

**Módulo III (Optativo) Ampliación de Biología-Geología Bloque 2. Unidad 5**  
**“La herencia biológica”**

Es de conocimiento general que todos los seres vivos se parecen a sus padres, esto demuestra que cada individuo recibe de sus padres ciertos caracteres que lo hacen semejante a ellos y que transmitirán a la descendencia.

Cuando las células o los organismos se reproducen transmiten a la descendencia la información genética que poseen, ésta incluye la información básica para realizar las funciones biológicas y para las características concretas de esa célula u organismo.

La Genética es la parte de la Biología que estudia los caracteres de los seres vivos y su herencia, que estudia, en definitiva, cómo a partir de una molécula, el ADN, se desarrollan los caracteres, y cómo, a través de la reproducción, esa molécula pasa de padres a hijos, y por tanto los hijos pueden desarrollar los mismos caracteres que los padres.

En la Unidad anterior viste cómo se transmite la información genética cuando la célula se divide, cómo se mantiene esa información en la mitosis y la necesidad de la meiosis en los organismos con reproducción sexual.

En esta Unidad conocerás los experimentos que realizó Mendel para estudiar la herencia de los caracteres, utilizarás los conocimientos de la genética actual para interpretar las leyes de Mendel, aplicarás esas leyes a la herencia de los caracteres en la especie humana e identificarás la forma especial en que se heredan los caracteres situados en los cromosomas sexuales.

Módulo III (Optativo)

Ampliación de Biología-Geología

Unidad 5

## Índice

<b>1</b>	<b>Las investigaciones de Mendel.....</b>	<b>3</b>
1.1	Las leyes de Mendel.....	3
<b>2</b>	<b>Interpretación actual de las leyes de Mendel .....</b>	<b>6</b>
2.1	Interpretación de la 1ª Ley.....	7
2.2	Interpretación de la 2ª Ley de Mendel .....	8
2.3	Interpretación de la 3ª Ley de Mendel .....	9
2.4	Cruzamiento prueba.....	11
<b>3</b>	<b>La herencia intermedia. ....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Excepciones a las leyes de Mendel.....</b>	<b>12</b>
4.1	Alelismo múltiple.....	12
4.2	Genes letales. ....	13
4.3	Herencia cuantitativa .....	13
<b>5</b>	<b>Teoría cromosómica de la herencia. Genes ligados. ....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>La genética del sexo. ....</b>	<b>14</b>
6.1	La determinación del sexo .....	14
6.2	Herencia ligada al sexo.....	16
<b>7</b>	<b>Genética humana.....</b>	<b>16</b>
7.1	Cariotipo humano.....	16
7.2	Herencia y variabilidad humanas .....	17

## 1 Las investigaciones de Mendel

Desde la antigüedad los agricultores y ganaderos han seleccionado plantas y animales domésticos para mejorar la producción de alimentos.

Hasta mediados del siglo XIX se habían cruzado diferentes variedades de seres vivos, buscando obtener individuos con ciertas características deseadas. Sin embargo, los hijos de los híbridos así logrados no conservaban muchas veces los rasgos modificados.

Esta selección artificial se realizaba sin estudios sobre la transmisión de las características biológicas de progenitores a descendientes.

**Gregorio Mendel (1822-1884)**, monje austriaco, fue el primer investigador que, en la segunda mitad del siglo XIX, realizó numerosos cruzamientos controlados, aplicando el método científico y expresando sus resultados en términos matemáticos o estadísticos, por lo que es considerado como padre de la Genética; obtuvo así unas leyes que pueden aplicarse, en la mayoría de los casos, para comprender y predecir la herencia de los caracteres.

Las conclusiones de Mendel pasaron desapercibidas hasta que en 1900 otros investigadores, De Vries, Correns y Tschermack, obtienen, independientemente unos de otros, resultados similares, que publican como redescubrimiento de las leyes de Mendel.

Mendel realizó experimentos con plantas de guisante de olor *Pisum sativum*. Esta especie presenta una serie de caracteres con alternativas que se pueden distinguir con claridad, además su cultivo es sencillo, su fecundación artificial fácil y produce resultados con gran rapidez. Además del acierto en la elección de esa especie para sus trabajos, Mendel inició sus ensayos cruzando variedades de guisantes que sólo se diferenciaban en un carácter y analizó matemáticamente los resultados, obteniendo conclusiones de gran interés.

Seleccionó plantas que fueran lo que él llamó **razas puras** para cada característica, es decir, que por autofecundación produjeran sólo descendientes con dicha cualidad. Así aisló plantas que presentaban hasta 7 caracteres con dos alternativas: semillas de superficie lisa o rugosa; de color amarillo o verde; vaina hinchada o no; flores con pétalos blancos o lilas, etc.

### 1.1 Las leyes de Mendel

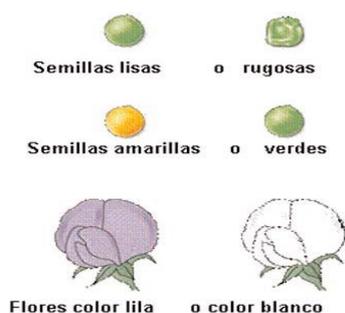


Imagen 1. Algunos caracteres seleccionados por Mendel. [Gobierno de Aragón.](#)

### 1.1.1. Primera Ley

Mendel eligió dos variedades de raza pura que diferían en un carácter y las cruzó, evitando la autopolinización al eliminar los estambres de una de ellas, a la que fecundaba con polen de la otra. Observó que todas las plantas obtenidas de ese cruzamiento, a las que llamó **primera generación filial** o **F<sub>1</sub>**, eran iguales entre sí y presentaban la característica de uno de los progenitores de la generación cruzada, que denominó **parental** o **P**.

**P: Semilla lisa x rugosa: F<sub>1</sub>: 100 % Semilla lisa**  
**P: Semilla amarilla x verde: F<sub>1</sub>: 100 % Semilla amarilla**

A esa característica que se repetía en los descendientes la llamó **carácter dominante** y al que aparentemente había desaparecido lo llamó **recesivo**. A la vista de los resultados enunció su **1ª Ley o de la uniformidad de los híbridos de la F<sub>1</sub>**: cuando se cruzan dos individuos pertenecientes a dos variedades o razas puras para un carácter, todos los descendientes son iguales para dicho carácter.

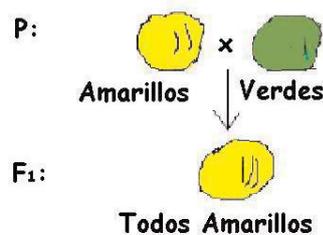


Imagen 2. 1ª Ley de Mendel. [Gobierno de Aragón](#)

### 1.1.2. Segunda Ley

A continuación cruzó dos individuos de cada **F<sub>1</sub>** entre sí (o autofecundó los híbridos **F<sub>1</sub>**), obteniendo una **segunda generación filial** o **F<sub>2</sub>** con los resultados siguientes:

**F<sub>1</sub>: Semilla lisa x lisa: F<sub>2</sub>: 5474 Semilla lisa y 1850 rugosa (aprox. 3:1)**  
**F<sub>1</sub>: Semilla amarilla x amarilla: F<sub>2</sub>: 6022 Semilla amarilla y 2001 (verde 3:1)**



Imagen 3. 2ª Ley de Mendel. [Gobierno de Aragón](#).

Mendel dedujo que cada carácter estaba determinado por **dos** informaciones o **factores**, transmitidos cada uno de ellos por uno de los progenitores quienes, previamente, separaban al azar sus dos informaciones. Propuso así la **2ª Ley**, llamada **de la independencia**

**(segregación) de los factores hereditarios:** al cruzar entre sí dos híbridos, los factores hereditarios de cada individuo se separan, ya que son independientes, y se combinan entre sí de todas las formas posibles.

### 1.1.3. Tercera Ley

Mendel obtuvo siempre los resultados anteriores al repetir esos cruces con razas puras que diferían en otros caracteres; el siguiente paso consistió en ver lo que sucedía cuando estudiaba al mismo tiempo más de un carácter distinto, como por ejemplo el color de la semilla (verde y amarillo) y la forma de su piel (lisa y rugosa). Para dilucidarlo, seleccionó razas puras para dos caracteres diferentes, cuya herencia por separado ya había estudiado:

**P:** Semilla **amarilla** y **lisa** x Semilla **verde** y **rugosa**: **F<sub>1</sub>:** 100 % Semilla **amarilla** y **lisa**. Comprobó así que con dos caracteres también se cumplía su 1ª Ley, ya que todos los individuos obtenidos eran iguales entre sí, presentando los dos caracteres dominantes.

Al cruzar dos de estos individuos de la **F<sub>1</sub>** o autofecundar dichos **dihíbridos**, obtuvo una **segunda generación filial** o **F<sub>2</sub>** de 556 semillas con las siguientes características: 315 semillas **amarillas** y **lisas**; 108 semillas **amarillas** y **rugosas**; 101 semillas **verdes** y **lisas** y 32 semillas **verdes** y **rugosas**, que corresponden a unas proporciones relativas de **9:3:3:1**, es decir, 9 individuos con las dos características dominantes y 3 con una dominante y otra recesiva por cada uno con los dos caracteres recesivos.

