

# BIOLOGÍA

**2º BACHILLERATO**

**Mutaciones, evolución y cáncer**

[www.tipsacademy.es](http://www.tipsacademy.es)

## TEMA 17 MUTACIONES, EVOLUCIÓN Y CÁNCER

### 1. LAS MUTACIONES

Las **mutaciones** son cambios en la información hereditaria de los seres vivos. La **mutación** supone por tanto cambios en el **ADN** o los cromosomas. Las mutaciones pueden producirse en células somáticas o en células germinales (gametos). Si afectan a estas últimas serán heredables y si afectan a las células somáticas se extinguen, por lo general con el individuo, a menos que se trate de un organismo con reproducción asexual. Los individuos que sufren estas mutaciones se denominan **mutantes**

### 2. CLASIFICACIÓN DE LAS MUTACIONES

Existe una amplia clasificación de las mutaciones según diversos criterios.

#### POR LA CAUSA QUE LAS ORIGINA

- **Naturales.** Se originan de manera espontánea.
- **Inducidas** por agentes **mutagénicos** físicos o químicos.

#### POR EL TIPO DE CÉLULAS DONDE SE LOCALIZA

- **Gamética.** Si la mutación se encuentra en los gametos ( $n$ ).
- **Somática.** Si la mutación se produce en células somáticas ( $2n$ ).

#### POR SU TIPO DE EXPRESIÓN

- **Dominante.** Aparece en homocigosis y heterocigosis ( $AA$  y  $Aa$ ).
- **Recesiva.** Aparece sólo en homocigosis recesiva ( $aa$ ).

#### POR SU VIABILIDAD

- **Neutra.** No tiene ninguna consecuencia.
- **Beneficiosa.** Produce un beneficio al individuo que la posee. Pueden estar relacionadas con la evolución.
- **Patológica.** Produce una enfermedad al individuo que la posee. Algunas están vinculadas a la aparición de tumores.
- **Teratológica.** Produce una malformación al individuo que la posee. Suelen suceder en el desarrollo embrionario.
- **Letal.** Produce la muerte del individuo.

#### POR EL TIPO DE CROMOSOMA DONDE SE LOCALICE

- **Autosómica.** Cuando está en cualquier cromosoma que no sea el sexual.

- **Ligada al sexo.** Cuando se localiza en un cromosoma sexual (XX o XY).

**POR EL ALELO AFECTADO**

- **Directa.** Cuando un alelo normal se transforma en mutante.
- **Retrógrada.** Cuando un alelo mutante se altera pasando a ser un alelo normal.

**POR LA NATURALEZA DE LA ALTERACIÓN QUE PROVOCA**

- **Génica o puntual.** Cuando afecta a la estructura del gen (cambio de un nucleótido por otro).
- **Cromosómica.** Cuando altera la morfología de un cromosoma (cambio de un fragmento del cromosoma).
- **Genómica.** Cuando altera el número de cromosomas de un individuo (por defecto o por exceso).

De todas estas clasificaciones de mutaciones, la más empleada es la que atiende a la naturaleza de la alteración provocada, por lo que estudiaremos en profundidad estas tres últimas

**2.1 MUTACIONES GÉNICAS O PUNTUALES**

Son las alteraciones que afectan a la estructura de un gen. Provocan **cambios** en la **secuencia de nucleótidos** de ADN. Existen varios tipos:

**a) Sustituciones de pares de bases:**

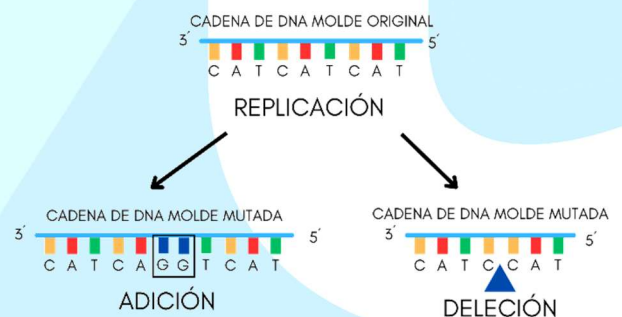
- **Transiciones.** Es el cambio en un nucleótido de una base púrica por otra púrica o de una pirimidínica por otra pirimidínica.
- **Transversiones.** Es el cambio de una base púrica por una pirimidínica o viceversa.

Las **sustituciones** provocan la alteración de un único triplete de ADN y, por tanto, salvo que sea un triplete de parada o afecte a un aminoácido del centro activo de una enzima, pueden no ser perjudiciales. Además, como el código genético está degenerado, muchos tripletes mutados siguen determinando para el mismo aminoácido. A este tipo de mutaciones se las consideraría **mutaciones neutras**.

**b) Pérdida o inserción de nucleótidos:**

Induce un **desplazamiento en el orden de lectura**, por lo que las consecuencias son más drásticas. Pueden ser:

- **Adiciones génicas.** Es la inserción de nucleótidos en la secuencia del gen.
- **Deleciones génicas.** Es la pérdida de nucleótidos en la secuencia del gen.



Estas mutaciones, salvo que se compensen entre sí, pueden alterar la secuencia de aminoácidos de la proteína codificada y sus consecuencias suelen ser graves.

