

LOS EXPERIMENTOS DE MENDEL



G. Mendel



Guisantes



Flor Púrpura



Mazorca de maíz

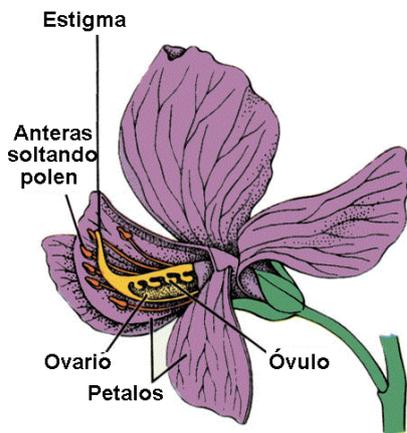
- [Experimentos de Mendel:](#)
 - [Propiedades del material](#)
 - [Esquema de cruzamientos](#)
 - [Aciertos de Mendel](#)
- [Caracteres del guisante analizados por Mendel.](#)
- [Cruzamientos de un solo carácter:](#)
 - [1ª Ley o Principio de Uniformidad](#)
 - [2ª Ley o Principio de la Segregación](#)
 - [Cruzamiento Prueba](#)
- [Cruzamiento de dos caracteres:](#)
 - [3ª Ley o Principio de la Combinación Independiente](#)
 - [Cruzamiento prueba](#)
- [Cruzamientos de tres caracteres](#)
- [Consecuencias de la autofecundación](#)
- [Interacciones entre alelos del mismo locus](#)
 - [Dominancia completa](#)
 - [Dominancia intermedia](#)
 - [Carácter nuevo](#)
 - [Codominancia](#)

EXPERIMENTOS DE MENDEL

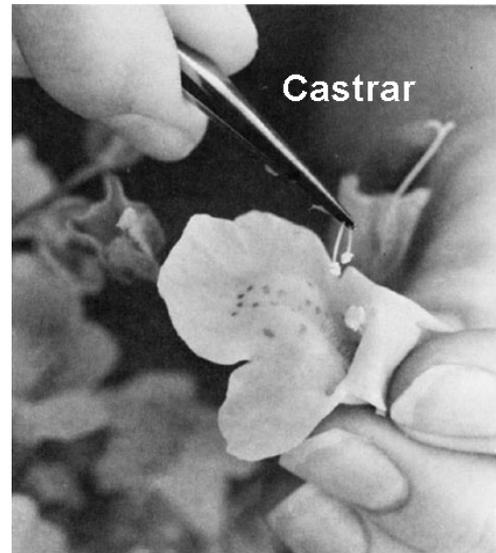
Mendel publicó sus experimentos con guisantes en 1865 y 1866. Los principales motivos por los que Mendel eligió el guisante como material de trabajo fueron los siguientes:

- Material: *Pisum sativum* (guisante).
- Los guisantes eran baratos y fáciles de obtener en el mercado.
- Ocupaban poco espacio y tenían un tiempo de generación relativamente corto.

- Producían muchos descendientes.
- Existían variedades diferentes que mostraban distinto, color, forma, tamaño, etc. Por tanto, presentaba Variabilidad Genética.
- Es una especie *Autógama*, se autopoliniza, de manera que el polen de las anteras de una flor cae sobre el estigma de la misma flor.
- Era fácil realizar cruzamientos entre distintas variedades a voluntad. Es posible evitar o prevenir la autopolinización castrando las flores de una planta (eliminando las anteras).



Esquema de flor de guisante



Eliminación de anteras (castrar)

Según Mendel las características que deben reunir las plantas experimentales son:

- Poseer caracteres diferenciales constantes.
- Los híbridos entre variedades deben protegerse de la influencia de polen extraño durante la floración (embolsando las flores).
- Experimento control: las 34 variedades que empleó las sometió a prueba durante dos años (dos generaciones sucesivas por autofecundación) para comprobar que todas producían descendencia constante. Es decir, si las características de una variedad eran que todas las plantas producían semillas redondas y amarillas, comprobaba durante dos generaciones sucesivas de autofecundación que todas las semillas de la variedad eran redondas y lisas. Solamente una variedad de las 34 no produjo descendencia constante, por lo que no la empleó en sus estudios. Las variedades utilizadas por Mendel eran *Líneas Puras* constituidas por individuos idénticos para los caracteres analizados.