Aquí sucedían dos cosas nuevas, que no se daban cuando se estudiaba un sólo carácter, y era, por un lado, la aparición de plantas nuevas que antes no existían, como las de semilla amarilla-rugosa y verde-lisa, y por otro lado las proporciones tan peculiares que obtenía. Mendel concluyó que la única explicación para esto era que, al igual que los factores hereditarios son independientes, los caracteres también lo son, por lo que se pueden combinar de todas las formas posibles, apareciendo combinaciones que antes no existían.

Esto llevó a Mendel a proponer su **3ª Ley** o **de la herencia independiente de los caracteres que afirma que distintos caracteres se heredan independientemente unos de otros**: al cruzar entre sí dos dihíbridos los caracteres hereditarios se separan, ya que son independientes, y se combinan entre sí de todas las formas posibles.



Imagen 4. 3ª Ley de Mendel. [Gobierno de Aragón.](#)

## 2 Interpretación actual de las leyes de Mendel

---

Mendel no sabía cómo funcionaba la reproducción sexual, ni lo que era un gameto, ni cómo funcionaba la meiosis; desde nuestros conocimientos actuales podemos entender un poco mejor cuáles son los mecanismos que explican las leyes mendelianas, y por tanto su herencia.

La **genética**, ciencia que nació con las investigaciones de Mendel, ha creado un vocabulario propio y nos ha proporcionado datos que él desconocía.

Los factores hereditarios de los que hablaba Mendel son los **genes** y sus alternativas se denominan **alelos**. La inmensa mayoría de los organismos y células tienen dos alelos para determinar cada carácter, porque son **diploides**. Sin embargo en los organismos o células **haploides**, como los gametos, sólo hay un gen por carácter. Cuando los dos alelos son iguales se dice que es **homocigótico** o **raza pura** para ese carácter y si son diferentes lo llamamos **híbrido** o **heterocigótico**. Por convenio los alelos se representan con la misma letra. Cuando un individuo es heterocigótico es posible que la presencia de uno de los alelos impida que se manifieste el alelo alternativo para el mismo carácter, en ese caso al que se manifiesta se llama **dominante** y se representa con letra mayúscula, por ejemplo **A**, el que no se manifiesta cuando está el dominante se denomina **recesivo** y se representa en minúscula, por ejemplo **a**, y se habla de **herencia dominante**. Cuando los dos alelos tienen la misma capacidad de expresión se denominan alelos **codominantes** y se representan con dos letras distintas, mayúsculas **AB**, y se habla de **herencia intermedia**.

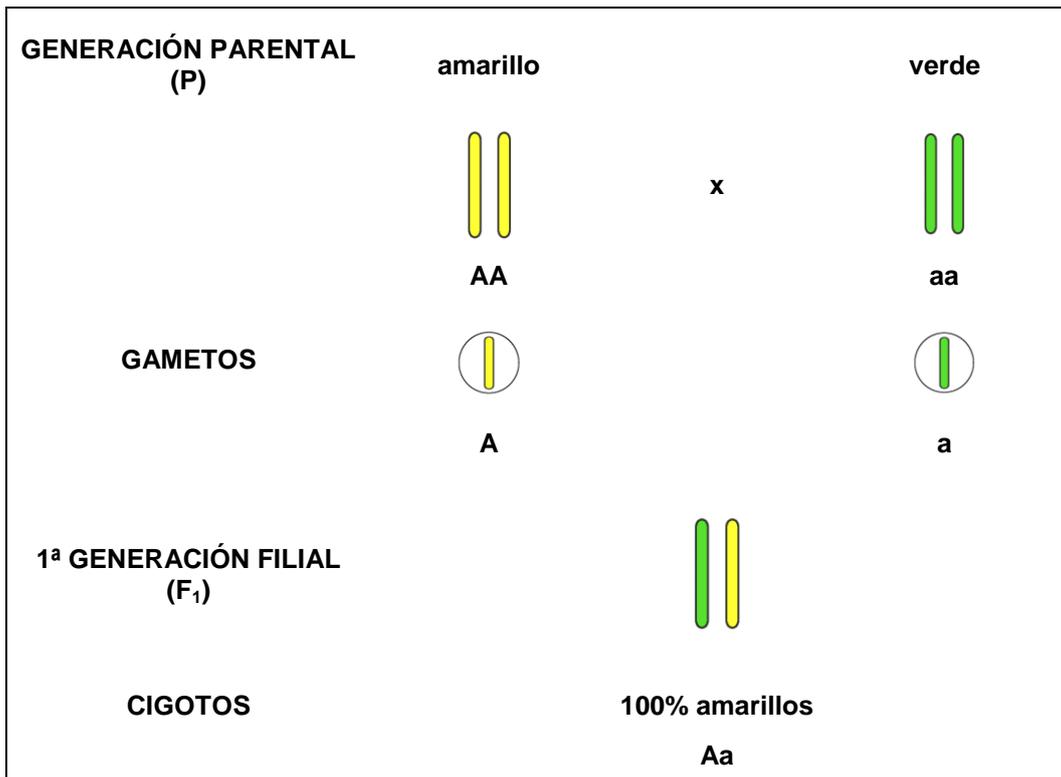
A un organismo híbrido para dos, tres o muchos caracteres lo denominaremos dihíbrido, trihíbrido o polihíbrido.

El conjunto de genes que un individuo posee constituye su **genotipo** y la expresión externa de ese genotipo recibe el nombre de su **fenotipo**. El fenotipo está determinado por el genotipo, pero también por el ambiente, que condiciona su manifestación.

Los **genes** se encuentran en los cromosomas que, como viste en la Unidad 4, aparecen cuando se condensa la cromatina o material hereditario y ocupan unas posiciones fijas llamadas locus (plural loci). Los seres diploides (también lo viste en la Unidad anterior), tenemos pares de cromosomas con los mismos genes, **cromosomas homólogos**, y los genes que ocupan los mismos loci en cromosomas homólogos son los **alelos**. Por tanto, en las células diploides existen dos alelos para cada carácter. Como recordarás, los **gametos** se forman por un proceso de división especial que se denomina **meiosis**, durante el cual el número de cromosomas se reduce a la mitad, recibiendo cada gameto uno de los dos homólogos de cada par. Por tanto, en un gameto, al ser **haploide**, sólo hay un alelo para cada carácter, pero al unirse los gametos en la fecundación se forma una célula diploide llamada **cigoto**, que por mitosis originará todas las células diploides del organismo adulto.

## 2.1 Interpretación de la 1ª Ley

Lo que Mendel llamaba **factores hereditarios** nosotros lo llamamos **alelos de un gen**, y por lo tanto están situados en los cromosomas homólogos; a las razas puras nosotros las llamamos **homocigóticos**, y a los híbridos, **heterocigóticos**. Cuando cruzamos un homocigótico dominante con otro recesivo se obtiene siempre un heterocigótico de fenotipo dominante, exactamente lo que nos dice la 1ª Ley de Mendel, y al cruzarlos lo que realmente sucede es que se unen gametos (fecundación), de la siguiente forma:



Los homocigóticos dominantes tienen dos alelos, uno paterno y otro materno, los dos son iguales por lo que por meiosis sólo podrán formar un tipo de gametos, todos tendrán el alelo A; la planta funciona como si sólo tuviera dos cromosomas, ya que los demás no intervienen en el proceso. Con los homocigóticos recesivos sucede lo mismo, sólo forman un único tipo de gametos, los que tienen el alelo a, por lo tanto sólo se podrá obtener un único tipo de cigoto, que tendrá la combinación de alelos **Aa**.

A= alelo para color amarillo (dominante); a= alelo para color verde (recesivo).

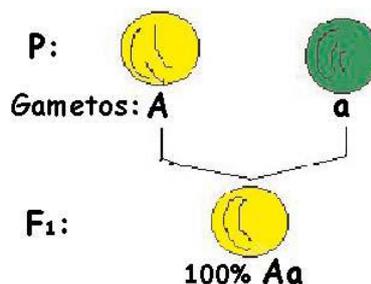


Imagen 5. Interpretación 1ª Ley. [Gobierno de Aragón](#).

## 2.2 Interpretación de la 2ª Ley de Mendel

Cada alelo está en un cromosoma distinto del par, por lo que tras la meiosis irán en gametos separados, lo cual explica la segunda ley de Mendel:

INDIVIDUO DE LA F1	Amarillo	
ALELOS	Aa	
1ª DIVISIÓN MEIÓTICA		
(separación de cromosomas)	A	a (cromosomas)
2ª DIVISIÓN MEIÓTICA		
(separación de cromátidas)	A A	a a (cromátidas)
TIPOS DE GAMETOS DISTINTOS	A	a

Como el otro individuo que se cruza es igual, produce los mismos tipos de gametos, lo cual quiere decir que tras la fecundación podemos obtener los siguientes tipos de cigotos:

INDIVIDUOS DE LA F1                      amarillo x amarillo  
 GAMETOS                                      A a                      A a  
 FECUNDACIÓN

<b>GAMETOS</b>	A	a	
A	AA	Aa	cigotos de la F <sub>2</sub>
a	Aa	aa	

Al combinar los posibles gametos entre sí se obtienen 4 tipos de cigotos diferentes, aunque dos de ellos tienen la misma combinación de alelos; las proporciones serán por tanto:

F <sub>2</sub>	1/4 AA (amarillos)	2/4 Aa (amarillos)	1/4 aa (verdes)
PROPORCIONES DE FENOTIPOS	3/4 amarillos		1/4 verdes

### 2ª Ley o de la segregación de los factores hereditarios.

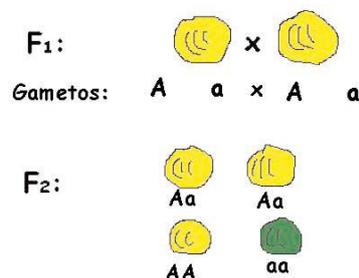


Imagen 6. Interpretación 2ª Ley. [Gobierno de Aragón](#)

Cuando se cruzan dos individuos distintos de raza pura, homocigóticos, todos los descendientes de la primera generación filial (F1) son iguales entre sí, tanto en el genotipo como en el fenotipo.