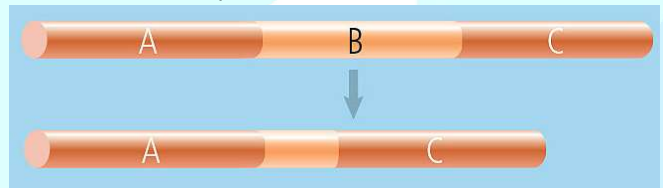
## 2.2 MUTACIONES CROMOSÓMICAS

Son aquellas que afectan a la morfología del cromosoma. Existen varios tipos:

### a) Las que suponen pérdida o duplicación de segmentos del cromosoma

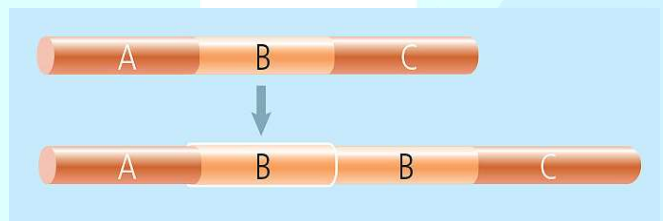
- **DELECCIÓN**

Pérdida de un fragmento de un cromosoma, lo que implica la **pérdida de genes** que se encuentran en él. Como ejemplo en la especie humana tenemos la deleción de un cromosoma de la pareja 5, que se llama *Síndrome de "Cri du Chat"*: los niños afectados, al llorar, producen un sonido similar al "maullido de un gato" (de ahí su nombre, pues "chat" significa "gato" en francés), presentan microcefalia, retraso mental y no suelen llegar a la edad adulta. Si la deleción se produce en los dos cromosomas de la pareja 5 resulta letal.

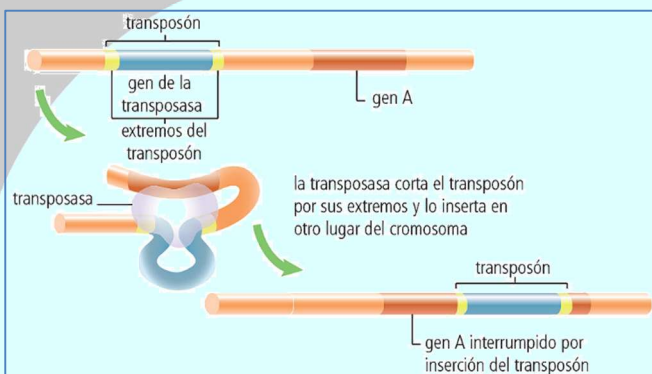


- **DUPLICACIÓN**

Es la repetición de un segmento de un cromosoma, con la consiguiente duplicación de los genes que lleva. Esta repetición puede darse dentro del mismo cromosoma, o en el cromosoma homólogo o incluso en otro cromosoma no homólogo. Implica un aumento del material genético.



Se conocen ciertas secuencias de ADN llamadas **transposones**, que tienen la capacidad de



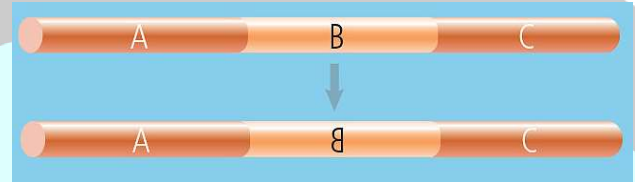
de cambiar de lugar dentro del genoma, de forma autónoma. La razón de ello es que contienen el gen que codifica para la enzima **transposasa**, con capacidad de cortar el segmento del transposón y "saltar" e insertarlo en otro lugar del ADN. Esto provoca la aparición de una deleción en el lugar dónde se ubicaba el transposón, y una adición en el lugar de destino, dónde se inserta.

**b) Las que suponen variaciones en la distribución de los segmentos de los cromosomas:**

• **INVERSIÓN**

La disposición de los genes de un fragmento cromosómico se invierte. Puede ser:

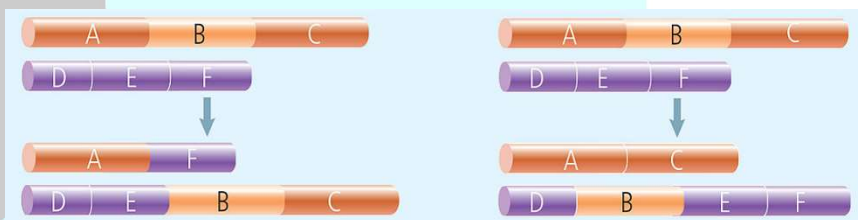
- **Pericéntrica** si la inversión incluye al centrómero.
- **Paracéntrica** si no lo incluye.



• **TRANSLOCACIÓN**

Es el cambio de posición de un fragmento del cromosoma.

- Cuando sólo hay translación de un segmento a otro lugar del mismo cromosoma se denomina **translocación intracromosómica**.
- Cuando la translación se produce hacia otro cromosoma se llama **translocación intercromosómica**.
- Cuando se produce un intercambio de segmentos entre dos cromosomas no homólogos recibe el nombre de **transposición recíproca**.



