



## Leyes de Mendel

Las **Leyes de Mendel** son un conjunto de reglas básicas que explican la **transmisión hereditaria** (de padres a hijos) de los caracteres de cada especie, que se realiza exclusivamente mediante las **células reproductivas o gametos**. Esta condición nos lleva de inmediato a entender que estas leyes, y las divisiones a que hacen mención, se explican solo en un contexto de **meiosis**. Esto hace imprescindible repasar o comprender a cabalidad el proceso de **división celular** llamado **meiosis**.

Previamente, para entender las leyes de Mendel también se debe manejar un mínimo de **vocabulario genético**.

**Gen:** Unidad hereditaria que controla cada carácter en los seres vivos. A nivel molecular, corresponde a una sección de ADN que contiene información para la síntesis de una cadena proteínica.

**Alelo:** Cada una de las alternativas que puede tener un gen de un carácter. Por ejemplo, el gen que regula el color de la semilla de arveja presenta **dos alelos**, uno que determina color verde y otro que determina color amarillo. Por regla general se conocen varias formas alélicas de cada gen; el alelo más extendido de una población se denomina "**alelo normal o salvaje**", mientras que los otros, más escasos, se conocen como "**alelos mutados**".

**Carácter cualitativo:** Es aquel que presenta dos alternativas claras, fáciles de observar: blanco-rojo; liso-rugoso; alas largas-alas cortas; etc. Estos caracteres están regulados por un **único gen** que presenta **dos formas alélicas** (excepto en el caso de las series de alelos múltiples). Por ejemplo, el **carácter color de la piel de la arveja** está regulado por un **gen** cuyas **formas alélicas** se pueden representar por dos letras, una mayúscula (**A**) y otra minúscula (**a**).

**Carácter cuantitativo:** El que tiene diferentes graduaciones entre dos valores extremos. Por ejemplo, la **variación de estaturas**, el **color de la piel**; la **complexión física**. Estos caracteres dependen de la acción acumulativa de muchos genes, cada uno de los cuales produce un efecto pequeño. En la expresión de estos caracteres influyen mucho los **factores ambientales**.

**Genotipo:** Es el conjunto de **genes** que contiene un organismo heredado de sus progenitores. En organismos **diploides**, la mitad de los genes se heredan del padre y la otra mitad de la madre.



Arvejas, los famosos chícharos de Mendel.

**Fenotipo:** Es la manifestación externa del genotipo; es decir, la suma de los caracteres observables en un individuo. El fenotipo es el resultado de la interacción entre el **genotipo** y el **ambiente**:  $P = G + E$

$P = \text{fenotipo}$     $G = \text{genotipo}$     $E = \text{ambiente}$

El **ambiente** lo constituye cualquier factor no genético que influya sobre la manifestación de o los genes que determinen una característica, ya sea a nivel del citoplasma celular y/o del medio externo donde se desarrolla el individuo.

**Locus:** Es el lugar que ocupa cada **gen** a lo largo de un **cromosoma** (el plural es **loci**).

**Homocigoto:** Individuo que para un gen dado tiene en cada cromosoma homólogo el mismo tipo de alelo, por ejemplo, **AA** o **aa**.

**Heterocigoto:** Individuo que para un gen dado tiene en cada cromosoma homólogo un alelo distinto, por ejemplo, **Aa**.

## Camino a las Leyes de Mendel

Cuando Mendel estudió los mecanismos de la herencia no había conocimientos previos sobre **pares de alelos** ni sobre **transmisión de cromosomas** y él fue un pionero en la materia. Todo lo que hoy estudiamos sobre la base de sus experimentos no es más que una interpretación posterior de sus trabajos.

Estas reglas básicas de herencia constituyen el fundamento de la **genética** y se derivan del trabajo realizado por **Gregor Mendel** publicado entre 1865 y el 1866, ignorado por largo tiempo pero redescubierto en 1900.

Aquí, debemos insistir en que las **Leyes de Mendel se refieren exclusivamente a los caracteres hereditarios**, por lo tanto deben aplicarse solo a las células reproductivas o gametos, y en este contexto debemos tener muy claro que solo la **meiosis** puede explicar las divisiones celulares que posibiliten la herencia de caracteres.

Recordemos que la división mitótica solo reproduce células somáticas idénticas, que nada tienen que ver con la herencia de caracteres.

