

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL**  
Secretaría Académica  
Dirección de Articulación, Ingreso y Permanencia  
Año 2015



---

# **Biología**

## Conceptos básicos

# Unidad 5. La continuidad de la vida y la proliferación celular

Ana María Gagneten / Alba Imhof / María del Rocío Marini / Juan Marcelo Zabala  
Pablo Tomas / Patricia Amavet / Laura Ravera / Nora Ojea

---

La multiplicación celular es uno de los aspectos más fascinantes y ampliamente estudiados en Biología, ya que constituye la base de la continuidad y la transmisión de la vida. Debido a la cantidad y complejidad de aspectos que involucra este proceso, su estudio suele abordarse como una secuencia simplificada de etapas que culminan en la reproducción celular. Por ello, el objetivo del presente texto es analizar el tema teniendo en cuenta, además, lo que representa la división celular como etapa del ciclo celular, haciendo referencia al contexto en el cual ocurre, es decir al organismo en su totalidad.

## 5.1. El ciclo celular

Basándonos en la teoría celular, sabemos que la vida se genera a partir de vida preexistente. Extendiendo esta afirmación a la unidad básica de la vida, podemos decir que toda célula se origina a partir de otra célula. Los eventos que conducen a esa multiplicación celular pueden considerarse como “etapas de un ciclo”, ya que podemos presentarlos consecutivamente en una secuencia que, al concluir, retorna al punto de partida reiniciando el proceso. Así, se denomina *ciclo celular* a la sucesión de cambios que ocurren durante la vida de la célula e incluyendo la proliferación celular.

La descripción del proceso gira en torno del estado y organización del ADN, es decir, de la información genética. El ciclo celular suele dividirse para su estudio en cinco etapas:  $G_1$ ,  $S$ ,  $G_2$ , *División celular* y *Citocinesis* (Figura 1). Durante las tres primeras etapas, la célula se encuentra en un estado de reposo divisional denominado *interfase*, presentando las siguientes características:

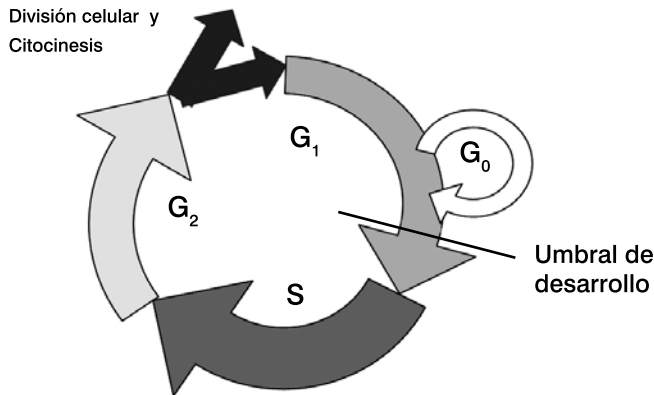
- En  $G_1$ , la célula aumenta su tamaño (casi duplicándolo), al mismo tiempo que se sintetizan compuestos necesarios para la replicación del ADN. La denominación  $G$  proviene de la palabra inglesa “*gap*”, que significa vacío, hueco o brecha, respondiendo al hecho de que durante esta etapa no se producen cambios visibles al microscopio en el material hereditario. En esta etapa existe un punto o *umbral de desarrollo* en el que la célula alcanza la aptitud para dividirse. Si ese umbral es superado, al darse las condiciones adecuadas se desencadenan irreversiblemente los procesos que llevan a completar el ciclo. En caso contrario, la célula permanece en interfase, pudiendo diferenciarse en algún tipo celular especializado ( $G_0$ ).

- En S (del inglés "synthesis") es donde ocurre la síntesis y replicación del material hereditario contenido en el núcleo, es decir, el ADN.
- En  $G_2$  se activan todos los procesos y se sintetizan los compuestos necesarios para que, a continuación, se desencadene la división celular.

Las restantes etapas del ciclo celular son:

En las dos últimas etapas del ciclo, la morfología celular cambia y se puede observar al microscopio la separación del material hereditario y la formación de las dos células hijas.

- *División celular:* las moléculas de ADN ya duplicadas se separan para originar núcleos hijos. En la división mitótica se originan dos núcleos con idéntico contenido de ADN al de la célula original, mientras que en la división meiótica se originan cuatro núcleos con la mitad de ADN que los núcleos producto de la mitosis;
- *Citocinesis:* la reorganización de la membrana celular entre los núcleos hijos generados produce un fraccionamiento del citoplasma y separa definitivamente las nuevas células.