Los factores hereditarios (alelos) se separan (durante la formación de los gametos o meiosis) y se combinan al azar entre los descendientes.

### 2.3 Interpretación de la 3ª Ley de Mendel

Al estudiar dos caracteres, en vez de un par de cromosomas, van a intervenir dos pares de cromosomas, un par con los alelos del color de la semilla, y otro par con los alelos de la forma.

GENERACIÓN PARENTAL (P)	Amarillo-liso	x	Verde-rugoso
	AABB		aabb
GAMETOS	AB		ab
1ª GENERACIÓN FILIAL (F1)	100% amarillo-liso		
CIGOTOS	AaBb		

Los individuos de la F1 son heterocigóticos para los dos caracteres, por lo que producirán los siguientes tipos de gametos:

INDIVIDUO DE LA F <sub>1</sub>	amarillo-liso			
ALELOS	AaBb			
1ª DIVISIÓN MEIÓTICA	(separación de cromosomas)			
1ª POSIBILIDAD	AB	ab (cromosomas)		
2ª POSIBILIDAD	(Ab)	(aB)		
2ª DIVISIÓN MEIÓTICA	(separación de cromátidas)			
1ª POSIBILIDAD	AB	AB	ab	ab (cromátidas)
2ª POSIBILIDAD	(Ab)	(Ab)	(aB)	(aB)
TIPOS DE GAMETOS DISTINTOS	AB	ab	Ab	aB

El otro individuo de la F1 es igual, por lo que formará los mismos gametos. Todos estos gametos tienen la misma probabilidad de formarse, por lo que para obtener los tipos de cigotos posibles deben cruzarse todos entre sí, de la siguiente forma:

<b>GAMETOS</b>	AB	Ab	aB	ab	
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb	<b>Cigotos de la F<sub>2</sub></b>
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb	
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb	
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb	

Existen 16 posibles cigotos diferentes, aunque sólo dan lugar a 9 genotipos diferentes, y estos 9 genotipos sólo dan lugar a 4 fenotipos diferentes:

CIGOTOS (16)	GENOTIPOS (9)	FENOTIPOS (4)	PROPORCIÓN	TOTAL		
AABB	AABB	amarillo-liso	1/16	9/16		
AABb			2/16			
AABb	AaBB	amarillo-liso	2/16			
AaBB			2/16			
AaBb			AaBb		amarillo-liso	4/16
AaBb						
AaBb						
AaBb						
AAbb	AAbb	amarillo-rugoso	1/16		3/16	
Aabb	Aabb	amarillo-rugoso	2/16			
Aabb						
aaBB	aaBB	verde-liso	1/16	3/16		
aaBb	aaBb	verde-liso	2/16			
aaBb						
aabb	aabb	verde-rugoso	1/16	1/16		

### 3ª Ley de Mendel o de la herencia independiente de los caracteres.

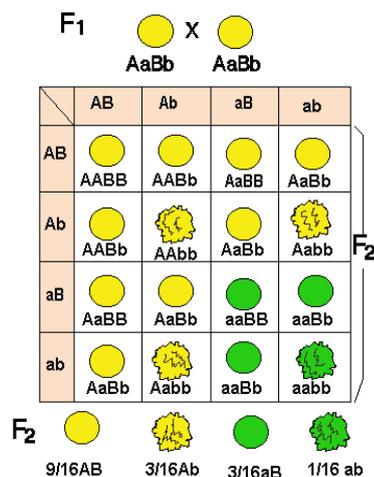


Imagen 7. Interpretación 3ª Ley. [Gobierno de Aragón.](#)

Analizando los resultados se puede ver que hay 16 combinaciones, pero sólo **9 genotipos** y **4 fenotipos** diferentes, se cumplen las **proporciones fenotípicas 9:3:3:1** establecidas por Mendel.

Es decir, como los alelos van en cromosomas diferentes, se separan en la meiosis y se combinan de todas las formas posibles, por lo cual aparecen fenotipos nuevos, que antes no existían.

En todos los caracteres estudiados por Mendel existía dominancia de una alternativa sobre la otra, de forma que el fenotipo del heterocigótico coincide con el de uno de los progenitores, por eso se habla de **herencia dominante**.

## 2.4 Cruzamiento prueba

Cuando un organismo tiene el fenotipo recesivo no hay duda de que es raza pura para ese carácter, cuando presenta el fenotipo dominante para un carácter puede ser homocigótico o heterocigótico, para averiguar cómo es se realiza **cruzamiento prueba o retrocruzamiento**, que consiste en cruzar al individuo "problema" con el homocigótico recesivo. Si todos los descendientes son iguales, el organismo con el fenotipo dominante era raza pura, mientras que si era híbrido se obtendrán descendientes con los dos fenotipos. Ejemplo: si tenemos guisantes amarillos, no podemos saber si son AA o Aa. Para ello se cruzan con guisantes de semilla verde (necesariamente aa). Si la F1 es uniforme (amarilla, en este caso) significa que el guisante problema sólo ha formado gametos A, es decir era raza pura, pero si en ella aparecen guisantes amarillos y verdes al 50%, significa que era heterocigótico y ha producido unos gametos A y otros a.

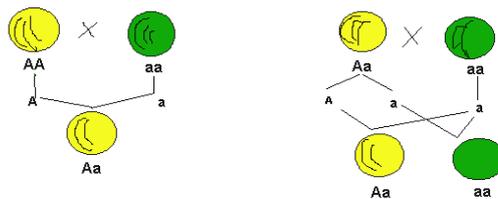


Imagen 8. Cruzamiento prueba. [Gobierno de Aragón.](#)

## 3 La herencia intermedia

Hay caracteres en los que el heterocigótico manifiesta un fenotipo intermedio entre los dos progenitores, los dos alelos son **codominantes**, este tipo de **herencia** se denomina **intermedia**.

Por ejemplo, el color de los pétalos de las flores de algunas plantas, como el Dondiego de noche: los híbridos del cruce de dos razas puras de flores blancas (BB) y flores rojas (RR) tienen un genotipo RB y un fenotipo intermedio entre los de sus progenitores, es decir rosa.

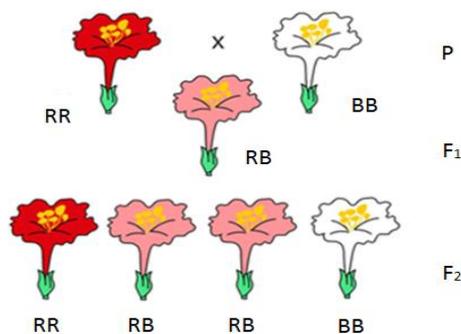


Imagen 9. Herencia intermedia. <http://material-preuniversitario.blogspot.com.es>

Otro ejemplo es el caso de los grupos sanguíneos humanos.

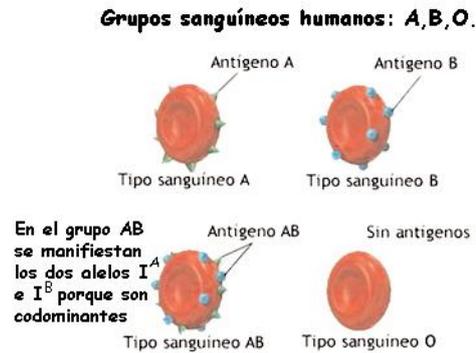


Imagen 10. Los grupos sanguíneos. [Gobierno de Aragón.](#)

En los casos de herencia intermedia se cumplen las leyes de Mendel, aunque aparecen fenotipos nuevos que distorsionan las proporciones de los mismos.

## 4 Excepciones a las leyes de Mendel

La herencia de algunos caracteres parece incumplir las Leyes de Mendel, pero no es así, se trata de casos complejos que pueden explicarse mediante las reglas mendelianas, aunque las proporciones fenotípicas de la descendencia no sean las usuales.

### 4.1 Alelismo múltiple

En algunos caracteres existen más de dos alelos para un carácter, **alelos múltiples**. Cuando hay tres, cuatro o más alelos, aparece un mayor número de genotipos.

Un ejemplo sería la herencia del color de los ojos en la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*).

Otro ejemplo de alelos múltiples es la herencia de los grupos sanguíneos ABO.



Imagen 11. Ejemplo de alelismo múltiple. [Gobierno de Aragón.](#)

## 4.2 Genes letales

Los genes letales provocan la muerte del individuo y modifican las proporciones fenotípicas y genotípicas usuales en la descendencia según las leyes de Mendel.