Las **tres leyes de Mendel**, son las siguientes:

### Ley de la uniformidad

A esta ley se la llama también **Ley de la uniformidad de los híbridos de la primera generación (F1)**, y establece que si se cruzan dos razas puras (**homocigotos**) para un determinado carácter, los descendientes (**híbridos**) de la primera generación serán todos iguales entre sí (igual **fenotipo** e igual **genotipo**) e iguales (**en fenotipo**) a uno de los progenitores.

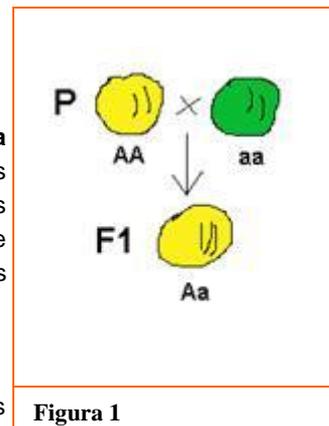


Figura 1

Mendel llegó a esta conclusión trabajando con una variedad pura de plantas de arvejas que producían las semillas amarillas y con una variedad que producía las semillas verdes. Al hacer un cruzamiento entre estas plantas, obtenía siempre plantas con semillas amarillas. (**Ver Figura 1**)

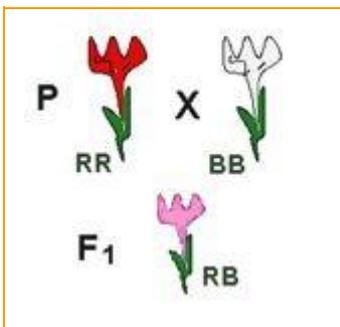


Figura 2

**¿Qué significaba esto?** Que el polen de la planta progenitora aporta a la descendencia un alelo para el color de la semilla, y el óvulo de la otra planta progenitora aporta el otro alelo para el color de la semilla; de los dos alelos, solamente se manifiesta aquél que es **dominante (A)**, mientras que el **recesivo (a)** permanece oculto.

Esta **Ley de la uniformidad** también se cumple cuando un determinado gen dé lugar a una **herencia intermedia** y no dominante, como es el caso del color de las flores del "dondiego de noche" (**Mirabilis jalapa**). Al cruzar las plantas de la variedad de flor blanca con plantas de la variedad de flor roja, se obtienen plantas de flores rosas.

La interpretación es la misma que en el caso anterior, solamente varía la manera de expresarse los distintos alelos (**Ver Figura 2**).

## Ley de la segregación

Conocida como la **Ley de la segregación o separación equitativa o disyunción de los alelos**, esta ley establece que para que ocurra la **reproducción sexual**, previo a la formación de los gametos cada alelo de un par se separa del otro miembro para determinar la constitución genética del gameto hijo.

En su experimento, Mendel cruzó diferentes variedades de semillas de individuos **heterocigotos** (diploides con dos variantes alélicas del mismo gen: Aa) de la primera generación (F1) del experimento anterior (**Figura 1**).

Del cruce obtuvo semillas amarillas y verdes en la proporción que se indica en la **figura 3**. Así, pues, aunque el alelo que determina la coloración verde de las semillas parecía haber desaparecido en la primera generación filial, vuelve a manifestarse en esta segunda generación. (**Figura 3**).

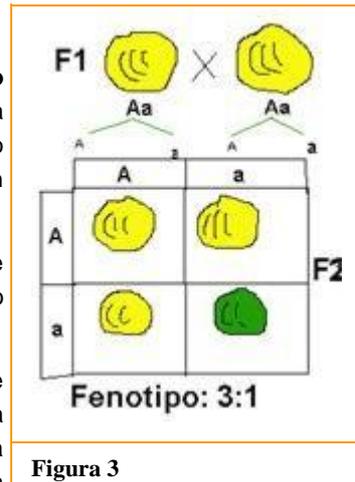


Figura 3

Según la interpretación actual, los dos alelos distintos para el color de la semilla presentes en los individuos de la primera generación filial no se han mezclado ni han desaparecido, simplemente ocurría que se manifestaba sólo uno de los dos.

Esos dos alelos, que codifican para la característica color, son segregados durante la producción de **gametos** mediante una **división celular meiótica**. Esto significa que cada gameto va a contener un solo alelo para cada gen. Lo cual permite que los alelos materno y paterno se combinen en el descendiente, asegurando la variación.

Para cada característica, un organismo hereda dos alelos, uno de cada pariente. Esto significa que en las **células somáticas**, un alelo proviene de la madre y otro del padre. Éstos pueden ser homocigotos o heterocigotos.