**2.3 MUTACIONES GENÓMICAS**

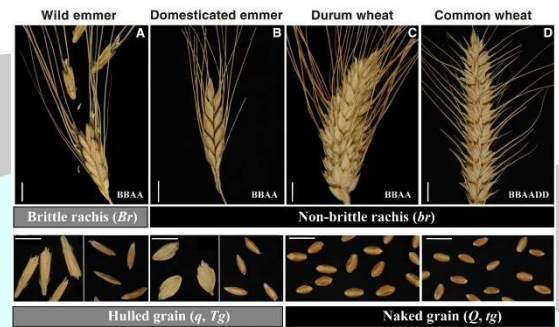
Son las que producen una alteración en el número de cromosomas. Pueden ser:

• **EUPLOIDÍAS**

Cuando afecta al número de juegos completos de cromosomas con relación al número normal de cromosomas de la especie.

Se pueden clasificar por el número de cromosomas que se tengan en:

- **Monoploidías.** Si las células presentan un solo juego (**n**) de cromosomas.
- **Poliploidía.** Si las células presentan más de dos juegos, pudiendo ser **triploides** ( $3n$ ), **tetraploides** ( $4n$ ), etc. Los vegetales poliploides tienen células de mayor tamaño y por tanto son de mayor tamaño corporal. Por esta razón, muchas especies vegetales utilizadas para el cultivo se han obtenido generando poliploides.



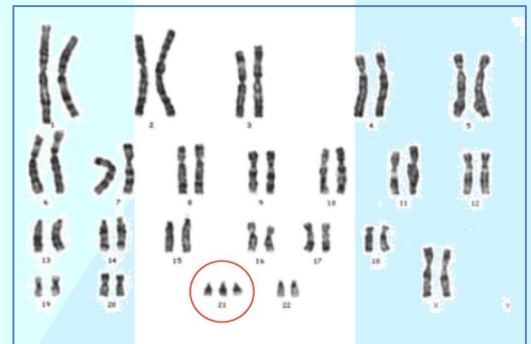
También se pueden clasificar por la procedencia de los cromosomas en:

- **Autopoliploidía.** Si todos los juegos proceden de la misma especie.
- **Alopoliploidía.** Si los juegos proceden de la hibridación de dos especies.

• **ANEUPLOIDIAS**

Se dan cuando está afectada sólo una parte del juego cromosómico y el cigoto presenta cromosomas de más o de menos. Las aneuploidías pueden darse tanto en los autosomas (por ejemplo: el Síndrome de Down), como en los heterocromosomas o cromosomas sexuales (por ejemplo: el síndrome de Turner o el síndrome de Klinefelter). A su vez se clasifican en:

- **Monosomías ( $2n-1$ )** Falta un cromosoma de una pareja de homólogos. Si el cromosoma que falta es de la pareja de cromosomas sexuales se produce el **Síndrome de Turner** ( $44 + XO$ ). Fenotípicamente son mujeres con poca estatura, microcefalia y generalmente estériles.
- **Nulisomía ( $2n-2$ )** Falta una pareja de cromosomas homólogos. Tiene efectos letales.
- **Trisomías ( $2n+1$ )** Hay tres cromosomas homólogos en lugar de los dos. En humanos el individuo presenta 47 cromosomas. El más conocido es el Síndrome de Down, que presenta 3 cromosomas en la pareja 21 (Imagen) Parece ser que las trisomías se originan por una no disyunción de los cromosomas (no separación de los homólogos en Anafase I por no romperse los quiasmas) en la primera división de la meiosis.
- **Tetrasomías ( $2n+2$ )** Hay cuatro cromosomas homólogos. En los humanos el individuo presenta 48 cromosomas.





Aneuploidías en los autosomas		
Síndrome	Mutación	Características fenotípicas
Síndrome de Down	Trisomía del par 21	Ojos oblicuos, retraso mental, cabeza ancha y cara redondeada.
Síndrome de Edwards	Trisomía del par 18	Boca y nariz pequeñas, deficiencia mental, lesiones cardíacas, membrana interdigital. Poca viabilidad.
Síndrome de Patau	Trisomía del par 13	Labio leporino, paladar hendido, deficiencias cerebrales y cardiovasculares. Poca viabilidad.
Aneuploidías en los cromosomas sexuales		
Síndrome	Mutación	Características fenotípicas
Síndrome de Klinefelter	Uno o más cromosomas X en exceso (XXY, XXXY,...).	Sexo masculino. Esterilidad, deficiencias mentales y algunos caracteres sexuales secundarios femeninos.
Síndrome de Turner	Monosomía del cromosoma X (X0)	Sexo femenino con un sólo cromosoma X, esterilidad, baja estatura, tórax ancho.
Síndrome de doble Y	Dos cromosomas Y (XYY)	Varones de estatura elevada, se relaciona con una mayor agresividad, bajo coeficiente mental.
Síndrome de triple X	Tres cromosomas X (XXX)	Sexo femenino. Rasgos físicos similares a otras mujeres de su edad, aunque más altas de lo normal. Problemas de lenguaje. Fértiles.

