por meiosis contiene un complejo único de cromosomas, debido al entrecruzamiento y a la segregación al azar de los cromosomas. De esta manera, la meiosis es una fuente de variabilidad en la descendencia.



## 5. Conceptos básicos



Estructura del cromosoma

El **cinetocoro** es un disco localizado en la parte externa de los cromosomas, en los centrómeros, compuesto por unas proteínas donde anclan los microtúbulos del huso mitótico, durante los procesos de división celular (meiosis y mitosis). El cinetocoro es una estructura proteica que permite que cada cromátida se mueva por separado y se distribuya adecuadamente a los nuevos núcleos.

El **huso acromático** también denominado huso mitótico, es una estructura fusiforme formada por una serie de microtúbulos contráctiles de naturaleza proteica.

La **cromátida** es una de las unidades longitudinales de un cromosoma duplicado, unida a su cromátida hermana por el centrómero.

El **centrómero** une a los dos filamentos paralelos idénticos que son las cromátidas en un estrechamiento. Es el sitio en donde las cromátidas hermanas se unen durante la mitosis y meiosis.

**Haploide y diploide.** Una célula haploide es aquella que contiene la mitad ( $n$ ) del número normal de cromosomas ( $2n$ ). Las células reproductoras, como los óvulos y los espermatozoides de los mamíferos contienen un solo juego de cromosomas, mientras que el resto de las células de un organismo superior suele tener dos juegos de ellos.

Cuando los gametos se unen durante la fecundación, el huevo fecundado contiene un número normal de cromosomas ( $2n$ ): es una célula diploide.

Las células diploides son las que tienen un número doble de cromosomas que un gameto, es decir, que poseen dos series de cromosomas.

Las células del hombre tienen 46 cromosomas, ese es su número diploide, los gametos (originados en las gónadas, por medio de meiosis de las células germinales) tienen solamente la mitad, 23, lo cual constituye su número haploide.

## 6. Recombinación

Es el intercambio genético que se produce entre segmentos de dos hélices de ácido desoxirribonucleico (ADN). La recombinación se produce, normalmente, entre secuencias homólogas del ADN, es decir, entre regiones con secuencias idénticas de nucleótidos o casi idénticas. Por eso, habitualmente, el proceso se denomina recombinación general u homóloga.

El proceso de recombinación es un mecanismo natural que existe no sólo en animales y vegetales, sino también en bacterias y virus.

En los organismos diploides, la recombinación se produce durante la meiosis, ya que normalmente se origina entre dos copias del mismo cromosoma (cromosomas homólogos). De hecho, cuando la célula entra en meiosis cuenta con dos juegos haploides de cromosomas ( $2n$ ), de los cuales  $n$  cromosomas son de origen materno y  $n$  de origen paterno.

Los cromosomas homólogos maternos y paternos se aproximan en un proceso denominado **sinapsis** o apareamiento de cromosomas homólogos, produciéndose entonces la recombinación.

El proceso comienza con el apareamiento de ambas regiones homólogas, produciéndose la rotura y el intercambio de las regiones de ADN (proceso denominado sobrecruzamiento). El resultado final es que se rompen dos dobles hélices de ADN y los extremos rotos se unen a los extremos opuestos para formar dos dobles hélices intactas, cada una de las cuales contiene partes de las dos moléculas originales.

## 7. Mutaciones

El término **mutación** designa un cambio genético cuya consecuencia es la aparición de un rasgo nuevo que no se había presentado en ninguna de las generaciones precedentes.

La existencia de variabilidad genética se consigue en los individuos con reproducción sexual mediante las mutaciones y, en mayor grado, mediante la recombinación genética que tiene lugar durante in meiosis.

Gran parte de las mutaciones se producen de manera espontánea; sin embargo, otras son causadas por la presencia en el medio de agentes físicos o químicos que pueden afectar a la estructura del ADN. Estas mutaciones se denominan inducidas y los agentes que las desencadenan son los agentes mutágenos. Por ejemplo, un agente físico sería la radiación ultravioleta y un agente químico, la nicotina.