*Figura 1.* Representación de las etapas del ciclo celular en función del estado del material hereditario. Partiendo de  $G_1$ , la célula supera el umbral y se obliga a completar el ciclo. Se desencadena la síntesis del ADN (S), luego se prepara para dividirse ( $G_2$ ) y origina dos células hijas (división celular mitótica y citocinesis), las cuales pueden retomar el ciclo en forma independiente. El ciclo puede detenerse si la célula se especializa ( $G_0$ ). Si la división es meiótica, las células hijas no pueden volver a entrar en el ciclo (Modificado de <http://botanika.biologija.org/slike/splbot-plakati-rastlin.html> y <http://sectic.uajen.es/atlas/talotilo/talotilo100x.htm>).

### Consignas

- Repasar las etapas del ciclo celular, su importancia y los principales eventos que en ellas ocurren.
- Interpretar a la división celular como parte de un ciclo.



### Actividad

Relaciona con flechas los siguientes términos (cada palabra de la izquierda se relaciona con dos palabras de la derecha).

Etapa $G_1$	Síntesis de ADN
	Umbral de desarrollo
Etapa S	Mitosis
	División del citoplasma
Cariocinesis	Meiosis
	Duplicación de tamaño celular
División celular	Dos células hijas
	Duplicación del material hereditario

Existen factores internos y externos a la célula que condicionan la continuidad del ciclo celular. Algunos de ellos son comentados a continuación:

- En un organismo pluricelular, para que una célula se divida debe encontrarse en un estado *indiferenciado*, es decir que no ha adquirido una función específica. En consecuencia, sólo algunas de sus células tienen la capacidad de dividirse.

- La División Celular sólo tiene lugar luego de que la célula haya alcanzado un desarrollo adecuado que le permita: a) disponer de suficiente citoplasma y organelas para repartir entre las células hijas, b) sintetizar una copia de todo su ADN y c) fabricar las moléculas necesarias para la división. Por eso, las condiciones del medio donde se desarrolla la célula (temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes, acción hormonal, etc.) influyen sobre el inicio del proceso de división.

- Cuando la célula se especializa pasa de estado  $G_1$  a un estado denominado  $G_0$ , en el cual se produce la *diferenciación*. Esto significa que adquiere características morfológicas y funcionales particulares, según el tejido al que pertenece. En ese estado la célula es incapaz de dividirse.

La duración del ciclo celular varía entre distintos organismos. Por ejemplo, una bacteria puede completar su ciclo celular en cuestión de horas, mientras que a un animal superior puede llevarle días. Esto se debe a la diferencia de complejidad entre organismos y a la cantidad de ADN a duplicar.

### Consignas

- Resaltar la influencia del medio externo en el desarrollo celular.
- Situar la ocurrencia de la proliferación celular dentro del contexto de un organismo complejo.

### Actividad

Responde las siguientes preguntas y reflexiona al respecto.

- *¿Cuán importante es que se produzca la duplicación del material hereditario? ¿Cuál es la finalidad de ese proceso?*
- *¿En qué etapa del ciclo se encuentran la mayoría de las células de un organismo pluricelular? ¿Qué relación crees puede haber entre la cantidad de células capaces de dividirse y la edad del organismo?*

Cuando observamos al microscopio los cromosomas mitóticos podemos apreciar su clásica forma de X. Esto se debe a que, como previamente se ha duplicado el ADN, cada cromosoma ahora tiene dos moléculas de ADN (cromátidas), unidas entre sí por el centrómero (Figura 2).

### 5.2. Distribución del ADN en la replicación celular

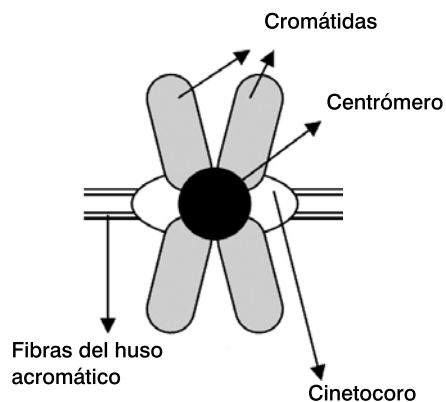
Si bien al finalizar la etapa  $G_2$  ya existen 2 copias del ADN dentro de la célula, las mismas no se separan hasta concluir la división celular mitótica y la citocinesis. Veamos cómo ocurren ambos procesos.

#### 5.2.1. Mitosis

La división mitótica genera, a partir de una célula madre, dos células hijas idénticas entre sí e idénticas a la célula que les dio origen.

En células *Eucariotas* el material hereditario se halla organizado en largas moléculas denominadas cromosomas dentro del núcleo celular. Durante la Interfase, ese ADN se encuentra *descondensado*, es decir que está poco enrollado y ocupando todo el inte-

Figura 2. Esquema de cromosoma mitótico y sus partes. Se observa el cinetocoro, estructura proteica que se forma alrededor del centrómero y permite el anclaje del huso acromático durante la división celular.



rior del núcleo, por lo que no se puede distinguir los límites de cada cromosoma. Pero al comenzar la división celular, el ADN se condensa enrollándose progresivamente sobre sí mismo muchas veces, de tal forma que su longitud se reduce permitiendo la separación e individualización de cada cromosoma.