### 3. MUTÁGENOS O AGENTES MUTAGÉNICOS

El ADN se encuentra sometido a las agresiones producidas por sustancias denominadas mutágenos, que pueden ser de distintas naturalezas:

#### AGENTES FÍSICOS

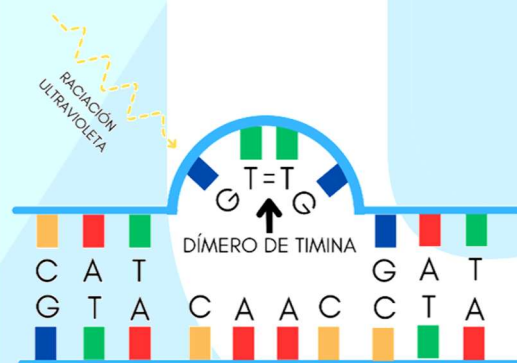
##### a. La temperatura

Las células humanas al encontrarse a una temperatura de 37º C pierden diariamente y de forma espontánea 5.000 bases púricas (A y G) en un proceso llamado despurinación, que consiste en la ruptura por el calor del enlace N-glucosídico entre la desoxiribosa y las bases púricas. También se producen desaminaciones en las bases nitrogenadas, de manera espontánea se pierden 100 al día, produciendo la transformación de citosina en uracilo, y de adenina en hipoxantina.

##### b. Radiaciones no ionizantes

Las más frecuentes son las radiaciones ultravioleta procedentes del Sol. Se distinguen dos tipos de radiaciones: la **UVB**, más energética, con una longitud de onda de 320 nm; y la **UVA**, menos energética y con una longitud de onda de 400 nm.

Los rayos **UVB** son absorbidos por el ADN, especialmente el de las células de la piel, producen la formación de un enlace covalente entre dos bases pirimidínicas (C y T) sucesivas de la misma cadena, formando los dímeros de timina y dímeros de citosina; rompiendo los puentes de hidrógeno que mantenían unidas sus bases complementarias, desorganizando la cadena de ADN.



Los rayos UVA no son absorbidos directamente por el ADN, pero producen un aumento de radicales libres que resultan mutágenos.

Las mutaciones que producen los dos tipos de UV originan cáncer de piel.

**c. Radiaciones ionizantes:**

Son radiaciones electromagnéticas de longitudes de ondas muy cortas y por lo tanto altamente energéticas. Entre estas se encuentran:

- **Rayos X**
- **Protones y neutrones procedentes de la radiación cósmicas**
- **Partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .** Se emiten en los procesos de desintegración de isótopos radiactivos, sus efectos sobre el ADN son muy severos. Los casos más graves se deben a radiaciones emitidas por accidentes en las centrales nucleares, como en el caso de Chernobil, que producen una lluvia de elementos radiactivos que se incorporan a los tejidos del individuo por medio de las cadenas tróficas: verdura, carne, leche e individuo; causando una mutación que puede desarrollar un tumor cancerígeno.

Todas son capaces de actuar sobre la molécula de ADN rompiendo sus cadenas o modificando la composición química de alguno de sus componentes.

Las mutaciones ocasionadas por las radiaciones ionizantes pueden ser:

- **Letales:** Dependen de la dosis de la intensidad y del tiempo de exposición, ya que sus efectos son acumulativos. Si la radiación es muy intensa rompe los cromosomas y produce la muerte del individuo.
- **Carcinógenas:** Al ser acumulativas estas radiaciones pueden ocasionar, al cabo de los años, la aparición de un carcinoma. La presencia de leucemia es más frecuente en poblaciones sometidas a radiaciones producidas por explosiones nucleares, como el caso de Hiroshima y Nagasaki; por escapes en centrales nucleares o entre los radiólogos, por utilización de rayos X como Marie Curie.
- **Mutaciones teratológicas:** Si la radiación afecta a una mujer en estado de gestación se pueden producir mutaciones en el ADN del feto, ya que sus células estén en mitosis; esto puede ocasionar malformaciones en el recién nacido, por lo que a mujeres gestantes no se les realizan exploraciones con rayos X.

**AGENTES QUÍMICOS**

La mayoría de ellos son mutágenos carcinógenos:

- **Benzopirenos:** Se encuentran en los alquitranes y en el humo del tabaco. Es una molécula que presenta biotransformación en otra molécula altamente reactiva, que se intercala entre los pares de bases complementarias y establece enlaces covalentes entre las dos hebras de ADN. Este mutágeno puede producir adición o delección de nucleótidos durante la duplicación.
- **Ácido nitroso:** Produce la desaminación de la citosina, que se convierte en uracilo (base no propia del ADN) y de la adenina en hipoxantina (tampoco propia de éste).



- **Agentes alquilantes:** Introducen radicales alquílicos (metil, etil, propil...) entre las bases del ADN alterando su duplicación, por ejemplo: modifican a la guanina, que se complementa con la timina en lugar de con la citosina.

### METABOLITOS RADIATIVOS

Algunos residuos del metabolismo como los radicales libres derivados del O<sub>2</sub> son compuestos muy reactivos, que producen alteraciones en el ADN. Estos radicales oxidan a los lípidos de la membrana, inactivan a las enzimas y producen mutaciones en el ADN del núcleo y especialmente en el ADN de las mitocondrias, produciéndose el envejecimiento.

Parece ser que los radicales libres actúan sobre las mitocondrias, producen el deterioro de su ADN y pueden ser la causa de la pérdida progresiva de energía que acompaña al envejecimiento.