### 7.1. Mutaciones y errores en la meiosis. Consecuencias genéticas

En la **meiosis** debe ocurrir una correcta separación de las cromátidas hacia los polos durante la anafase.

Cuando esto no ocurre o hay un retraso en la primera o segunda división meiótica, conlleva problemas en la configuración de los cromosomas, alterando el número correcto de estos, es decir, dejan de ser múltiplos básicos del número haploide original de la especie, lo que se conoce como aneuploidía (hace referencia a cambios en el número de cromosomas, que pueden dar lugar a enfermedades genéticas).

Entre los problemas en el material genético encontramos:

- **Nulisomía** en la que faltan un par de cromosomas homólogos ( $2n-2$  cromosomas).
- **Monosomía** ( $2n-1$  cromosomas).
- **Trisomía** ( $2n+1$  cromosomas).

**En los animales sólo son viables monosomías y trisomías. Los individuos nulisómicos no suelen manifestarse, puesto que es una condición letal en diploides.**

#### 7.1.1. Monosomía

- **Monosomía autosomática**: produce la muerte en el útero.
- **Síndrome de Turner**: solamente un cromosoma X presente en las mujeres. Los afectados son hembras estériles.

#### 7.1.2. Trisomía

- **Síndrome de Down**. Trisomía del cromosoma 21: es la aneuploidía más viable. Es una trisomía del cromosoma 21, que incluye retraso mental.
- **Síndrome de Patau**. Trisomía del cromosoma 13: es una enfermedad genética que resulta de la presencia de un cromosoma 13 suplementario. Se suele asociar con un problema meiótico materno, más que paterno y como el síndrome de Down, el riesgo aumenta con la edad de la mujer.

- **Síndrome de Edwards**. Trisomía del cromosoma 18: se trata de una enfermedad rara, cromosómica, caracterizada por la presencia de un cromosoma adicional en el par 18.
- **Síndrome de Klinefelter**. Un cromosoma X adicional en varones. Tienen una mezcla de ambos sexos.

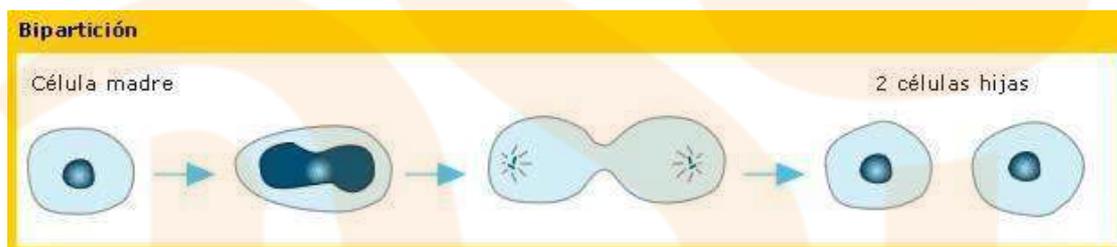
## 8. División celular y reproducción asexual

La multiplicación asexual sólo se presenta en aquellos animales cuyas células conservan aún la **totipotencia embrionaria**, es decir, la capacidad no sólo de multiplicarse, sino también de diferenciarse en distintos tipos celulares para lograr la reconstrucción de las partes del organismo que pudieran faltar.

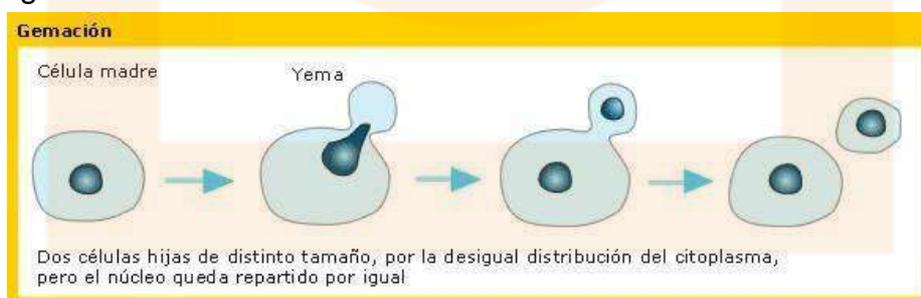
Como la totipotencia embrionaria es tanto más común cuanto más sencilla es la organización animal, esta tiene lugar en esponjas, celentéreos, anélidos, equinodermos y también en los estados larvarios y embrionarios de todos los animales.