Mendel realizaba siempre el mismo esquema de cruzamientos: cruzaba dos variedades o líneas puras que diferían en uno o varios caracteres, obtenía la 1ª generación filial (F_1), seguidamente autofecundaba (\ddot{A}) los híbridos de la 1ª generación filial (F_1) y obtenía la 2ª generación filial (F_2) y, por último, autofecundaba (\ddot{A}) las plantas de la 2ª generación filial (F_2) y conseguía la 3ª generación filial (F_3). El cruzamiento inicial lo llevaba a cabo en las dos direcciones posibles, es decir, en un caso utilizaba como donador de polen al σP_2 y en otro al σP_1 , realizó cruzamientos recíprocos: $\text{♀}P_1 \times \sigma P_2$ y $\text{♀}P_2 \times \sigma P_1$.

$$\text{♀}P_1 \times \sigma P_2 \rightarrow F_1 \ddot{A} \rightarrow F_2 \ddot{A} \rightarrow F_3$$

$$\text{♀}P_2 \times \sigma P_1 \rightarrow F_1 \ddot{A} \rightarrow F_2 \ddot{A} \rightarrow F_3$$

P_1 = Parental 1; P_2 = Parental 2

F_1 = 1ª generación filial; F_2 = 2ª generación filial y F_3 = 3ª generación filial.

Además, llevó a cabo *Retrocruzamientos*, es decir, cruzamientos de los híbridos de la 1ª generación filial (F_1) por los dos parentales utilizados, en las dos direcciones posibles:

- ♀F₁ x ♂P₂ y ♀P₂ x ♂F₁ (cruzamientos recíprocos)
- ♀F₁ x ♂P₁ y ♀P₁ x ♂F₁ (cruzamientos recíprocos)



G. Mendel



Monasterio de Brno

Los principales aciertos de Mendel fueron los siguientes:

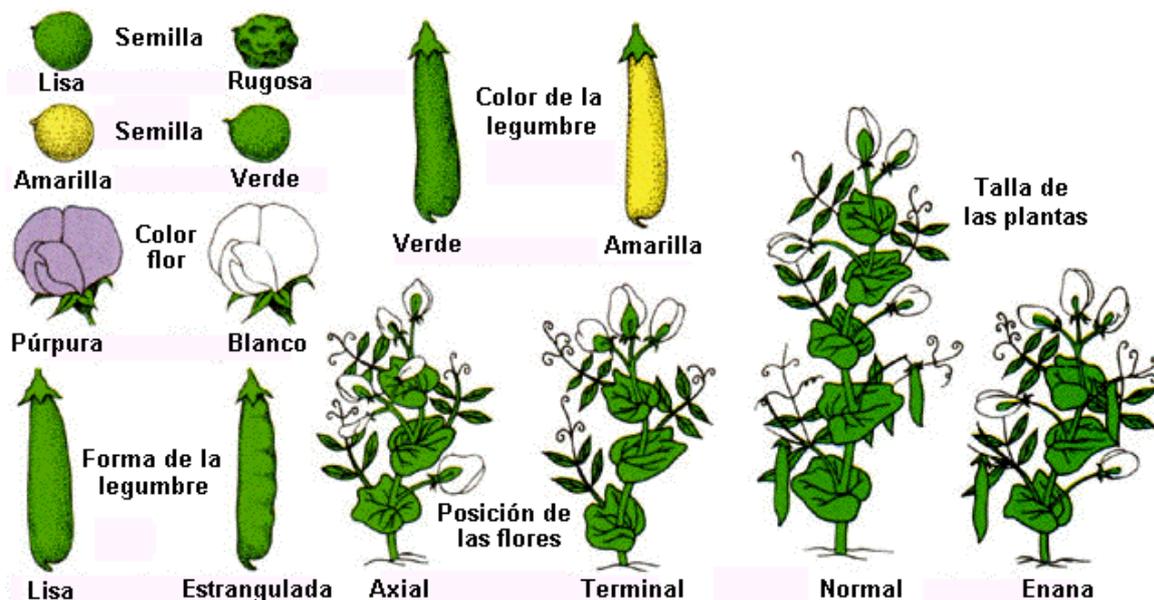
- Utilizar en sus experimentos una especie autógena, ya que de esta manera se aseguraba de que las variedades que manejaba eran Líneas puras, constituidas por individuos idénticos y homocigóticos.
- Elegir caracteres cualitativos fácilmente discernibles en sus alternativas. Por ejemplo, flores color blanco o púrpura.
- Iniciar los experimentos fijándose cada vez en un sólo carácter. De esta manera obtenía proporciones numéricas fáciles de identificar.
- Utilizar relaciones estadísticas en varias generaciones sucesivas. Contar el número de individuos de cada tipo en las sucesivas generaciones y proponer proporciones sencillas.
- Llevar a cabo experimentos control y cruzamientos adicionales (retrocruzamientos) para comprobar sus hipótesis.
- Analizar caracteres independientes para demostrar su principio de la combinación independiente.