En función de cómo y dónde se localiza el ADN dentro de una célula eucariota durante la división mitótica y las estructuras específicas que se generan, se pueden distinguir cuatro fases (Figura 3):

1. **Profase:** se produce gradualmente la condensación de los cromosomas y desaparecen la membrana nuclear y el nucleolo, quedando los cromosomas libres en el citoplasma. Desde ambos polos de la división se organiza el *huso acromático*, constituido por moléculas proteicas en forma de fibras o filamentos, que se insertan en el *cinetocoro* de cada cromosoma (Figura 2).

Las células animales poseen dos corpúsculos asociados al núcleo denominados *centríolos*. Durante la Profase mitótica se separan y migran a extremos opuestos (polos) de la célula mientras se duplican, determinando el plano de división. Desde ellos irradiará el *huso acromático*. Las células vegetales no tienen centriolos, por lo que el huso acromático se organiza directamente desde los polos.

2. **Metafase:** los cromosomas se alinean en un mismo plano localizado en el centro de la célula, denominado placa ecuatorial. Esta particular disposición se debe al movimiento que imprimen las fibras del huso sobre los centrómeros de los cromosomas, ubicándolos equidistantes entre los polos de división. En ese momento el grado de condensación del ADN es máximo.

3. **Anafase:** se divide el centrómero permitiendo la separación de las cromátidas hermanas, las cuales migran hacia polos opuestos debido a la tracción ejercida por el huso acromático al reducir su longitud.

4. **Telofase:** al llegar a los polos celulares, el ADN comienza a descondensarse y se restablece la membrana nuclear en torno a los cromosomas. Se produce así la *cariorinesis* o división nuclear.

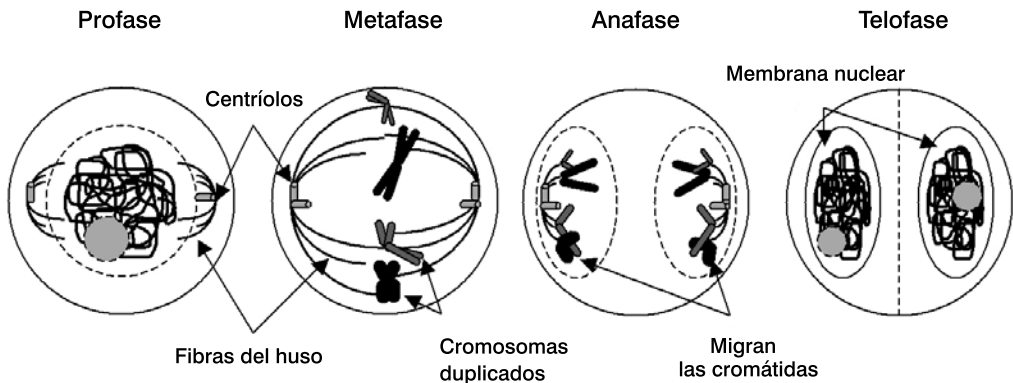


Figura 3. Esquema de mitosis: se representan las cuatro etapas con sus estructuras.

### Consignas

---

- Repasar las etapas de la división celular y sus principales características a tener en cuenta en cada una de ellas.
  - Relacionar la replicación del ADN y la forma en que se distribuye en la mitosis.
- 

### Actividad

---

1. Repasa los siguientes conceptos: *interfase*, *mitosis*, *cromosoma*, *huso acromático*, *placa ecuatorial*, *polo celular*, *cromátidas hermanas*.
  2. Analizando los esquemas de la división mitótica presentados en la Figura 3, indica: ¿Con cuántos cromosomas inicia la célula la división? ¿Con cuántos contará cada célula hija?
- 

#### 5.2.2. Citocinesis

Al concluir la mitosis, la célula posee dos núcleos idénticos ubicados en extremos celulares opuestos. Inmediatamente se desencadena el proceso de citocinesis, es decir, la separación de ambas células hijas. En las células animales este proceso ocurre por deposición de proteínas contráctiles en la membrana celular, precisamente en el perímetro donde se ubicaba la placa ecuatorial. La contracción de dichas proteínas produce un estrangulamiento de la célula en su punto medio, dividiendo en dos al citoplasma y separando definitivamente a ambas células hijas.

En el caso de los vegetales, la pared celular imprime tal rigidez a la célula que no permite ese estrangulamiento, de modo que la citocinesis ocurre mediante la deposición de moléculas de celulosa (originan nueva pared) y vesículas (originan nueva membrana) donde se situaba la placa ecuatorial, formando un tabique que separa a ambas células hijas.

Dentro de la siguiente página web en castellano: <http://www.biologia.edu.ar/animaciones/index.htm> se pueden encontrar varias *animaciones de mitosis y meiosis*.

Usando cualquier buscador de Internet se accede en la web a gran cantidad de imágenes y animaciones sobre este tema.