## 4.3 Herencia cuantitativa

A veces hay muchas alternativas para un determinado carácter, existen muchos fenotipos que varían mínimamente entre sí, esto se debe a que intervienen varias parejas de genes cuyos efectos son aditivos y el efecto final es la suma de los individuales. Por ejemplo la estatura, el color de la piel, del pelo, el color del trigo...

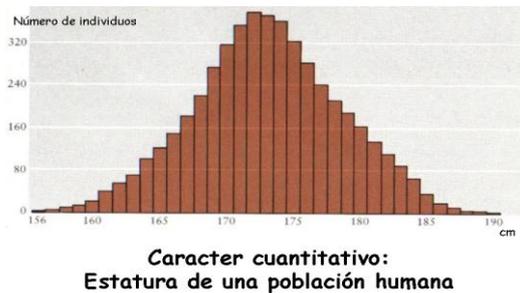


Imagen 12. Ejemplos de herencia cuantitativa. [Gobierno de Aragón.](#)

## 5 Teoría cromosómica de la herencia. Genes ligados

En 1905, T. H. **Morgan**, zoólogo estadounidense, con sus trabajos sobre la mosca de la fruta o del vinagre (*Drosophila melanogaster*), elaboró la teoría cromosómica de la herencia, gracias a la cual se pudieron explicar las leyes de Mendel.

Mediante cruzamientos en *Drosophila* descubrió que había cuatro grupos de caracteres que, en la mayoría de las ocasiones, se transmitían juntos ya que si aparecía uno de ellos se encontraban todos los del grupo. Al ver que el número de grupos de genes que se heredaban conjuntamente coincidía con el de tipos de cromosomas de la mosca (4), dedujo que los genes estaban en los cromosomas y que los pertenecientes al mismo cromosoma tendían a heredarse juntos, por lo que los denominó **genes ligados**. Morgan también determinó que los genes se disponen linealmente en los cromosomas, ocupando en ellos lugares fijos y concretos denominados **loci** (locus en singular).

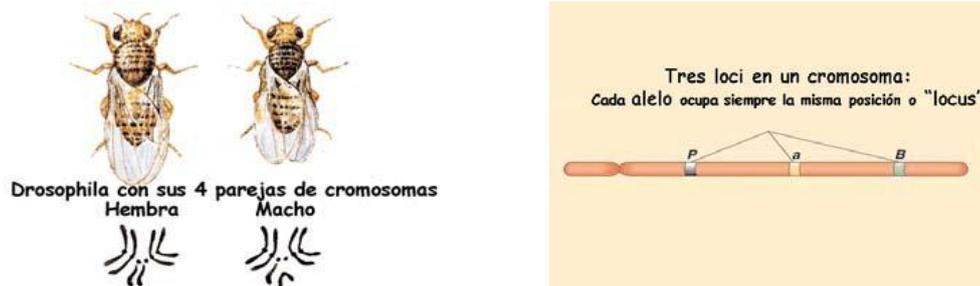


Imagen 13. Observaciones de Morgan. [Gobierno de Aragón.](#)

A partir de todas sus observaciones, **Morgan** formuló la denominada **Teoría cromosómica de la herencia**, que puede resumirse en los siguientes postulados:

- Los genes que determinan los caracteres hereditarios se localizan en los cromosomas, disponiéndose linealmente a lo largo de los mismos.
- Cada gen ocupa un lugar específico o locus (en plural “loci”) dentro de un cromosoma concreto.
- En los organismos diploides, los cromosomas llamados homólogos contienen alelos para los mismos caracteres hereditarios situados en los mismos loci, por lo que cada carácter está regido por un par de genes alelos.
- Los genes localizados en el mismo cromosoma están ligados entre sí y se transmiten de forma conjunta, excepto en una pequeña proporción de ocasiones en las que se separan por **recombinación** durante la meiosis que origina los gametos, pudiendo hacer que los genes ligados se hereden de manera independiente.

**Excepción a la 3ª Ley de Mendel:** los genes ligados. Todos los caracteres determinados por genes situados en un mismo cromosoma tienden a heredarse conjuntamente y no de manera independiente como postula la 3ª Ley de Mendel. Por eso se denominan **caracteres y genes ligados**.

## 6 La genética del sexo

---

### 6.1 La determinación del sexo

En la reproducción sexual se producen células sexuales, gametos, que se unen mediante fecundación para originar un nuevo individuo. Las diferentes estrategias seguidas por los seres vivos para originar los gametos y asegurar la fecundación han dado lugar a la aparición de los sexos. La mayoría de los animales y plantas son unisexuales, es decir existen dos tipos de individuos diferentes, machos y hembras.

El sexo es un carácter que forma parte del fenotipo de un individuo.

En los animales existen diversas formas de determinación del sexo:

#### **Determinación cromosómica**

Es el tipo más habitual, en el que el sexo viene determinado por la presencia de cromosomas especiales, denominados cromosomas sexuales, frente al resto de cromosomas o autosomas.

Modalidades:

- **Sistema XX/XY** La hembra presenta dos cromosomas sexuales iguales XX (sexo homogamético) y el macho tienen un cromosoma X y otro distinto Y (sexo heterogamético), los mamíferos o algunos peces y anfibios están determinados sexualmente por este sistema.
- **Sistema ZZ/ZW** en este caso el sexo homogamético es el macho ZZ y el sexo heterogamético es la hembra ZW. Es típico de aves y reptiles.
- **Sistema XX/X0** sólo existen cromosomas sexuales de tipo X, la hembra tiene XX y el macho sólo tiene un X. Es el caso de algunos insectos.

El **sexo heterogamético** determinará si los descendientes serán machos o hembras, puesto que podrá formar dos tipos de gametos para ese carácter.

#### Determinación por relación entre cromosomas X y autosomas

En estos casos el sexo se determina por la proporción entre el número de cromosomas X y el número de juegos autosómicos. Es el caso de la mosca *Drosophila melanogaster*, los machos presentan una dotación diploide con un cromosoma sexual y las hembras una dotación diploide con dos cromosomas sexuales.

#### Determinación por haploidía/diploidía

El sexo depende del total de cromosomas, como sucede en las abejas, en que las hembras son diploides y los machos haploides.

#### Determinado por factores externos

En muchos reptiles, como cocodrilos y algunas tortugas, el sexo lo determina fundamentalmente la **temperatura de incubación** de los huevos y no los genes o los cromosomas. Así en cocodrilos los huevos incubados a más de 27°C originan machos y los que se desarrollan a temperatura más baja producen hembras, mientras en algunas tortugas, como la mordedora, sucede al revés, si la temperatura de los huevos no supera los 22°C todos los huevos originan machos y si es cercana a los 30° sólo nacen hembras.

#### Pareja de genes

En algunos casos el sexo lo establece una sola pareja de genes. Un ejemplo es la avispa *Bracon hebetor*.

## 6.2 Herencia ligada al sexo

Los genes que se encuentran en el mismo cromosoma tienden a heredarse juntos, se dice que están ligados. Por tanto, los genes situados en los cromosomas sexuales se transmiten de forma diferente en machos y hembras.

## 7 Genética humana

---

Los mecanismos de transmisión de los caracteres humanos son idénticos a los del resto de los seres vivos. Los genes de los progenitores son heredados por los descendientes, y las diferencias entre los individuos son el resultado de sus **genes** y del **ambiente**.

Los estudios genéticos en las personas son más complicados que en otras especies, puesto que no se pueden planificar cruzamientos al azar, en general existen pocos descendientes de cada pareja y el tiempo de generación es largo.

A pesar de estos inconvenientes hoy se tienen suficientes conocimientos sobre genética humana debido a:

- Análisis de los antecedentes familiares para algunas características o alteraciones que se repiten en personas emparentadas.
- Se pueden establecer analogías con los mismos o similares caracteres en animales emparentados evolutivamente con el ser humano.

### 7.1 Cariotipo humano

Recuerda que la especie humana posee 46 cromosomas en todas sus células somáticas, que son diploides ( $2n$ ). Los gametos son nuestras únicas células haploides ( $n$ ) y para la formación del nuevo ser tanto el óvulo como el espermatozoide aportan un juego completo de cromosomas, es decir 23, con lo que se garantiza la conservación del número característico de la especie. Ya has visto que en los cromosomas están los genes, es decir, la información necesaria para el desarrollo de todas las características hereditarias del nuevo organismo.

En nuestra especie el sexo viene determinado por un par de **cromosomas sexuales** o **heterocromosomas**, XX en la mujer y XY en el hombre, el resto de cromosomas que son comunes en ambos sexos se llaman **autosomas**.

El conjunto de todos los cromosomas de una célula, como ya sabes, constituye su **cariotipo**, en él se reflejan el número y el aspecto de todos los que caracterizan a la especie. La representación gráfica del cariotipo, con los cromosomas numerados y ordenados por parejas de homólogos, tamaños y formas se denomina **cariograma** o **idiograma**.

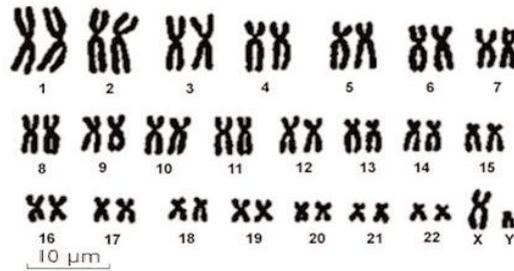


Imagen 14. Cariograma humano. [Gobierno de Aragón.](#)

## 7.2 Herencia y variabilidad humanas

Existe una gran diversidad entre las personas en cuanto a sus rasgos faciales, al color del pelo o de los ojos, la constitución corporal, la estatura, etc.