Es importante aclarar que los alelos se separan antes de que se formen los gametos. Precisamente es en la etapa de **anafase I de la meiosis I** cuando ocurre la separación de los  **cromosomas homólogos**, momento en el que ocurre realmente la **haploidia** y se cumple con lo establecido por Mendel.

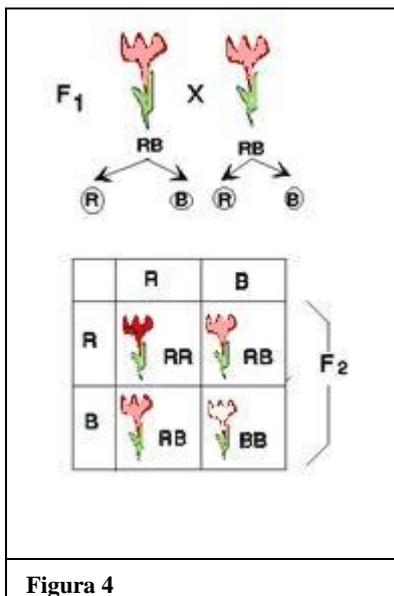


Figura 4

### Otros casos para la primera ley

En el caso de los genes que presentan **herencia intermedia**, también se cumple el enunciado de la primera ley.

Si tomamos dos plantas de flores rosas de la primera generación filial (F1) del cruce que se observa en la **figura 2** y las cruzamos entre sí, se obtienen plantas con flores blancas, rosas y rojas, en la proporción que se indica en el esquema de la **figura 4**.

También en este caso se manifiestan los alelos para el color rojo y blanco, que permanecieron ocultos en la primera generación filial. (**Ver Figura 4**).

### Retrocruzamiento de prueba

En el caso de los genes que manifiestan herencia dominante, no existe ninguna diferencia aparente entre los individuos heterocigóticos (Aa) y los homocigóticos (AA), pues ambos individuos presentarían un fenotipo amarillo.

La prueba del retrocruzamiento, o simplemente cruzamiento prueba, sirve para diferenciar el individuo homo del heterocigótico. Consiste en cruzar el fenotipo dominante con la variedad homocigota recesiva (aa).

Si es homocigótico, toda la descendencia será igual, en este caso se cumple la primera Ley de Mendel. **(Ver figura 5).**

Si es heterocigótico, en la descendencia volverá a aparecer el carácter recesivo en una proporción del 50 por ciento. **( Ver figura 6).**

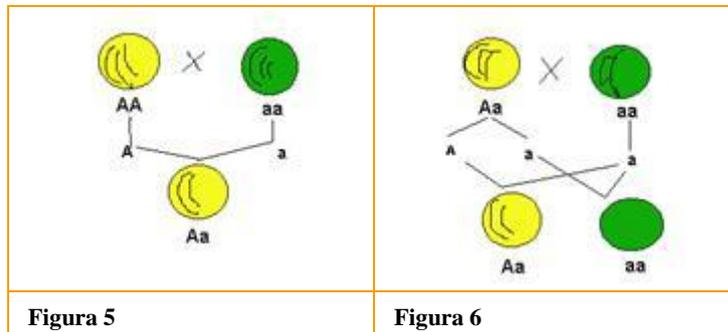


Figura 5

Figura 6

### Ley de la transmisión independiente

Esta ley se la conoce también como la Ley de la herencia independiente de caracteres.

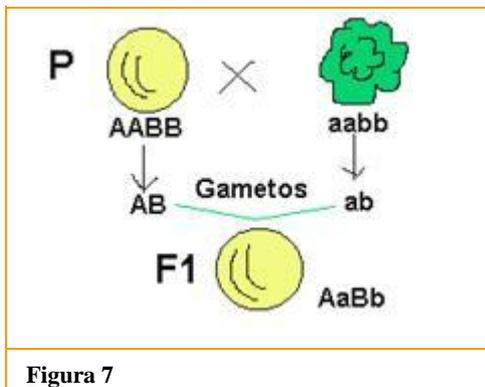


Figura 7

Mendel concluyó que diferentes rasgos son heredados independientemente unos de otros, no existe relación entre ellos, por tanto el patrón de herencia de un rasgo no afectará al patrón de herencia de otro. Cada uno de ellos se transmite siguiendo las leyes anteriores con independencia de la presencia del otro carácter.

Sólo se cumple en aquellos genes que no están ligados (en diferentes cromosomas) o que están en regiones muy separadas del mismo cromosoma. Es decir, siguen las proporciones 9:3:3:1.