En todo el proceso de división celular y citocinesis vimos que las instancias son estrictamente respetadas y la sincronía entre los cromosomas se mantiene: se condensan, se alinean en la placa ecuatorial y migran hacia los polos simultáneamente. Y sólo cuando culmina la migración se forman las barreras que separan los nuevos núcleos y las nuevas células. Cualquier alteración en alguno de estos procesos puede generar errores en la distribución equitativa del ADN. Esto provocaría la aparición de

células anormales, desencadenando generalmente la muerte de las mismas, por lo que no se cumpliría la premisa de continuidad de la vida.

### 5.3. Relación de la mitosis con la proliferación celular

La proliferación celular en los organismos pluricelulares está involucrada en el proceso de crecimiento en tamaño, a través de la acumulación de sucesivas generaciones de células. En algunos casos también se relaciona con la reproducción asexual por fraccionamiento del individuo (como sucede en vegetales y algunos animales inferiores). Sin embargo, esa proliferación no ocurre en forma arbitraria, sino que se lleva a cabo en forma ordenada y coordinada dentro de determinadas regiones y tejidos del organismo.

La división mitótica descontrolada y continua de un linaje celular es lo que provoca la aparición de tumores. Éstos son masas de células indiferenciadas y en activa multiplicación. Su proliferación afecta al organismo por su acción invasiva, por el consumo de recursos y además porque sus productos celulares alteran el delicado equilibrio del organismo en su conjunto.

#### 5.3.1. Crecimiento y desarrollo

Durante su crecimiento, los organismos incrementan el número de células en sus tejidos, dado que poseen una tasa de división celular elevada. Esa tasa decrece con el tiempo de forma que, al alcanzar la madurez, el número de células capaces de dividirse es menor y prácticamente tienden a reemplazar a las que van muriendo. Al envejecer se produce en el conjunto del organismo un balance negativo entre la tasa de aparición celular y la tasa de senescencia, prevaleciendo esta última.

En los animales, los distintos tejidos varían en el tiempo en cuanto a su tasa de división celular. Por eso vemos que las proporciones corporales varían durante el crecimiento y el desarrollo, y también según las condiciones nutricionales y ambientales. Una forma de esquematizar esa variación es mediante el trazado de “*ondas de crecimiento*”, líneas que representan la dirección y el orden de ocurrencia del incremento en el tamaño corporal (Figura 4).

Los diferentes tejidos varían en su capacidad y frecuencia de división celular. Por ejemplo, la piel produce células nuevas durante toda la vida del organismo, las cuales reemplazan las capas que se van perdiendo y cicatrizan las heridas. Los folículos pilosos producen el crecimiento del pelo, pero van muriendo progresivamente a medida

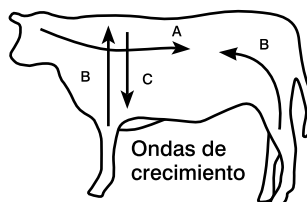


Figura 4. Las flechas indican la dirección del crecimiento. Las letras de cada flecha indican el orden en que se producen esas ondas de crecimiento.



que envejece el organismo. En cambio, las neuronas se generan durante las primeras etapas del crecimiento y luego no son reemplazadas a medida que mueren.

Con las sucesivas divisiones, las células van perdiendo su capacidad de multiplicarse. Esto se debe a que en el proceso de replicación del ADN ocurren deficiencias acumulativas en los extremos de los cromosomas denominados telómeros, cuya estructura impide a las enzimas nucleasas degradar el ADN. La acumulación de dichas deficiencias provoca que en determinado momento la estructura del telómero no pueda continuar protegiendo al cromosoma de la degradación enzimática. Así, esa célula ve afectado su contenido genético hasta el punto de volverse incapaz de dividirse. Por consiguiente, conforme transcurre la vida del organismo son cada vez menos las células de su cuerpo con capacidad de multiplicarse.

### Consignas

---

- Asociar situaciones de la vida cotidiana a los cambios en la tasa de crecimiento y desarrollo de diferentes organismos.
  - Relacionar la complejidad de organismos pluricelulares en función de la ocurrencia de la división celular y su implicancia sobre el individuo.
- 



### Actividad

---

- Observa las diferencias entre las proporciones corporales de los seres humanos a diferentes edades. ¿Cuáles puedes identificar?
- 

Por otro lado, en los vegetales el crecimiento se produce por la proliferación celular en puntos de crecimiento denominados meristemos. Además, se trata de organismos

El crecimiento animal está dado por aumento de tamaño de su estructura.

Los vegetales, además de crecer en tamaño, producen nuevos órganos, los que se acumulan a modo de ladrillos en una pared.

modulares: su soma se constituye de repeticiones de una unidad estructural denominada "fitómero". Cada fitómero está conformado de una yema, un nudo, un entrenudo y una hoja. Este conjunto se repite a lo largo de todo el organismo, variando en su forma según su función.