Esta variabilidad se debe:

- **Las diferencias genéticas**, las características genéticas constituyen el genotipo, son heredables y exclusivas de cada persona. Las capacidades genéticas se pueden potenciar con una vida sana.
- **Los factores ambientales**, todo aquello que interviene en nuestra vida, alimentación, clima,.....Los efectos que producen estos factores en el fenotipo no se heredan.

A veces las diferencias entre individuos son pequeñas y graduales, como en el caso del color de la piel o del peso, se les llama por ello **caracteres cuantitativos** y en general su manifestación está muy influenciada por el “ambiente” que condiciona la expresión del genotipo. Por el contrario, en los denominados **caracteres cualitativos** se observan diferencias discontinuas o bruscas, presentan pocas alternativas claramente diferenciables entre sí; en esos caracteres la influencia del ambiente es prácticamente nula, como por ejemplo el tipo de factor Rh sanguíneo humano, que sólo puede ser positivo o negativo, o el albinismo, ausente o presente.

### 7.2.1. Caracteres normales con herencia autosómica

Algunos de ellos:

Caracteres dominantes	Caracteres recesivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cabello rizado.</li> <li>• Pelo moreno.</li> <li>• Ojos oscuros.</li> <li>• Pestañas largas.</li> <li>• Labios gruesos.</li> <li>• Presencia de pecas.</li> <li>• Oreja con lóbulo colgante.</li> <li>• Lengua enrollable en U.</li> <li>• Barbilla partida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cabello liso.</li> <li>• Pelo rubio.</li> <li>• Ojos claros.</li> <li>• Pestañas cortas.</li> <li>• Labios finos.</li> <li>• Ausencia de pecas.</li> <li>• Orejas con lóbulo pegado.</li> <li>• Lengua no enrollable.</li> <li>• Barbilla no partida.</li> </ul>

### La herencia de los grupos sanguíneos

La sangre humana se puede clasificar en grupos según el llamado **sistema ABO**. En la membrana de los glóbulos rojos existen unas proteínas que funcionan como **antígenos**, es decir, son reconocidas y rechazadas por el sistema inmune de una persona en cuyos eritrocitos estén ausentes, produciendo **anticuerpos** específicos para neutralizarlos, que se localizan en su plasma sanguíneo. La herencia de los grupos sanguíneos es un caso de **alelismo múltiple**.

Hay tres alelos posibles:  $I^A$   $I^B$   $I^O$ . Los dos primeros son codominantes y ambos dominan sobre el  $I^O$ . Al combinarlos se obtienen 6 genotipos posibles y 4 fenotipos.

Según esto existen varias posibilidades:

GENOTIPO	FENOTIPO
$I^A I^A$ (AA)	Grupo A
$I^A I^O$ (AO)	
$I^B I^B$ (BB)	Grupo B
$I^B I^O$ (BO)	
$I^A I^B$ (AB)	Grupo AB
$I^O I^O$ (OO)	Grupo O

### Sistema RH

Existe otro antígeno en los glóbulos rojos que se llama **factor Rh** y también puede provocar incompatibilidad. Pero en este caso se trata de un **carácter** que presenta herencia dominante con sólo dos alelos posibles: el alelo R produce presencia de antígeno Rh y es dominante sobre el r que determina su ausencia. Quienes pertenecen al grupo  $Rh^-$  sólo pueden recibir sangre de ese mismo tipo, mientras los  $Rh^+$  pueden recibir sangre tanto de tipo  $Rh^-$  como de  $Rh^+$ .

GENOTIPO	FENOTIPO
RR	$Rh^+$
Rr	$Rh^+$
rr	$Rh^-$

Cuando se necesita una transfusión hay que comprobar la compatibilidad sanguínea entre donante y receptor. Para ser compatibles el receptor debe poseer en sus glóbulos rojos los mismos antígenos que va a aportar el donante.

De este modo no serán reconocidos como "extraños" por lo que no habrá en el plasma del receptor anticuerpos contra ellos y no se producirá la peligrosa aglutinación sanguínea, que se manifiesta cuando se ponen en contacto dos tipos de sangre no compatibles.

GRUPO	Puede donar a:	Puede recibir de:
A <sup>+</sup>	A <sup>+</sup> , AB <sup>+</sup>	O <sup>+</sup> , O <sup>-</sup> , A <sup>+</sup> , A <sup>-</sup>
A <sup>-</sup>	A <sup>+</sup> , A <sup>-</sup> , AB <sup>+</sup> , AB <sup>-</sup>	O <sup>-</sup> , A <sup>-</sup>
B <sup>+</sup>	B <sup>+</sup> , AB <sup>+</sup>	O <sup>+</sup> , O <sup>-</sup> , B <sup>-</sup> , B <sup>+</sup>
B <sup>-</sup>	B <sup>-</sup> , B <sup>+</sup> , AB <sup>+</sup> , AB <sup>-</sup>	O <sup>-</sup> , B <sup>-</sup>
AB <sup>+</sup>	AB <sup>+</sup>	Todos
AB <sup>-</sup>	AB <sup>+</sup> , AB <sup>-</sup>	O <sup>-</sup> , B <sup>-</sup> , A <sup>-</sup> , AB <sup>-</sup>
O <sup>+</sup>	A <sup>+</sup> , B <sup>+</sup> , AB <sup>+</sup> , O <sup>+</sup>	O <sup>+</sup> , O <sup>-</sup>
O <sup>-</sup>	Todos	O <sup>-</sup>

### 7.2.2. Alteraciones con herencia autosómica

Entre ellas:

Dominantes	Recesivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Braquidactilia (dedos cortos).</li> <li>• Polidactilia (más de 5 dedos).</li> <li>• Sindactilia (menos de 5 dedos).</li> <li>• Pigmentación normal.</li> <li>• Enanismo.</li> <li>• Oído normal.</li> <li>• Pulmones sanos.</li> <li>• Glóbulos rojos normales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dedos normales.</li> <li>• Número de dedos normal.</li> <li>• Número de dedos normal.</li> <li>• Albinismo.</li> <li>• Estatura normal.</li> <li>• Sordomudez.</li> <li>• Anemia falciforme.</li> <li>• Fibrosis quística.</li> </ul>

### 7.2.3. La herencia del sexo

Cada gameto recibe en la meiosis un cromosoma de cada pareja de homólogos. También recibe uno de los cromosomas sexuales.

Las células precursoras de los óvulos poseen dos cromosomas X, todos los óvulos llevan un cromosoma X.

Las células precursoras de los espermatozoides poseen un cromosoma X y un Y, la mitad de los espermatozoides llevan un X y la otra mitad un Y.

El sexo dependerá del tipo de espermatozoide que fecunde al óvulo. Si el óvulo es fecundado por un X, el cigoto tendrá 44(autosomas)+XX y será femenino y si es fecundado por un Y será 44 (autosomas) + XY y será masculino, la probabilidad de que sea de un tipo u otro es del 50%.

#### 7.2.4. Herencia ligada al sexo

En nuestra especie, el cromosoma Y es mucho más pequeño y contiene muchos menos genes que el X. Ambos heterocromosomas tienen una pequeña porción que es homóloga, para poder emparejarse durante la meiosis y así realizar dicho proceso correctamente. Como los genes que se encuentran en el mismo cromosoma están ligados, los genes situados en la porción no homóloga de los cromosomas X e Y están **ligados al sexo**.

Para compensar el mayor número de genes presentes en las mujeres debido a que tienen dos cromosomas X, uno de ellos no se expresa sino que siempre se inactiva y aparece en el borde del núcleo celular, formando el llamado corpúsculo de Barr.

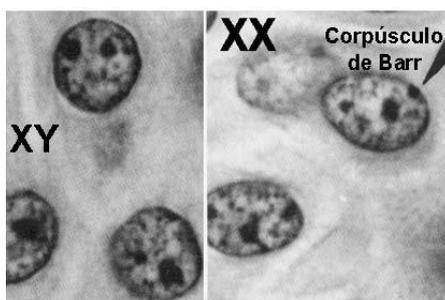


Imagen 15. Células con cromosomas XX y XY. [Gobierno de Aragón.](#)

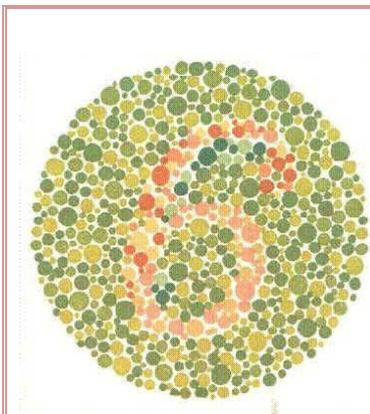
En los cromosomas sexuales, además de existir genes relacionados con el sexo, existen otros genes para caracteres no sexuales o caracteres somáticos, cuya manifestación dependerá del sexo del individuo al ir en el cromosoma X o Y. Es el caso de enfermedades como la **hemofilia** o el **daltonismo**, cuya manifestación se debe a la presencia de un alelo recesivo ligado al cromosoma X, por lo que en varones nunca puede aparecer en homocigosis, o existe el alelo dominante, o el recesivo, desarrollándose la enfermedad, mientras que las mujeres pueden tener genotipo homocigótico dominante y serán normales, sin la enfermedad, heterocigótico y también serán normales pero llevan el alelo de la enfermedad (mujeres portadoras) y se lo podrán pasar a sus hijos varones, u homocigótico recesivo y desarrollarán la enfermedad.