### AGENTES BIOLÓGICOS

Algunos tipos de virus animales, denominados oncovirus, son capaces de inducir mutaciones que provocan cáncer. Así, por ejemplo, los virus de la **hepatitis B y C** multiplican el riesgo de contraer cáncer de hígado. Además, algunos tipos de papilomavirus y el virus del herpes genital (**adenovirus**) están implicados en la aparición de cáncer de cuello de útero en las mujeres. También actúan de igual forma los **transposones**, ya vistos en este mismo tema, segmentos de ADN capaces de cambiar de lugar dentro del cromosoma o a otro cromosoma, con lo que provocan activaciones o inhibiciones no programadas de genes específicos. En este aspecto también debemos considerar el caso del VIH.



Por otra parte, la bacteria *Helicobacter pylori*, causante de úlceras gástricas, puede estar relacionada con ciertos casos de cáncer de estómago.



## 4. SISTEMAS DE REPARACIÓN DEL ADN

Para reparar los daños ocasionados en el ADN por los agentes mutágenos existen mecanismos reparadores como:

### 4.1 REPARACIÓN DIRECTA

Para reparar la distorsión realizada por los rayos UV sobre los dímeros de bases pirimidínicas se activa una **enzima fotorreactiva**, con la misma radiación UV que la que causó la lesión, que es capaz de romper las uniones entre las bases pirimidínicas y restablecer la doble hélice del ADN.

### 4.2 REPARACIÓN POR ESCISIÓN

Cuando se detecta una desaminación de una base, los sistemas enzimáticos cortan la base desaminada y colocan la base complementaria correspondiente. Si la lesión en el ADN es muy grave, los sistemas enzimáticos reparativos pueden cortar el nucleótido completo.

### 4.3 SISTEMAS ENZIMÁTICOS DE REPARACIÓN SOS

Cuando el ADN está sometido a la actuación prolongada de un agente mutágeno los sistemas de reparación normales son insuficientes para corregirlos antes de que el ADN se duplique.

Las células procariotas, como la *Echerichia coli*, utilizan el **sistema de reparación SOS**: en los puntos de réplica situados frente a la lesión introduce nucleótidos al azar para que puede continuar la duplicación del ADN.

En células eucariontes la actuación de las enzimas SOS salva la vida de la célula, pero la incorporación con error de nucleótidos en la hebra que se va a replicar origina mutaciones puntuales, que modifican la información genética. Si el sistema afectado es el encargado de la división celular, puede modificar una célula normal en cancerígena.

## 5. MUTACIONES Y CÁNCER

La proliferación celular es un proceso que está muy controlado en los organismos pluricelulares. Sin embargo, en ocasiones algunas células comienzan a dividirse sin control hasta formar un **tumor** o **neoplasia**.

Si el crecimiento es lento y las células creadas se mantienen unidas se puede considerar "benigno", sin embargo, en ciertas ocasiones llegan a un punto en el que la velocidad de crecimiento se incrementa enormemente y las células formadas se dispersan por otros órganos y sistemas próximos aprovechando el sistema circulatorio o el linfático. En estos casos se trata de tumores malignos o lo que comúnmente llamamos **cáncer**.

En realidad, lo que genéricamente llamamos cáncer son en realidad una gran cantidad de enfermedades que afectan a una diversidad de tejidos y órganos con desarrollos muchas veces diferentes pero que tienen unas características comunes:

- El crecimiento desordenado y descontrolado de las células implicadas, que llamamos cancerosas o tumorales.
- La capacidad de estas células para migrar y extenderse por el organismo mediante el proceso llamado **metástasis**.

Las **fases** del proceso canceroso son las siguientes:

- **1. Iniciación tumoral:** una primera célula, llamada **célula iniciada**, se ve alterada por el efecto de algún agente mutagénico. Se multiplica anormalmente, generando células también mutadas, que permanecen latentes en el organismo durante un periodo de tiempo variable.
- **2. Promoción:** sobre las células iniciadas se produce repetidamente el efecto del agente mutagénico, generándose **células promocionadas**. El ambiente puede actuar amplificando esta fase.
- **3. Progresión:** proliferan las células iniciadas y promocionadas, dando lugar a **células tumorales**, ya declaradamente cancerosas, con características propias:
  - Proceden de una única primera célula que se transformó en cancerosa, por lo que sus células "descendientes" también son cancerosas.

- Estas células proliferan continuamente y sin ningún control, favoreciendo la vascularización de los tejidos afectados.
- Pierden algunas de sus características fenotípicas, como es el tamaño o la forma.
- Pierden la inhibición por contacto con otras células y segregan sus propios factores de crecimiento, creando capas superpuestas y desordenadas de células tumorales.
- Recuperan la actividad telomerasa, perdida en las células adultas normales.
- Si se inoculan células cancerosas en tejidos de animales sanos, provocan en ellos tumores.

Se desconoce aún todos los mecanismos por los que una célula sana se transforma en cancerosa, ya que cada proceso tumoral tiene un origen único, de ahí la dificultad en su tratamiento por su heterogeneidad. Aunque se sabe que algunas mutaciones producidas en algunos genes que intervienen en la regulación de la división celular, son las desencadenantes. En ocasiones los desencadenantes del cáncer en algunos animales son los virus tumorales de ARN o retrovirus y los virus tumorales de ADN. Tanto unos como otros son capaces de transformar a las células infectadas al insertar su material genético en el del huésped, induciendo así a su transformación en una célula cancerosa.