Los tipos de crecimiento que se produce a partir de meristemos vegetales se denominan crecimiento primario y secundario (Figura 5). El crecimiento primario es responsable de la aparición de nuevos órganos como así también del crecimiento en tamaño de los mismos durante su primer año de vida. Por ejemplo, las yemas son el tipo de meristemo primario más conocido. En especies perennes, a partir del segun-

do año de vida la división mitótica se produce además en un tejido intercalar llamado “*cambium*” que genera un crecimiento secundario. Un ejemplo de ello es la formación de los anillos en los troncos de los árboles.

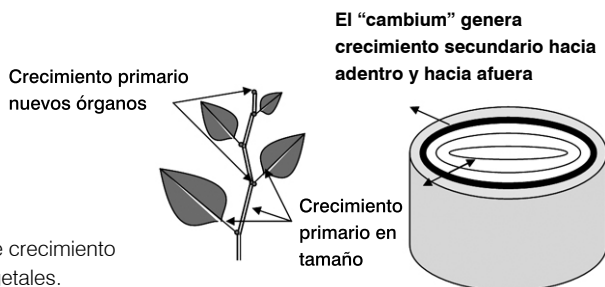


Figura 5. Puntos de crecimiento en organismos vegetales.

### 5.3.2. Reproducción asexual

Algunos organismos también se pueden reproducir mediante fraccionamiento de algunas partes de su estructura. En el caso de los vegetales, la multiplicación asexual está dada por la separación de fitómeros que se independizan del organismo de origen. Esto es posible dado que cada fitómero tiene un meristemo a partir del cual continuar produciendo nuevos fitómeros. A este modo de reproducción se lo denomina propagación vegetativa y es un tipo de clonación. En algunos animales inferiores como los Anélidos (lombrices de tierra, gusanos redondos), también existe multiplicación por fraccionamiento de su organismo.

En ambos casos los individuos provienen de tejido generado por divisiones mitóticas, siendo genéticamente idéntico al que sufrió el fraccionamiento de su estructura, es decir, clones. Este tipo de multiplicación, en términos de división celular se equipara a lo que ocurre en los organismos unicelulares.

#### *Consignas*

- 
- Comparar la forma de crecimiento entre diferentes organismos.
  - Asociar la capacidad de los vegetales de reproducirse asexualmente con la estructura modular de dichos organismos.
- 

#### *Actividad*

- 
- ¿Conoces algunas formas de propagación vegetativa de vegetales? Enuméralos y describe la forma en que se genera un nuevo individuo.
  - Reflexiona acerca de las diferencias entre organismos modulares y de estructura única. ¿Cada módulo es un organismo potencial? ¿Cómo se asocian para dar lugar al organismo completo?

#### 5.4. La distribución del ADN en la reproducción sexual: meiosis

En los organismos con reproducción sexual, además de la mitosis ocurre un tipo de división celular denominado *meiosis*. En esta última, a partir de una célula madre se originan cuatro células hijas, cada una con la mitad de contenido genético que la célula de la cual provienen. En esencia, la división meiótica es similar a la mitosis en cuanto al comportamiento del ADN durante el proceso, pero se diferencia en que ocurren dos eventos de redistribución del material hereditario en lugar de uno, pudiéndose considerarse como la suma de dos divisiones celulares sucesivas, precedidas de sólo una replicación del material hereditario en el período S del ciclo celular.

Este tipo particular de división ocurre exclusivamente en los órganos reproductivos y cada célula hija resultante se denomina gameto (célula reproductiva).

##### 5.4.1. ¿Cuál es la finalidad de la meiosis?

Las finalidades de la división meiótica son producir gametos con la mitad del contenido de ADN y que estos gametos porten variantes genéticas propias y diferentes a las presentes en el individuo que los produce.

Sabemos que en la etapa S del ciclo celular previa a la meiosis se produjo una duplicación del material hereditario. Así, cada cromosoma está compuesto por dos cromátidas hermanas idénticas. Además sabemos que individuos normales portan dos juegos de cromosomas, uno proveniente de la madre y el otro del padre, es decir que la información genética básica necesaria para un individuo normal se encuentra duplicada. Por consiguiente en cada individuo existen dos cromosomas duplicados de cada tipo al inicio de la meiosis.

Esos cromosomas del mismo tipo son denominados "homólogos" debido a que a) ambos llevan información genética equivalente y b) se atraen entre sí por su similitud. Al inicio de la meiosis los cromosomas homólogos se aparean entre sí en toda su longitud y así cada par es considerado por la célula como una unidad, denominada "bivalente".