La **hemofilia** consiste en la ausencia de alguno de los factores que intervienen en la coagulación de la sangre, por tanto la rotura de vasos sanguíneos produce graves hemorragias en las personas que padecen esta enfermedad.

El **daltonismo**, de forma simplificada, consiste en la dificultad para distinguir el color verde del rojo.

DALTONISMO		HEMOFILIA	
MUJERES	VARONES	MUJERES	VARONES
$X^D X^D$ = normal	$X^D Y$ = normal	$X^H X^H$ = normal	$X^H Y$ = normal
$X^D X^d$ = normal portadora	$X^d Y$ = daltónico	$X^H X^h$ = normal portadora	$X^h Y$ = hemofílico
$X^d X^d$ = daltónica		$X^h X^h$ = hemofílica	

$X^D$  y  $X^d$  indica que los alelos D y d están en el cromosoma X. D: normal; d: daltónico.  
 $X^H$  y  $X^h$  indica que los alelos H y h están en el cromosoma X. H: normal; h: hemofílico.



Un daltónico no vería el rojo

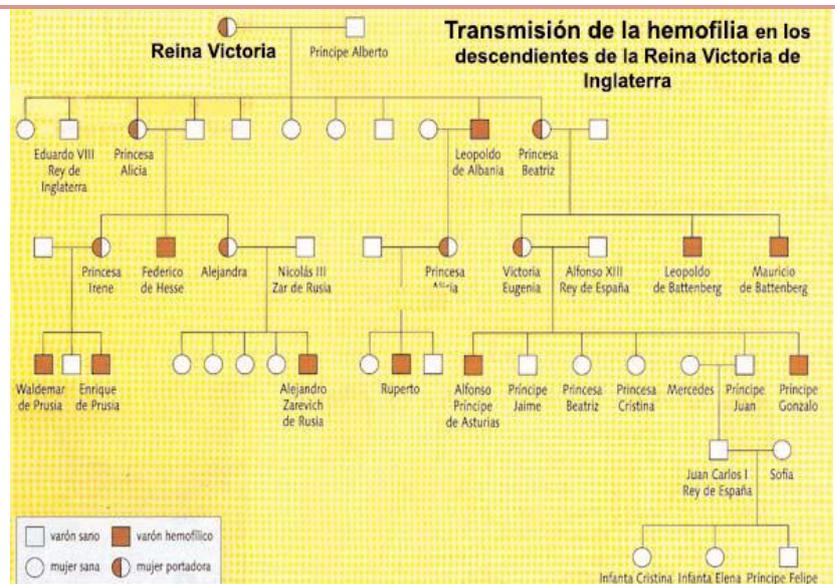


Imagen 16. Transmisión de la hemofilia en la familia real inglesa.  
[Gobierno de Aragón.](#)

### 7.2.5. Herencia influida por el sexo

Existen caracteres determinados por genes que no se encuentran en los cromosomas sexuales, sino en los autosomas, pero cuya manifestación depende del sexo del individuo. Se dice que su **herencia** está **influida por el sexo**.

Como ejemplo algunos tipos de calvicie parecen estar determinados por un alelo autosómico que es recesivo en las mujeres y dominante en los hombres.

Genotipos	Mujeres	Hombres
AA	Con pelo	Con pelo
Aa	Con pelo	Calvos
aa	calvas	calvos

## Glosario

**Alelo:** cada una de las posibles formas alternativas de un gen dado.

**Alelos dominantes:** son aquéllos que manifiestan su fenotipo en homocigosis y en heterocigosis.

**Alelos recesivos:** son aquéllos que manifiestan su fenotipo sólo en homocigosis.

**Autosoma:** cualquier cromosoma que no es un cromosoma sexual.

**Caracteres hereditarios:** son los caracteres transmitidos por los progenitores a sus descendientes.

**Cariotipo:** conjunto de cromosomas de una célula o de un individuo.

**Codominantes (alelos):** alelos de un gen que se manifiestan con igual intensidad y simultáneamente en el fenotipo.

**Cigoto:** es la célula formada por la fusión de un óvulo y un espermatozoide, y que luego se dividirá por mitosis para dar lugar a un individuo (diploide).

**Cromosomas sexuales:** son los cromosomas que están implicados en la determinación del sexo del individuo.

**Fenotipo:** es la forma observable de un determinado carácter o grupo de caracteres en un determinado individuo. Es decir es la manifestación detectable de un determinado genotipo.

**Gameto:** célula haploide especializada cuya función es fusionarse con un gameto del sexo opuesto, para formar un cigoto, que se desarrollará en un individuo diploide. En mamíferos, óvulos y espermatozoides. Son el resultado de la meiosis.

**Genotipo:** conjunto de genes de una célula o de un individuo.

**Herencia mendeliana:** se dice que un carácter se hereda de modo mendeliano cuando su transmisión a la descendencia se ajusta a las Leyes de Mendel.

**Heterocigoto:** individuo (o célula) que tiene dos alelos distintos (del mismo gen) en los cromosomas homólogos (en las especies diploides).

**Homocigoto:** individuo que presenta dos alelos iguales en las dos copias de los cromosomas homólogos.

**Locus (locus génico):** es el lugar específico en un cromosoma donde se localiza un gen.

## Actividades \*

*\* (Antes de realizar las actividades, consulta la tabla expuesta a continuación)*

Para resolver un problema de genética debes seguir los siguientes pasos:

Ejemplo: Una pareja, ambos de pelo negro y ojos pardos, tienen un hijo de pelo rubio y ojos azules. **¿Cómo será su descendencia?**

1.- Plantear el problema, es decir, escribir los datos que nos da el enunciado en forma de cruce.

Padre pelo negro y ojos pardos. X Madre pelo negro y ojos pardos.  
↓  
Hijo pelo rubio y ojos azules.

2.- Identificar el o los caracteres estudiados.

**Dos caracteres. Color del pelo y color de los ojos.**

3.- Identificar los fenotipos de esos caracteres.

**Color del pelo: negro y rubio.**

**Color de los ojos: pardo y azul.**

4.- Deducir el tipo de herencia de los caracteres a partir del número de fenotipos, cuando el carácter presenta dos fenotipos es de herencia dominante, si presenta tres fenotipos es de herencia intermedia.

**En este caso hay dos fenotipos para cada carácter negro y rubio para el pelo y pardo y azul para los ojos.**

5.- Elegir letras para nombrar los genes, para los alelos que determinan los caracteres, en este caso como el pelo negro y el color pardo de los ojos son dominantes, puede ser N para pelo negro y P para ojos pardos, n para pelo rubio y p para ojos azules. Si fuera herencia intermedia utilizaríamos dos letras mayúsculas para cada carácter.

**Color del pelo: negro = N rubio = n.**

**Color de ojos: pardos = P azules = p.**

6.- Escribir los genotipos conocidos debajo del enunciado; los genotipos de los recesivos siempre se conocen porque para que se manifiesten tienen que ser homocigóticos.

Padre pelo negro y ojos pardos. X Madre pelo negro y ojos pardos.  
N\_P\_ X N\_P\_  
↓  
Hijo pelo rubio y ojos azules.  
nnpp

7.- Deducir los genotipos que faltan, que suelen ser los que corresponden a los fenotipos dominantes; para deducirlos tendremos que fijarnos en sus padres, ya que siempre un alelo viene del padre y otro de la madre, o en sus hijos.

**Puesto que el hijo es doble homocigoto recesivo (nnpp), tanto el padre como la madre deben tener un alelo recesivo para cada carácter:**

Padre pelo negro y ojos pardos. X Madre pelo negro y ojos pardos.  
NnPp X NnPp  
↓  
hijo pelo rubio y ojos azules  
nnpp

8.- Deducir los gametos que forman los individuos que se cruzan; formarán tantos gametos diferentes como alelos distintos tengan en cada par.

**Genotipo del padre NnPp.**

**Gametos del padre: NP, Np, nP, np.**

**Genotipo de la madre NnPp**

**Gametos de la madre: NP, Np, nP, np.**

9.- Obtener los cigotos, fenotipos y proporciones del cruce haciendo una tabla en la que pongamos arriba los gametos paternos, a la izquierda los gametos maternos y los combinemos, obteniendo así el total de cigotos posibles, a partir de los cuales podemos calcular las proporciones y los fenotipos de la descendencia.