CARACTERES DEL GUISANTE ANALIZADOS POR MENDEL

Mendel estudió los siguientes siete caracteres en guisante:

- Forma de la semilla: lisa o rugosa
- Color de la semilla: amarillo o verde.
- Color de la Flor: púrpura o blanco.
- Forma de las legumbres: lisa o estrangulada.
- Color de las legumbres maduras: verde o amarillo.
- Posición de las flores: axial o terminal.
- Talla de las plantas: normal o enana.



Antes de continuar con los experimentos de Mendel es preferible introducir la nomenclatura actual y definir los siguientes términos:

Genotipo: constitución genética para el conjunto de los genes de un individuo. Normalmente se refiere a uno o muy pocos genes. En las especies diploides (dos juegos de cromosomas, uno de origen materno y otro de origen paterno) como el guisante, en un locus (posición del genoma) en el que solamente se han encontrado dos alelos distintos (A y a), hay tres genotipos posibles:

- Homocigoto dominante: AA
- Heterocigoto: Aa
- Homocigoto recesivo: aa

Fenotipo: apariencia externa para el carácter analizado, es la expresión del genotipo en un determinado ambiente. En las especies diploides (dos juegos de cromosomas, uno de origen materno y otro de origen paterno) como el guisante, en un locus (posición del genoma) en el que solamente se han encontrado dos alelos distintos (A y a) y con dominancia de A sobre a ($A > a$), existen dos fenotipos posibles:

- Fenotipo Dominante: A
- Fenotipo Recesivo: a

La relación entre Genotipos y Fenotipos cuando existe dominancia es la siguiente:

- Los Genotipos AA y Aa presentan Fenotipo Dominante A
- Los Genotipos aa muestran Fenotipo Recesivo a.

Se dice que existe una relación de dominancia completa entre los alelos de un locus cuando un el heterocigoto presentan el mismo fenotipo que uno de los homocigotos.