##### 5.4.2. ¿Cómo se generan células con la mitad del contenido de ADN?

En una primera instancia el huso acromático formado durante la división meiótica se inserta en ambos centrómeros del bivalente y al traccionar hacia los polos produce la separación de los cromosomas homólogos. Cada polo queda entonces con un cromosoma homólogo de cada par, manteniendo el balance de la información genética y reduciendo a la mitad el número de cromosomas de la célula. Por eso a esta división se la denomina *reduccional*. Por ejemplo, un individuo con 10 cromosomas presentará al inicio de la meiosis 5 bivalentes y luego de la división reduccional cada polo tendrá cinco cromosomas (la mitad que la célula original).

En una segunda instancia, los cromosomas duplicados que llegaron a cada polo se alinean en una nueva placa ecuatorial unidos al huso por sus centrómeros y al traccio-

nar hacia los polos se separan las cromátidas hermanas. A esa división se la denomina “ecuacional”.

Se puede considerar entonces a la división meiótica como la suma de la *meiosis I (reduccional)* y la *meiosis II (ecuacional)* (Figura 6).

Analizaremos rápidamente las etapas correspondientes a cada una y los eventos propios que las caracterizan:

- *Profase I:* en esta etapa se produce gradualmente la condensación de los cromosomas, el apareamiento y el intercambio de información genética entre homólogos, denominada recombinación. En función de la apariencia del ADN se pueden diferenciar 5 estados:

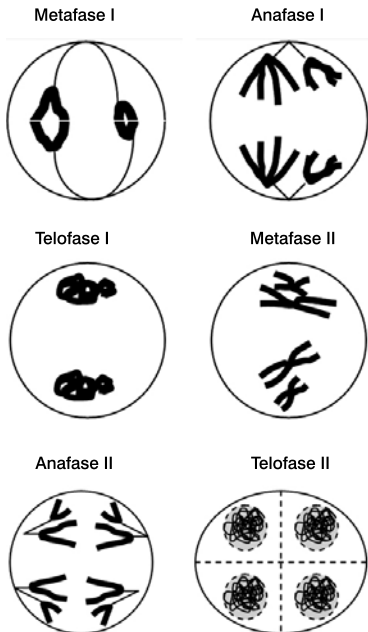
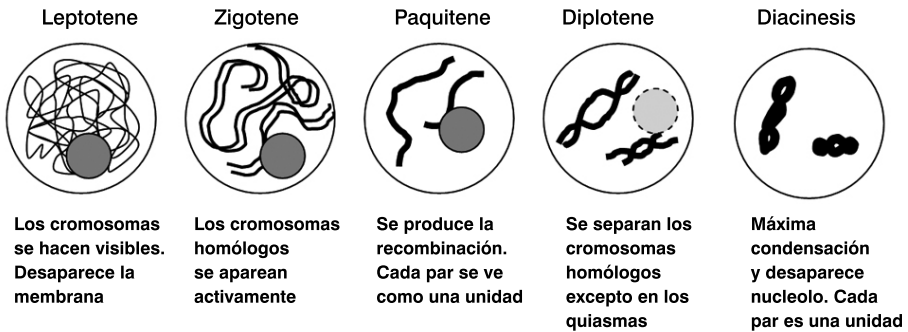


Figura 6: Principales etapas de la meiosis.

- *Metafase I:* los bivalentes se ubican en la placa ecuatorial por el huso acromático, el cual comienza a traccionar hacia los polos. Esto les confiere una morfología característica donde cada cromosoma queda con su centrómero orientado hacia un polo y unido a su homólogo por los quiasmas.

- *Anafase I:* los cromosomas homólogos se separan, migrando hacia los polos traccionados por las fibras del huso. Se pueden apreciar las cromátidas hermanas ahora sólo unidas por el centrómero. A cada polo llega un cromosoma de cada par, produciendo la reducción del número de cromosomas.

- *Telofase I:* se produce una leve descondensación del ADN sin formación de membrana nuclear. Esta etapa puede estar ausente en algunos organismos.
- *Profase II:* se vuelven a condensar completamente los cromosomas, cada uno con sus dos cromátidas y se organizan los polos y el huso acromático.
- *Metafase II:* los cromosomas duplicados se alinean por sus centrómeros en la placa ecuatorial.
- *Anafase II:* la tracción del huso provoca la separación de las cromátidas hermanas.
- *Telofase II:* el ADN ya en los polos se descondensa y se forma la membrana nuclear en los núcleos hijos.

### 5.4.3. ¿Cómo se generan nuevas variantes genéticas en los gametos?

Sin lugar a dudas, el objetivo principal de la meiosis es la generación de gametos portando nuevas variantes genéticas, a través de la redistribución equilibrada y aleatoria de la información hereditaria del individuo. Por eso, para responder a esta pregunta debemos contemplar la meiosis bajo dos niveles de análisis: el génico y el cromosómico.