<b>Gametos</b>	<b>NP</b>	<b>Np</b>	<b>nP</b>	<b>np</b>
<b>NP</b>	<b>NNPP</b>	<b>NNPp</b>	<b>NnPP</b>	<b>NnPp</b>
<b>Np</b>	<b>NNpP</b>	<b>NNpp</b>	<b>NnpP</b>	<b>Nnpp</b>
<b>nP</b>	<b>nNPP</b>	<b>nNPp</b>	<b>nnPP</b>	<b>nnPp</b>
<b>np</b>	<b>nNpP</b>	<b>nNpp</b>	<b>nnpP</b>	<b>nnpp</b>

Los cigotos (= hijos) diferentes son 16, luego las proporciones serán en dieciseisavos (x/16);

**Genotipos diferentes 9. Fenotipos diferentes 4.**

<b>Genotipo</b>	<b>Proporción</b>	<b>Fenotipo</b>	<b>Proporción</b>
<b>NNPP</b>	<b>1/16</b>	<b>Negros-pardos</b>	<b>9/16</b>
<b>NNPp</b>	<b>2/16</b>		
<b>NnPP</b>	<b>2/16</b>		
<b>NnPp</b>	<b>4/16</b>		
<b>NNpp</b>	<b>1/16</b>	<b>Negros-rubios</b>	<b>3/16</b>
<b>nNpp</b>	<b>2/16</b>		
<b>nnPP</b>	<b>1/16</b>	<b>Rubios-pardos</b>	<b>3/16</b>
<b>nnPp</b>	<b>2/16</b>		
<b>nnpp</b>	<b>1/16</b>	<b>Rubios-azules</b>	<b>1/16</b>

10.- Contestar a las cuestiones planteadas, a lo que nos pidan puede ser el estudio de un cruce, la probabilidad de obtener cierto tipo de descendientes, el número de fenotipos distintos, cuántos genotipos hay, etc.

## Actividades

1. ¿Quién fue Mendel? ¿Cuál fue su aportación a la Biología? ¿A qué crees que se debe el éxito de Mendel?
2. ¿Cómo consiguió Mendel razas puras?
3. ¿Qué dice la segunda ley de Mendel? Explícala con un ejemplo.
4. Enuncia la 3ª ley de Mendel. ¿Se cumple siempre? Explícalo.
5. ¿Por qué está determinado el sexo en la especie humana? ¿Es también así en todos los animales?
6. ¿Por qué se dice que el sexo heterogamético es el que determina el sexo en los animales? ¿Cuál crees que es la proporción entre el número de hombres y mujeres que nacen?
7. ¿Por qué crees que algunas personas tienen caracteres que poseen sus abuelos pero no sus padres?
8. ¿Qué es el cariotipo?
9. Define: alelo, homocigótico, heterocigótico y locus de un gen.
10. Distingue entre fenotipo y genotipo.
11. Explica la diferencia entre herencia dominante e intermedia.
12. ¿Cómo se puede saber, en un caso de herencia dominante, si un individuo es homocigótico o heterocigótico?
13. En un juzgado se presenta una mujer del grupo AB Rh- solicitando que se haga reconocer a un hombre del grupo O Rh+ la paternidad de su bebé. Si el hijo pertenece al grupo O Rh-, ¿qué decisión tomará el juez?
14. El color azul de los ojos en el hombre es recesivo respecto del negro. Un hombre de ojos negros y una mujer de ojos azules han tenido tres hijos, dos de ojos negros y uno de ojos azules. ¿Sabrías decir el genotipo de los padres?
15. La hemofilia en el hombre depende de un alelo recesivo de un gen ligado al sexo. Una mujer no hemofílica cuyo padre sí lo era se casa con un hombre normal. ¿Qué probabilidad hay de que los hijos sean hemofílicos? ¿Y las hijas?
16. Un hombre del grupo sanguíneo A y una mujer del grupo B tienen juntos cinco hijos, de los cuales uno tiene el grupo AB, dos el A, y dos el O. Señala razonadamente el genotipo de los padres. (Recuerda que el alelo O es recesivo respecto al A y al B).

17. El daltonismo se debe a un gen recesivo ligado al cromosoma X. Si una mujer daltónica tiene hijos con un hombre normal, ¿Cuáles serán los genotipos esperados en la descendencia y cuál la probabilidad de que los descendientes presenten el carácter?
18. ¿Cómo serán los hijos de un hombre daltónico y una mujer normal pero portadora de daltonismo? ¿Qué probabilidad hay de que tengan un hijo daltónico? ¿Qué probabilidad hay de que tengan una hija portadora del daltonismo?
19. ¿Cómo serán los hijos de una mujer normal y un hombre hemofílico? ¿Qué probabilidad hay de que tengan una hija portadora de la hemofilia?
20. ¿Cuántos genotipos diferentes son posibles para el factor Rh? ¿Cuántos fenotipos son posibles?
21. ¿Qué grupo sanguíneo tendrán los hijos de un hombre del grupo O y una mujer del B heterocigótico? ¿Qué probabilidad tienen de que un descendiente suyo sea del grupo O?
22. ¿Qué grupo sanguíneo tendrán los hijos de un hombre del grupo A, heterocigótico y una mujer del AB?
23. En las moscas, el color negro del cuerpo domina sobre el color blanco. Al cruzar dos moscas negras se obtiene una descendencia formada por 216 moscas negras y 72 blancas. Representando por NN el color negro y por nn el color blanco, razónese el cruzamiento y cuál será el genotipo de las moscas que se cruzan y de la descendencia obtenida.
24. Se cruzan dos plantas de Dondiego, una con flores rojas, y otra con flores blancas. ¿Cómo será la descendencia?
25. Un matrimonio, ambos de pelo negro y ojos pardos, tienen un hijo de pelo rubio y ojos azules. ¿Cómo son los genotipos de los padres? ¿Y el del hijo?
26. En una especie animal existe un alelo recesivo (a), que es letal (produce la muerte) y está ligado al cromosoma X. Un macho normal se cruza con una hembra portadora ¿Cómo será la descendencia?
27. Un hijo daltónico, ¿puede tener un padre normal para ese carácter? Explícalo.
28. Cómo será la descendencia de un matrimonio en el que ambos son del grupo AB.
29. Un hombre del grupo O se casa con una mujer del grupo A, y el primer hijo que tienen es del grupo O. Indica los genotipos.

30. La aniridia (tipo de ceguera hereditaria) en la especie humana, se debe a un alelo dominante (A). La jaqueca se debe también a otro alelo dominante (J). Un hombre que padecía de aniridia y cuya madre no era ciega, se casó con una mujer que sufría jaqueca, pero cuyo padre no la sufría. ¿Qué proporción de sus hijos sufrirán ambos males?
31. Si un padre pertenece al grupo sanguíneo B y la madre al grupo O y tienen un hijo del grupo O. ¿Cuál será la probabilidad de que el próximo hijo sea O, A, B o AB?
32. Un varón daltónico tiene un hijo varón daltónico con una mujer no daltónica, ¿cuál será el genotipo de esa mujer?
33. La ictiosis es una de las pocas enfermedades ligadas al cromosoma Y. La piel de la persona que la padece tiene aspecto escamoso. ¿Puede un hombre ser portador de esta enfermedad sin padecerla?

### Ejercicios de autoevaluación

1. Completa:

*La ciencia que estudia la transmisión de los caracteres hereditarios se llama \_\_\_\_\_. El primer científico que propuso unas leyes generales para explicar cómo se produce la herencia fue \_\_\_\_\_. Si un organismo forma células especializadas para reproducirse se dice que su reproducción es \_\_\_\_\_ y a dichas células se les llama \_\_\_\_\_.*

2. Mendel eligió guisantes para trabajar porque:

- a) *Tenían propiedades medicinales.*
- b) *Eran baratos.*
- c) *Eran fáciles de cultivar.*
- d) *Presentaban características de fácil observación.*
- e) *Eran muy nutritivas.*

3. Según la primera ley de Mendel cuando se cruzan dos razas puras los descendientes siempre:

- a) *Son iguales a uno de los progenitores.*
- b) *Son iguales entre sí.*
- c) *Son diferentes unos de otros.*
- d) *Tienen los caracteres dominantes.*

4. Relaciona:

a) La generación que se cruza inicialmente.	1. Segunda generación filial.
b) Los descendientes de cruzar la 1ª generación filial.	2. Híbridos.
c) Que tienen los dos genes que determinan un carácter distintos.	3. Parental.
d) Conjunto de caracteres manifestados por un ser.	4. Fenotipo.
e) Conjunto de genes de un individuo.	5. Heterocigótico.
f) Organismo o célula con un solo gen para cada carácter.	6. Haploide.
g) Individuo híbrido.	7. Genotipo.
h) Gen o carácter que no se manifiesta en un heterocigótico.	8. Recesivo.

a)\_\_\_\_, b)\_\_\_\_, c)\_\_\_\_, d)\_\_\_\_, e)\_\_\_\_, f)\_\_\_\_, g)\_\_\_\_, h)\_\_\_\_.

5. Completa:

Los gametos se originan por un proceso de división llamado \_\_\_\_\_. Al unirse en la \_\_\_\_\_ originan una célula diploide llamada \_\_\_\_\_ que contiene pares de cromosomas con los mismos genes denominados cromosomas \_\_\_\_\_. Según la segunda ley de Mendel los alelos se \_\_\_\_\_ durante la formación de los gametos y se combinan al azar entre los \_\_\_\_\_. La \_\_\_\_\_ ley de Mendel establece que los distintos caracteres se heredan independientemente unos de otros.