Los genes implicados en la aparición del cáncer son de tres tipos:

- **Protooncogenes y oncogenes:** codifican para la formación de proteínas que intervienen en la división celular, promoviéndola, aunque normalmente están inhibidos. Los oncogenes proceden de los protooncogenes, cuando estos mutan. El resultado es que los genes pasan de un estado habitualmente reprimido (protooncogenes) a un estado permanentemente activado (oncogenes), por lo que inducen continuamente a la división de las células que los contienen, formando tumores.
- **Genes supresores de tumores:** controlan negativamente la proliferación celular, es decir la inhiben. La mutación de estos genes provoca su comportamiento contrario, es decir dejan de impedir la división celular por lo que esta se activa.
- **Genes de reparación del ADN:** que al estar activados propician la corrección de errores acumulados en el ADN. Su mutación provoca su inactivación, por lo que no se corrigen los errores producidos y las mutaciones se mantienen.

## 6. VARIABILIDAD GENÉTICA Y EVOLUCIÓN

La variabilidad genética es la aparición de **caracteres heredables** en una población, que provoca que exista diversidad entre los individuos que la componen. Esta variabilidad, a su vez, da lugar al proceso de la evolución. Son varios los factores responsables de la variabilidad genética y, por lo tanto, del proceso evolutivo:

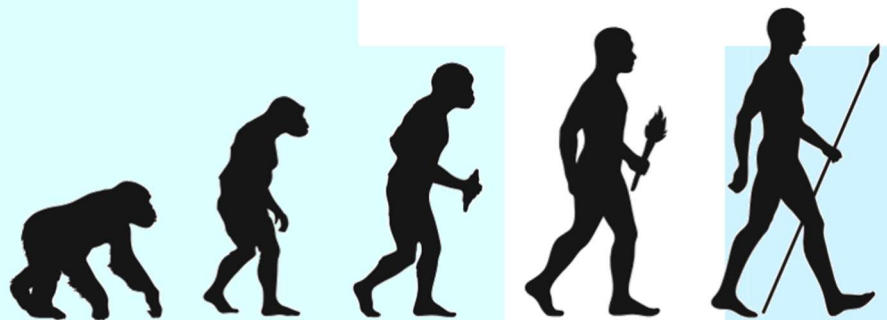
- **Mutaciones:** son la principal fuente de variabilidad y el principal motor de la evolución. Aunque una parte de las mutaciones que puedan aparecer sean perjudiciales para el individuo en concreto que la presenta, debemos hacer la consideración de que, en cualquier caso, siempre van a ser beneficiosas para la población en su conjunto, puesto que mueven el engranaje de un proceso evolutivo global.

- **Deriva genética:** es la fluctuación aleatoria de las frecuencias de los alelos entre dos generaciones consecutivas de una población, debido al azar, no a selección natural. Suele producirse por una pérdida de los alelos menos frecuentes y un aumento de los más frecuentes, lo que provoca una disminución de la variabilidad genética de la población. Tiende a formar una población homocigótica, eliminando los genotipos heterocigóticos, y es más evidente en pequeñas poblaciones. De alguna manera, la deriva genética neutraliza el efecto de las mutaciones.
- **Migración o flujo genético:** provoca una variación en las frecuencias génicas de una población, por los flujos migratorios, de entrada o salida de individuos en una población. Por lo general, la llegada de individuos a una población aumenta la variabilidad genética, mientras que el abandono produce un efecto contrario.
- **Selección natural:** que produce cambios en las frecuencias génicas de una población cuando se dan ciertas condiciones. Los individuos de una población no son idénticos sino semejantes, con diferencias fenotípicas entre ellos. Cuando estas características particulares son heredables, al tener un trasfondo genético, esas variaciones ponen en una diferente situación de supervivencia a los individuos que las presentan, por lo que producen una mejor o peor adaptación al medio.

## 6.1 EVIDENCIAS DE LA EVOLUCIÓN

**PRUEBAS PALEONTOLÓGICAS:** Basadas en el estudio comparativo de los **fósiles** encontrados.

Este registro nos muestra ejemplares que vivieron antiguamente y hoy están extinguidos, y otros que existiendo en la actualidad no aparecen como fósiles. Su estudio nos demuestra un gradual proceso de cambio en los seres vivos a lo largo del tiempo. Las especies fósiles se pueden organizar en **series filogenéticas** que nos indican las variaciones graduales transcurridas en especies similares a lo largo del tiempo, dejando patente la existencia de la evolución.