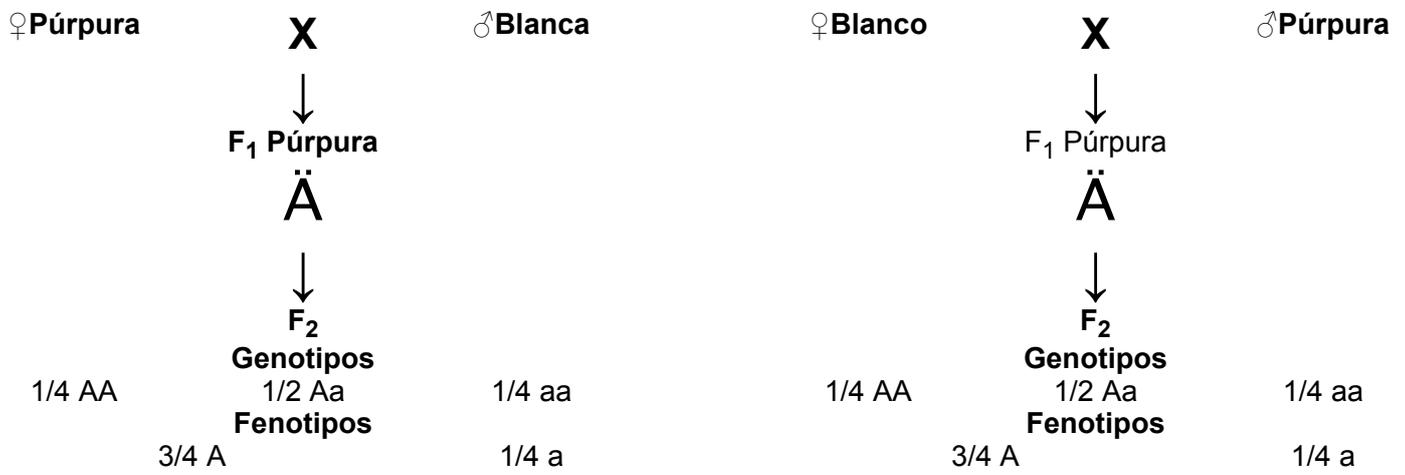


CRUZAMIENTOS DE UN SOLO CARÁCTER

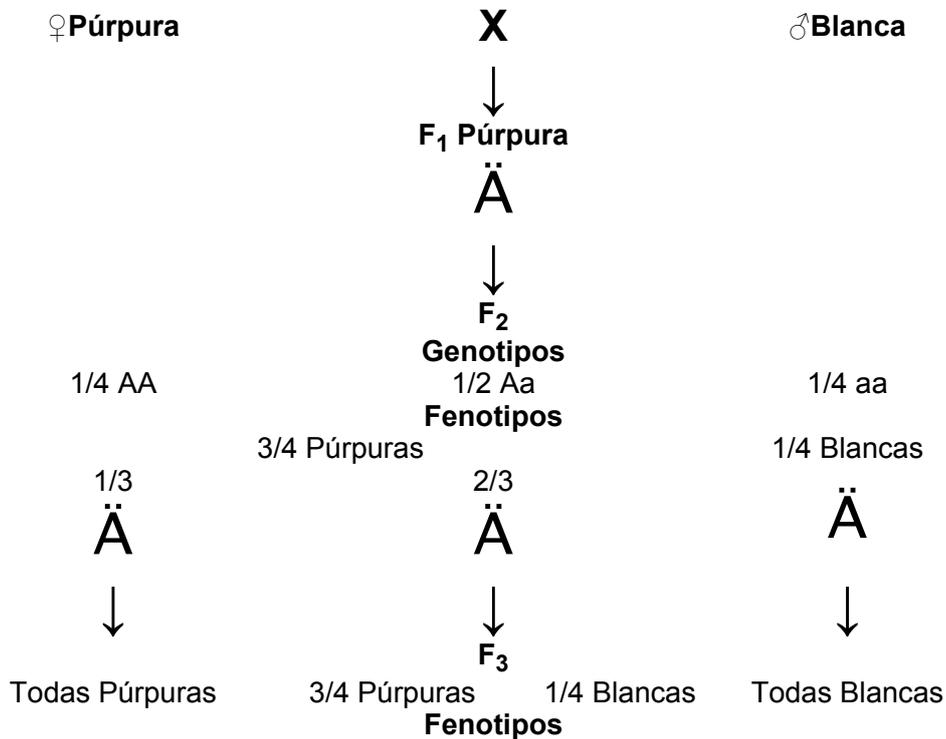
Mendel analizó en primer lugar cada carácter por separado. Cruzando variedades que diferían en un sólo carácter. Por ejemplo, analizó el carácter color de las flores y para ello cruzó una variedad de flores de color púrpura por otra variedad de color de flores blanca.