A *nivel génico:* durante la profase I, en el estadio de Paquitene, los cromosomas homólogos apareados intercambian fragmentos entre cromátidas no hermanas, combinando así la información genética que portan (orígenes paterno y materno). De este modo, los cromosomas presentes en los gametos no son idénticos a los de las células somáticas que los originaron en cuanto a la información genética que portan, sino que llevan combinaciones de fragmentos de ambos homólogos, por lo que se denominan cromosomas recombinados (Figura 7). Como mencionamos previamente, este intercambio recibe el nombre de “recombinación” o “entrecruzamiento” y los puntos de unión entre homólogos donde se produjo el intercambio se denominan “quiasmas”.

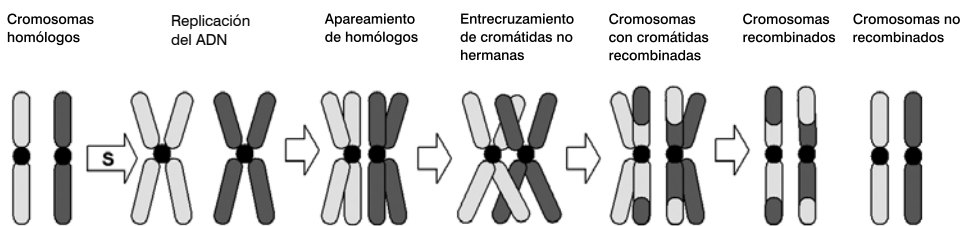


Figura 7: Generación de variantes cromosómicas a nivel génico por recombinación meiótica.

A *nivel cromosómico:* durante la migración reduccional de los cromosomas en la anafase I, los miembros de cada par cromosómico se separan al azar hacia cada polo (según su orientación en la placa ecuatorial) en lo que se conoce como *migración independiente*. Si los cromosomas migraran juntos según su origen (paterno o materno),

cada individuo solo produciría dos gametos diferentes, uno con todos los cromosomas que heredó de su padre y otro con todos los de su madre. Pero al migrar al azar, las combinaciones que se generan entre cromosomas de distintos orígenes son numerosas (Figura 8).

Consideremos por ejemplo al ser humano. Sabemos que en cada una de nuestras células tenemos 46 cromosomas, es decir 23 pares. La cantidad posible de gametos diferentes a partir de las combinaciones de cromosomas según su origen paterno o materno es de  $2^{23}$ , o sea ¡alrededor de 8,4 millones de gametos diferentes!

La segregación cromosómica aleatoria se asemeja a repartir cartas (que equivalen a los cromosomas) de sólo dos palos entre dos jugadores. Si sobre una mesa ubicamos juntas boca abajo las cartas del mismo número y luego de mezclar cada par repartimos al azar una a cada jugador imitaremos lo que ocurre en la división reduccional. Al observar cuál recibió de cada palo cada jugador y repetir el proceso numerosas veces obtendremos resultados diferentes y veremos la cantidad de combinaciones posibles que se generan.

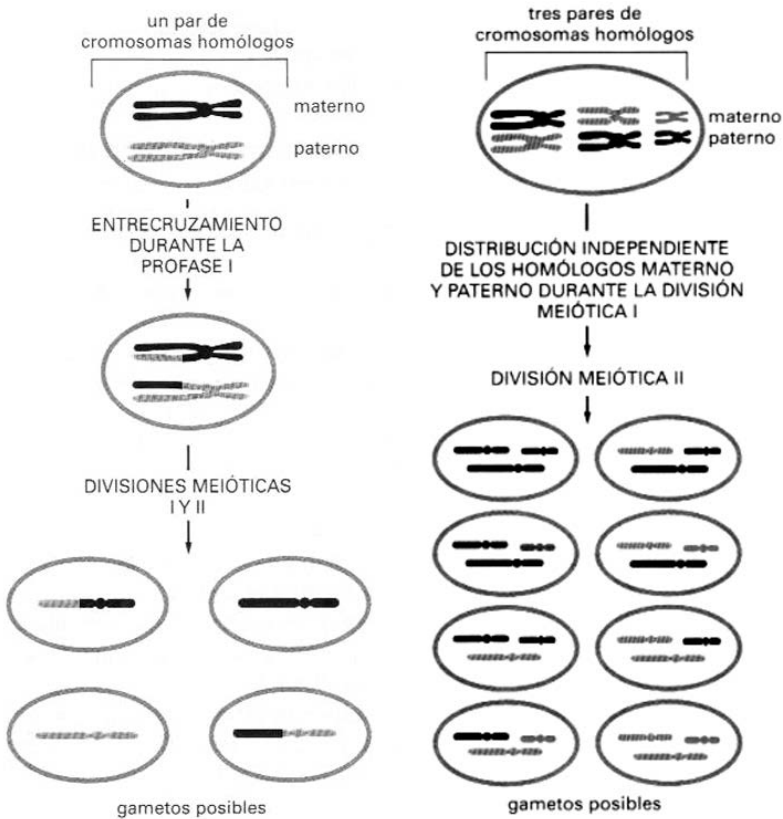


Figura 8. Esquema de generación de variabilidad en meiosis, mediante entrecruzamiento (nivel génico) y migración independiente (nivel cromosómico) de los cromosomas (gráficos tomados de Alberts et ál., 2004).