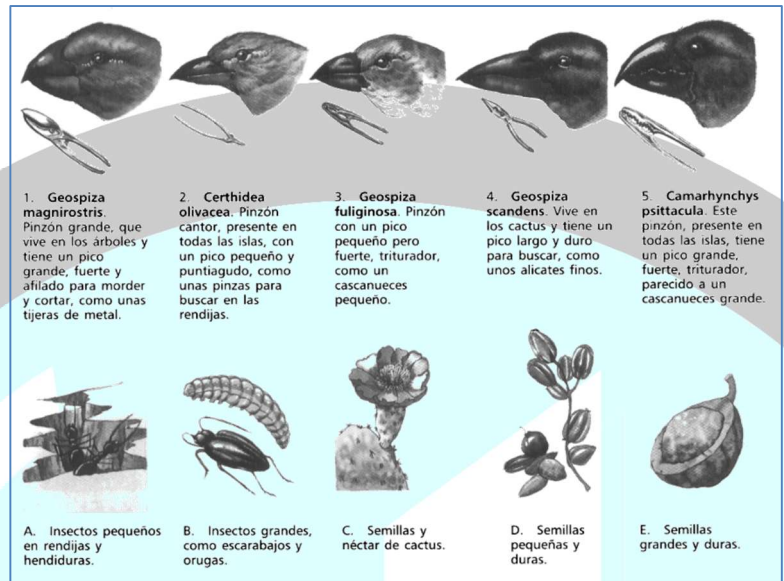


Cabe destacar la existencia de **formas intermedias**, fósiles que presentan características ambiguas entre dos especies hoy muy diferentes, lo que indica que tuvieron antecesores comunes. También tienen gran importancia los llamados **fósiles vivos**, especies existentes hoy en día que presentan mucha similitud con fósiles de especies que vivieron en el pasado. Es el caso del *Nautilus*, los cocodrilos, los escualos o el *Gingko biloba*, entre otros muchos.



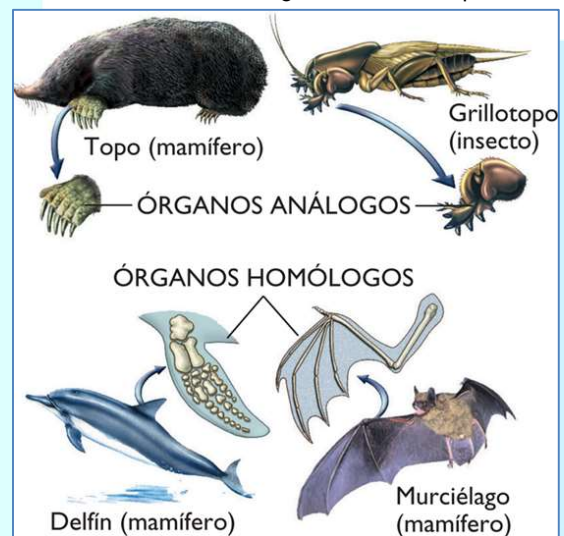


**PRUEBAS BIOGEOGRÁFICAS:** La existencia en la actualidad de especies muy semejantes, aunque diferentes, separadas en regiones muy distantes, nos indica que varias poblaciones de una misma especie quedaron aisladas por la deriva continental y al verse expuestas a la presión de ambientes diferentes, evolucionaron de distinta forma, llegando a formar especies distintas hoy en día. Son ejemplos las distintas especies de pinzón presentes en las Islas Galápagos, estudiadas por Darwin, o los simios africanos y suramericanos.



**PRUEBAS ANATÓMICAS:** La anatomía comparada nos permite establecer analogías y homologías entre los órganos de las diferentes especies. También nos permite el estudio de órganos vestigiales.

- **Órganos análogos:** son aquellos que, teniendo una **misma función**, presentan una estructura y **anatomía diferentes**. Se han formado por un proceso de **convergencia adaptativa** por lo que no nos permiten establecer relaciones de parentesco entre distintos grupos. Ejemplos son las alas de las aves, de los insectos o de algunos mamíferos, como el murciélago, todas adaptadas al vuelo, pero con diferentes estructuras y tejidos.
- **Órganos homólogos:** son aquellos que, aun teniendo **distinta función**, presentan una **anatomía similar**. Se han formado por un proceso de **divergencia adaptativa** y evidencian una relación evolutiva entre os grupos que los presentan. Ejemplos son las aletas de una ballena y la pata de un mamífero terrestre, con diferentes funciones (nadar o caminar) pero con la misma estructura ósea.
- **Órganos vestigiales:** son aquellos de los que hoy en día sólo quedan restos, al haber perdido su función a lo largo del tiempo, habiendo casi desaparecido. Ejemplos en la especie humana son las "muelas del juicio", vestigio de una tercera dentición, hoy ya inexistente, el apéndice vermicular o el coxis.

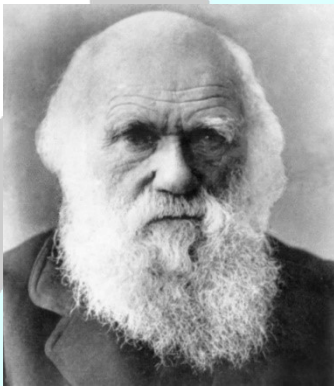




**PRUEBAS EMBRIOLÓGICAS:** La embriología estudia el proceso de desarrollo embrionario en los animales vertebrados. Los embriones de las diferentes especies pasan por etapas similares en las fases tempranas de su desarrollo, pero esas semejanzas van desapareciendo a medida que se desarrolla el embrión, esto es lo que se llama la **ley biogenética**. La razón de ello es que el modo en el que sucede el desarrollo embrionario ha sido heredado de un antecesor común. Las semejanzas serán más persistentes entre los embriones de ciertas especies que entre los de otras, lo que reflejará un mayor grado de parentesco evolutivo entre ellas.