Para llegar a esta ley Mendel cruzó plantas de arvejas de semilla amarilla y lisa con plantas de semilla verde y rugosa (Homocigóticas ambas para los dos caracteres). **(Figura 7).**

Las semillas obtenidas en este cruzamiento eran todas **amarillas y lisas**, cumpliéndose así la **Ley de la uniformidad** para cada uno de los caracteres considerados, y revelándonos también que los alelos dominantes para esos caracteres son los que determinan el color amarillo y la forma lisa.

Las plantas obtenidas y que constituyen la F1 son dihíbridas (AaBb).

Estas plantas de la F1 se cruzan entre sí, teniendo en cuenta los gametos que formarán cada una de las plantas y que pueden verse en la **figura 8**. En el cuadro de la figura 9 se ven las semillas que aparecen y en las proporciones que se indican.

Se puede apreciar que los alelos de los distintos genes se transmiten con independencia unos de otros, ya que en la segunda generación filial F2 aparecen arvejas **amarillas y rugosas** y otras que son **verdes y lisas**, combinaciones que no se habían dado ni en la generación parental (P), ni en la filial primera (F1).

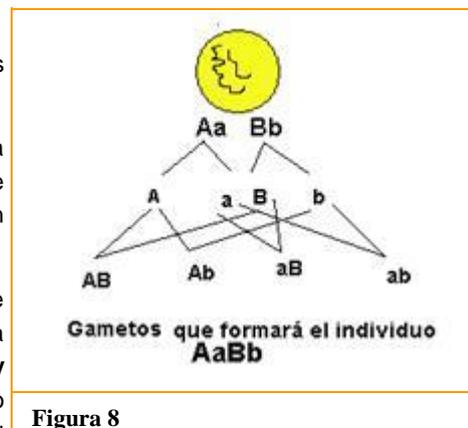


Figura 8

Asimismo, los resultados obtenidos para cada uno de los caracteres considerados por separado, responden a la primera ley (de la segregación). **(Ver Figura 9).**

Los resultados de los experimentos de la segunda ley refuerzan el concepto de que los genes son independientes entre sí, que no se mezclan ni desaparecen generación tras generación.

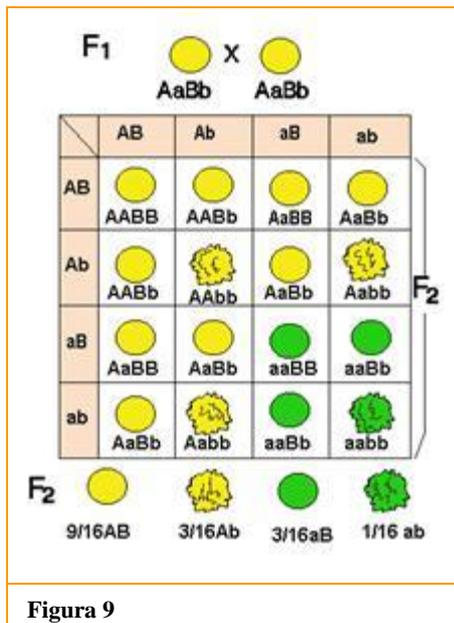


Figura 9

Para esta interpretación fue providencial la elección de los caracteres, pues estos resultados no se cumplen siempre, sino solamente en el caso de que los dos caracteres a estudiar estén regulados por genes que se encuentran en distintas cromosomas. No se cumple cuando los dos genes considerados se encuentran en un mismo cromosoma, es el caso de los **genes ligados**.

En la etapa de **metafase I de la meiosis I**, los **cromosomas** están alineados en la región ecuatorial. El orden en el plano ecuatorial es al azar y determina la dirección que tomará cada uno de los cromosomas homólogos en las **células hijas**, fenómeno conocido como **coorientación centromérica**.

Sin embargo, el orden de migración entre cromosomas no homólogos a las células hijas es independiente entre sí y dependerá del orden azaroso que tengan los cromosomas en el plano ecuatorial.

De esta forma se deduce que la **ley de transmisión independiente**, ocurre en la **metafase I**, ya que pueden existir varias combinaciones posibles, por ejemplo, entre dos pares de cromosomas homólogos, llegando a formar cuatro tipos de gametos distintos si se alinean de una forma y cuatro muy distintos si se alinean de otra.

A modo de acotación importante, debemos destacar que en la **meiosis** la tercera ley de Mendel (de la transmisión independiente) ocurre en la **Metafase I**, o sea antes que la ley de la segregación, que ocurre en la **Anafase I**.

Fuente: [http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Leyes\\_de\\_Mendel.html](http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Leyes_de_Mendel.html) (modificado)