Según la forma de llevarse a cabo la división celular se distinguen tres modalidades:

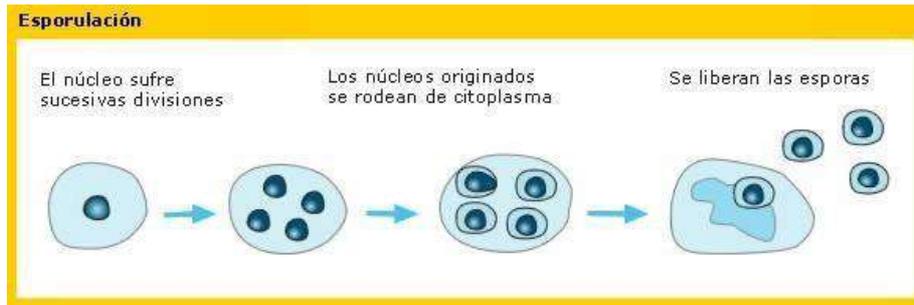
- La **bipartición** se caracteriza porque la célula madre da lugar a dos células hijas aproximadamente del mismo tamaño porque reciben cada una de ellas la misma cantidad de materia nuclear y citoplasmática. Es el procedimiento más corriente de división celular.



- La **gemación** se presenta cuando sobre la célula madre aparece una prominencia o "yema" que se desprende por estrangulación. Se originan así también dos células hijas, pero de diferente tamaño, si bien tal diferencia obedece a la desigual distribución del citoplasma, pero no del núcleo que queda por igual en ambas.



- La **esporulación** se presenta con bastante frecuencia en algunos organismos unicelulares (levaduras). La división múltiple tiene lugar cuando una célula divide repetidamente su núcleo. Cada trozo nuclear se rodea de una porción de citoplasma que se aísla del resto por formación de una membrana, quedando así formadas dentro de la célula madre una serie de células hijas que son liberadas al romperse la membrana de aquella.



Estos diferentes tipos de multiplicación no son más que aspectos accesorios del proceso íntimo de la reproducción de la célula, que en el fondo es semejante para todas y que tiene como denominador común, de una parte, la división del núcleo y de otra la del citoplasma.

## Ejercicios preparatorios exámenes finales

**Indica las diferencias entre mitosis y meiosis con relación:**

1. **Tipos de células de un organismo en las que ocurren estos procesos.**
2. **Diferencias entre las células hijas y las células madre en uno y otro caso.**

1. Uno de los puntos básicos de la teoría celular es el que afirma que toda célula procede de otra célula. En efecto, las células se dividen, dando origen a nuevas células de características similares a las que les preceden.

El crecimiento, desarrollo y reproducción de los organismos unicelulares y pluricelulares vienen condicionados por el proceso de división celular. Esta supone la división del material hereditario contenido en el núcleo y la división del citoplasma. Existen dos tipos de división celular:

- La **mitosis** interviene en la reproducción asexual de los organismos y también en el crecimiento de los seres pluricelulares.

Es un proceso de división celular mediante el cual, a partir de una célula madre, aparecen dos células hijas con idéntica dotación cromosómica que su progenitora.

- La **meiosis** tiene lugar en todos los ciclos biológicos en los que se da un proceso de reproducción sexual. Es un tipo de división celular cuyo objetivo es la formación de células haploides ( $n$ ), denominadas gametos (óvulos o espermatozoides), a partir de una célula diploide ( $2n$ ).

Si consideramos al ser humano como ejemplo de organismo, todas las células se dividirán por mitosis, a excepción de las células sexuales que lo harán por meiosis.

2. En la mitosis, las células madre pueden ser haploides o diploides. Estas al dividirse darán lugar a dos células con idéntica dotación cromosómica que ellas.

En la meiosis, las células madre son diploides. La división por meiosis de una de estas células da lugar a la formación de cuatro células haploides con la mitad de la información genética y genéticamente distintas entre sí y a la célula madre.