**PRUEBAS BIOQUÍMICAS Y CITOLÓGICAS:** En los niveles molecular y celular, los seres vivos muestran semejanzas extraordinarias. Todos los organismos están formados por **células muy similares** y por moléculas también semejantes como **glúcidos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos**. Estas semejanzas se explican con la afirmación de que todos los seres vivos tienen un origen común. La comparación de las secuencias de **nucleótidos** del ADN o de los **aminoácidos** de las proteínas de dos especies es un método muy certero para establecer su parentesco. Cuantas más semejanzas se detecten, más cerca en el tiempo se encontrará su antepasado común.

## 7. DARWINISMO



Charles Darwin embarcó como naturalista en el Beagle, en el cual realizó un viaje alrededor del mundo durante cinco años. Las observaciones que hizo durante este viaje constituyeron las bases sobre las que asentó su propuesta sobre la evolución.

También influyeron en su punto de vista los estudios del geólogo **Charles Lyell**, que rechazaba el fijismo, y las teorías del economista **Thomas Malthus**, que sostenía que la desproporción entre el aumento de la población humana y de los alimentos conduciría, necesariamente, a una lucha por los escasos recursos. Estas ideas que, aunque estaban aplicadas a la población humana, sirvieron a Darwin para reflexionar sobre la idea de la **lucha por la supervivencia** en todos los seres vivos.

En el momento en que Darwin y Wallace propusieron su teoría aún no había aparecido la genética como ciencia, por lo que no pudo explicar cuáles eran las causas de esa variación, ni tampoco la forma en la esa información se transmitía de una a otra generación.

A partir del inicio del siglo XX, las aportaciones de **August Weismann**, que refutó la hipótesis de la herencia de los caracteres adquiridos, el redescubrimiento de los trabajos de **Gregor Mendel** y de genetistas como **Hugo de Vries** y **Thomas Morgan**, que acuñaron el concepto de **mutación**, así como los nuevos conocimientos que se fueron adquiriendo sobre genética y otras disciplinas permitieron explicar muchos de los aspectos que Darwin no pudo. A este conjunto de nuevos datos y explicaciones, tomando como base la teoría propuesta por Darwin es lo que conocemos como **neodarwinismo** o **teoría sintética**,



propuesta por **Theodosius Dobzhansky**, desechando totalmente las teorías de Lamarck sobre la herencia de los caracteres adquiridos.

## 8. NEODARWINISMO

El **neodarwinismo** sigue manteniendo la selección natural como el principal mecanismo evolutivo y define la evolución como un cambio gradual en la composición genética de las poblaciones. Se puede resumir en los siguientes puntos:

- La **unidad evolutiva** no es el individuo, sino la **población**.
- **Mutaciones:** el principal "motor" que promueve la evolución son los cambios que se producen en el material genético y que, por tanto, son heredables, las **mutaciones**. Algunas son **perjudiciales**, hacen que el individuo que las posee tienda a desaparecer, otras **beneficiosas**, poniendo al individuo que la posee en mejores condiciones para sobrevivir que quienes no la posean, y otras **neutras**, ya que no causan ni perjuicios ni beneficios al individuo, por lo que pasan inadvertidas.
- **Variabilidad fenotípica:** la aparición de nuevos fenotipos se ve propiciada por el aumento de la variabilidad genética provocada a su vez por las mutaciones.
- **Eficacia biológica y evolución por selección natural:** los individuos de cualquier población son portadores de diferentes alelos originados por **mutaciones**. Ciertos fenotipos, determinados por esos alelos, confieren a los individuos que los poseen más posibilidad de dejar descendencia. En las generaciones siguientes, los alelos responsables de tales fenotipos serán cada vez más frecuentes.
- Otro factor que favorece el proceso evolutivo es la **reproducción sexual**. Mediante la **recombinación génica** durante la **meiosis**, se originan nuevas combinaciones de genes en los descendientes que provocan variabilidad.

## 9. ESPECIACION

La **especiación** es el proceso por el cual se originan dos o más especies a partir de una ancestral, como resultado de la selección natural, actuando sobre la variabilidad.

El mecanismo mejor estudiado es el de **especiación alopátrida** o **geográfica**. La especiación puede suceder como resultado de un **aislamiento geográfico** (por la formación de un mar, río, montaña,...), o como consecuencia de cambios en las **condiciones climáticas**, el tipo de suelo, los depredadores o parásitos, o la fuente de alimento, etc...

En la formación de nuevas especies se suceden **varias etapas**:

**1. Aislamiento de las poblaciones:** Una población puede quedar aislada del resto de la especie por una barrera, geográfica, climática o de otro tipo, que le impide reproducirse con la población original.

**2. Diferenciación gradual:** En principio, la población que ha quedado aislada posee los mismos genes que la especie original. Pero como las mutaciones ocurren al azar, se originan diferencias entre ambas poblaciones. Además, si las condiciones ambientales también cambian, a las diferencias

originadas por las mutaciones se sumarán las producidas por la selección natural, que actuará de forma diferente en cada población, dando como resultado dos poblaciones cada vez más diferentes entre sí.

**3. Aislamiento reproductivo:** Un aislamiento prolongado originará una población tan distinta de la original, que perderá la capacidad de cruzamiento con esta. A partir de este momento, las dos especies distintas formadas no podrán reproducirse dando descendientes fértiles. La especie originaria se ha transformado en dos o más nuevas especies.