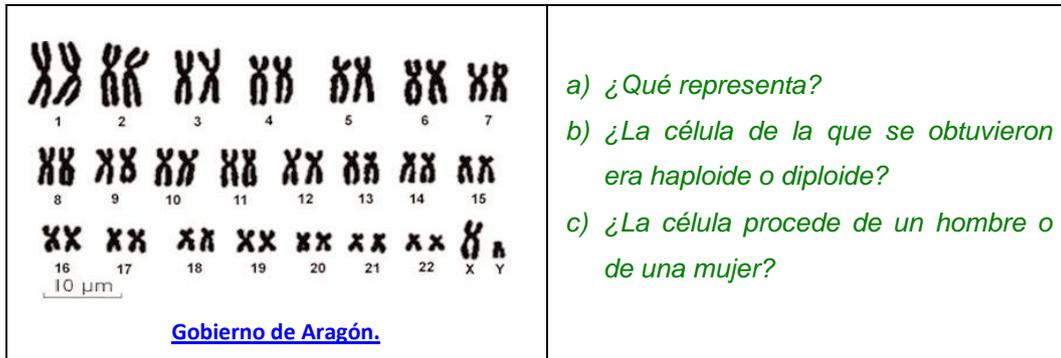
6. Verdadero o falso:

- a) La herencia de muchos caracteres humanos sigue las leyes de Mendel.
- b) Las diferencias entre humanos dependen exclusivamente de sus genes.
- c) Los cromosomas sexuales se llaman también autosomas.
- d) En nuestra especie el gameto que determina el sexo es el espermatozoide.
- e) Algún tipo de calvicie humana depende de un gen ligado al sexo.

7. Completa:

La teoría cromosómica de la herencia indica que los genes están situados en los \_\_\_\_\_ ocupando cada uno una posición fija llamada \_\_\_\_\_. Los genes del mismo cromosoma tienden a heredarse \_\_\_\_\_ y por eso se llaman genes \_\_\_\_\_.

8. Se hace una fotografía de una célula humana observada al microscopio, se amplía y se recortan y ordenan las estructuras que se observan:



9. En los cromosomas de una persona aparecen los dos alelos para el color de ojos negros:

- a) ¿De quién ha recibido cada uno de ellos?  
b) ¿Podemos asegurar que sus padres tienen los ojos negros? ¿Por qué?  
c) Escribe cómo puede ser el genotipo para el color de ojos de esa persona.

10. ¿Cómo obtenía Mendel sus razas puras?

- a) Por autofecundación.  
b) Las recogía del campo.  
c) Le quitaba las flores.  
d) Las cruzaba al azar.

11. La 3ª ley de Mendel la cumplen:

- a) Todos los caracteres.  
b) Sólo los que se deben a genes que se encuentran en los autosomas.  
c) Los caracteres que se deben a genes que están en cromosomas diferentes.  
d) Los caracteres dominantes.

12. ¿Cómo llamamos a los factores hereditarios de Mendel?

- a) Genes  
b) Alelos  
c) Caracteres  
d) Genotipo

13. Señala lo falso:

- a) *Los genes recesivos no se manifiestan.*
- b) *Los genes no pueden ser recesivos.*
- c) *Alelos no son genes.*
- d) *Cada carácter está determinado por un par de alelos.*

14. La dotación cromosómica de un gameto debe ser siempre:

- a) *Diploide porque lo forma un individuo adulto.*
- b) *Haploide porque su función es unirse con otro para formarse el cigoto.*
- c) *Diploide porque procede de un individuo diploide.*
- d) *Haploide porque se ha formado por mitosis.*

15. De acuerdo con la 1ª ley de Mendel:

- a) *La F<sub>1</sub> está formada por razas puras.*
- b) *Los caracteres se transmiten independientemente.*
- c) *Los individuos de la F<sub>1</sub> son iguales genotípica y fenotípicamente.*
- d) *Los genes se transmiten independientemente.*

16. Si un ratón gris (dominante) se cruza con uno blanco y de la descendencia sale un 50% gris y un 50% blanco. ¿Cómo será el genotipo del ratón gris?

- a) AA
- b) Aa
- c) aa

## Soluciones

1. Completa:

*La ciencia que estudia la transmisión de los caracteres hereditarios se llama **genética**. El primer científico que propuso unas leyes generales para explicar cómo se produce la herencia fue **Mendel**. Si un organismo forma células especializadas para reproducirse se dice que su reproducción es **sexual** y a dichas células se les llama **gametos**.*

2. Mendel eligió guisantes para trabajar porque:

- c) *Eran fáciles de cultivar.*
- d) *Presentaban características de fácil observación.*

3. Según la primera ley de Mendel cuando se cruzan dos razas puras los descendientes siempre:

b) Son iguales entre sí.

4. Relaciona:

a) La generación que se cruza inicialmente.	1. Segunda generación filial.
b) Los descendientes de cruzar la 1ª generación filial.	2. Híbridos.
c) Que tienen los dos genes que determinan un carácter distintos.	3. Parental.
d) Conjunto de caracteres manifestados por un ser.	4. Fenotipo.
e) Conjunto de genes de un individuo.	5. Heterocigótico.
f) Organismo o célula con un solo gen para cada carácter.	6. Haploide.
g) Individuo híbrido.	7. Genotipo.
h) Gen o carácter que no se manifiesta en un heterocigótico.	8. Recesivo.

a) 3    b) 1    c) 2    d) 4    e) 7    f) 6    g) 5    h) 8

5. Completa:

Los gametos se originan por un proceso de división llamado **meiosis**. Al unirse en la **fecundación** originan una célula diploide llamada **cigoto** que contiene pares de cromosomas con los mismos genes denominados cromosomas **homólogos**. Según la segunda ley de Mendel los alelos se **separan** durante la formación de los gametos y se combinan al azar entre los **descendientes**. La **3ª** ley de Mendel establece que los distintos caracteres se heredan independientemente unos de otros.

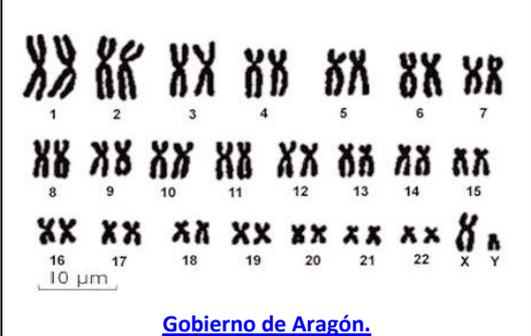
6. Verdadero o falso:

- a) La herencia de muchos caracteres humanos sigue las leyes de Mendel. **Verdadero**.
- b) Las diferencias entre humanos dependen exclusivamente de sus genes. **Falso**, también influye el medio ambiente.
- c) Los cromosomas sexuales se llaman también autosomas. **Falso**, los autosomas son los cromosomas no sexuales.
- d) En nuestra especie el gameto que determina el sexo es el espermatozoide. **Verdadero**.
- e) Algún tipo de calvicie humana depende de un gen ligado al sexo. **Falso**, depende de un gen influido por el sexo.

7. Completa:

La teoría cromosómica de la herencia indica que los genes están situados en los **cromosomas** ocupando cada uno una posición fija llamada **locus**. Los genes del mismo cromosoma tienden a heredarse **juntos** y por eso se llaman genes **ligados**.

8. Se hace una fotografía de una célula humana observada al microscopio, se amplía y se recortan y ordenan las estructuras que se observan:

	<p>a) ¿Qué representa? <b><u>Un cariotipo.</u></b></p> <p>b) ¿La célula de la que se obtuvieron era haploide o diploide? <b><u>Diploide, tiene parejas de cromosomas homólogos.</u></b></p> <p>c) ¿La célula procede de un hombre o de una mujer? <b><u>De un hombre porque tienen un cromosoma Y.</u></b></p>
---	--

9. En los cromosomas de una persona aparecen los dos alelos para el color de ojos negros:

- a) ¿De quién ha recibido cada uno de ellos? **Uno del padre y otro de la madre.**
- b) ¿Podemos asegurar que sus padres tienen los ojos negros? ¿Por qué? **No, porque el color negro de los ojos es dominante y con un solo gen que tenga sus ojos serán negros, por tanto uno de los progenitores puede no tener los ojos negros.**
- c) Escribe cómo puede ser el genotipo para el color de ojos de esa persona. **NN o Nn.**

10. ¿Cómo obtenía Mendel sus razas puras?

- a) Por autofecundación.

11. La 3ª ley de Mendel la cumplen:

- c) Los caracteres que se deben a genes que están en cromosomas diferentes.

12. ¿Cómo llamamos a los factores hereditarios de Mendel?

- a) Genes.

13. Señala lo falso:

- a) *Los genes recesivos no se manifiestan.*
- b) *Los genes no pueden ser recesivos.*
- c) *Alelos no son genes.*

14. La dotación cromosómica de un gameto debe ser siempre:

- b) *Haploide porque su función es unirse con otro para formarse el cigoto.*

15. De acuerdo con la 3ª ley de Mendel:

- b) *Los caracteres se transmiten independientemente.*

16. Si un ratón gris (dominante) se cruza con uno blanco y de la descendencia sale un 50% gris y un 50% blanco. ¿Cómo será el genotipo del ratón gris?

- b) *Aa*

### **Bibliografía recomendada**

[http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//500/567/html/Unidad04/pagina\\_6.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//500/567/html/Unidad04/pagina_6.html)

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/genetica1/contenidos7.htm>

<http://www.biologia.edu.ar/genetica/genet1htm#inicio>

<http://material-preuniversitario.blogspot.com.es>