Si consideramos la ocurrencia simultánea de recombinación y migración independiente son eventos simultáneos, podemos ver que la cantidad de variantes producidas durante la meiosis es increíblemente alta.

### *Consigna*

---

- Reflexionar acerca de la capacidad de los organismos de generar nuevas variantes génicas mediante la reproducción sexual.
- 

### *Actividad*

---

- Haga un cálculo de variantes que genera la reproducción sexual: existe una mosca que posee seis cromosomas. Cada uno de ellos tiene un punto donde se produce recombinación entre homólogos en la profase meiótica. De este modo, de las cuatro cromátidas homólogas en metafase I, dos son combinadas y dos recombinadas. Responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuántas clases de gametos diferentes puede producir un individuo de esta especie si en cada bivalente ocurre dicha recombinación en el punto mencionado?
  - ¿Cuántos cruzamientos diferentes se pueden producir entonces a partir del cruzamiento de dos individuos de esta especie?
- 

#### **5.4.4. Relación entre la meiosis y la variabilidad de los organismos**

Previamente mencionamos que la *meiosis* está exclusivamente relacionada con el proceso reproductivo y su objetivo es la producción de células especializadas (gametos) que transmitan a la descendencia nuevas combinaciones génicas del ADN de los progenitores. Pero alcanzar este objetivo implica un gasto de energía enorme, de modo que reproducirse sexualmente debe acarrear ventajas que justifiquen semejante inversión de recursos.

Al combinarse la información genética entre cromosomas homólogos y entre gametos en la migración independiente (dentro de un organismo), el objetivo perseguido es la generación de variabilidad. Si observamos con detalle, nos daremos cuenta de que también la combinación de variantes genéticas entre organismos de la misma especie al reproducirse para generar un nuevo individuo es una forma de generar variabilidad.

*Podemos preguntarnos entonces: ¿para qué generar tanta variabilidad?*

La diversidad genética es la base sobre la que una especie evoluciona. La selección natural actúa eliminando a los individuos menos aptos y favoreciendo a los mejor

adaptados. De este modo, los que tengan éxito son los que contribuirán con sus genes en mayor proporción a la siguiente generación. Pero como el medio ambiente es variable, para que una especie pueda adaptarse continuamente necesita producir nuevas variantes, capaces de soportar determinados cambios en el medio que habita y además transmitir esa capacidad a su descendencia. Dicho de otra manera, si no existiera variabilidad, la especie podría extinguirse ante cualquier cambio ambiental importante que le resultara perjudicial. La reproducción sexual persigue el objetivo de generar variabilidad que le permita evolucionar y perpetuar la especie en el tiempo.

Pero además de maximizar el beneficio de la generación de variabilidad, el organismo busca disminuir los costos. La reproducción sexual implica que un organismo destine, para la generación de un nuevo individuo, energía que podría utilizar para su propia subsistencia. Por eso, para evitar un gasto innecesario de recursos, la reproducción sólo ocurre en un contexto favorable. Así, la meiosis se produce sólo en tejidos u órganos especializados (flores, ovarios, testículos, etc.) y no en cualquier parte del organismo. Por otro lado, la aptitud para reproducirse se alcanza luego de un período de maduración (pubertad en animales, desarrollo mínimo en vegetales), asegurando que el organismo podrá disponer de los recursos que necesita para llevar a cabo el proceso reproductivo. Por último, es bien sabido que ni las plantas florecen todo el año ni los animales salvajes están en celo todo el tiempo, sino que dependen de condiciones ambientales que les indican que la reproducción en ese momento es un proceso favorable.

### *Consignas*

---

- Analizar ejemplos acerca de la variabilidad existente en organismos de reproducción sexual.
- 



### *Actividad*

---

Reflexiona acerca de las siguientes preguntas:

- ¿Por qué un individuo puede ser parecido a su padre mientras su hermano es más parecido a su madre?
  - Si se genera tanta variabilidad en los gametos, ¿por qué los individuos emparentados son más parecidos entre sí que respecto a otras familias?
-



## Referencias bibliográficas

**Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. y P. Walter (2004):** *Biología molecular de la célula*. 4º ed., Omega, Barcelona, 1551 p.

**Curtis, H. y N.S. Barnes (2000):** *Biología*. 6º ed. Editorial Médica Panamericana, Madrid, 1558 p.

**De Robertis, E.M.F. (h); Hib, J. y R. Ponzio, (1998):** *Biología celular y molecular de E.D.P. De Robertis*. 12º ed., El Ateneo, Buenos Aires, 469 p.

**Dobzhansky, T.; Ayala F.J.; Stebbins, G.L. y J.W. Valentine (1980):** *Evolución*. Omega, Barcelona, 558 p.