Cruzamiento inicial: Parentales ♀Púrpura x ♂Blanca → F₁ Púrpura

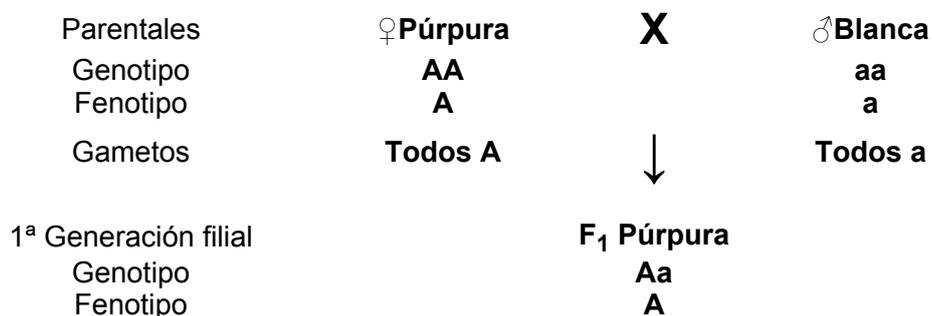
Cruzamiento recíproco: Parentales ♀Blanca x ♂Púrpura → F₁ Púrpura

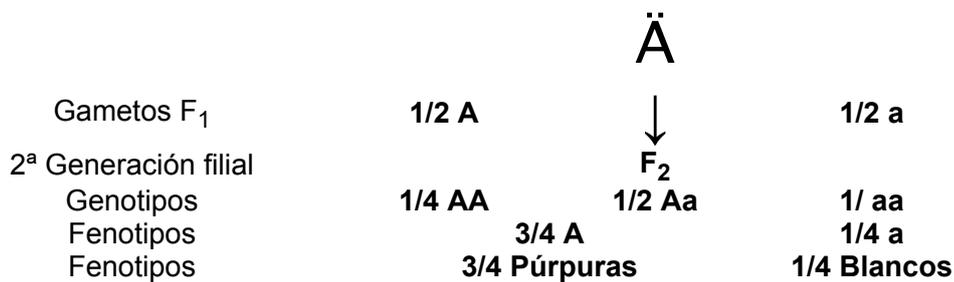


El cruzamiento de plantas con flores púrpura por plantas con flores blancas dió lugar en cualquiera de las dos direcciones realizadas a una 1ª generación filial (F₁) uniforme, todas las plantas de la F₁ eran de color púrpura. La autofecundación de los híbridos de la F₁ originó una 2ª generación filial (F₂) con 3/4 parte de plantas de color púrpura y 1/4 de plantas con flores blancas. Mendel además autofecundó todas las plantas de la (F₂) y obtuvo la 3ª generación filial (F₃). Todas las plantas de flores blancas de la F₂ daban lugar solamente a plantas con flores blancas en la F₃ (se comportaban como la variedad parental de flores blancas). Sin embargo, las plantas con flores de color púrpura en la F₂ daban en la F₃ resultados distintos, 1/3 de la plantas con flores púrpuras de la daban en la F₃ solamente plantas de color púrpura (se comportaban como la variedad parental púrpura), mientras que 2/3 de las plantas de flores púrpuras de la F₂ daban lugar en la F₃ a 3/4 de plantas con flores púrpura y 1/4 de plantas con flores blancas (se comportaban como los híbridos de la F₁).



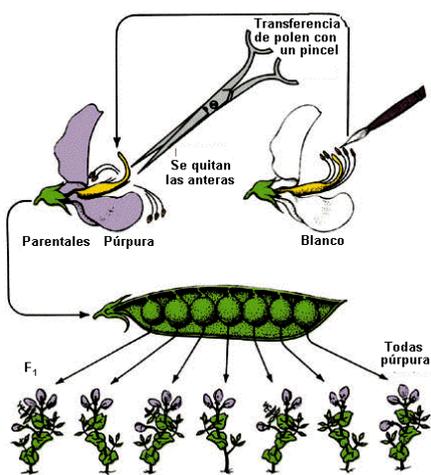
Utilizando la nomenclatura actual podemos escribir de la siguiente forma los resultados obtenidos por Mendel:



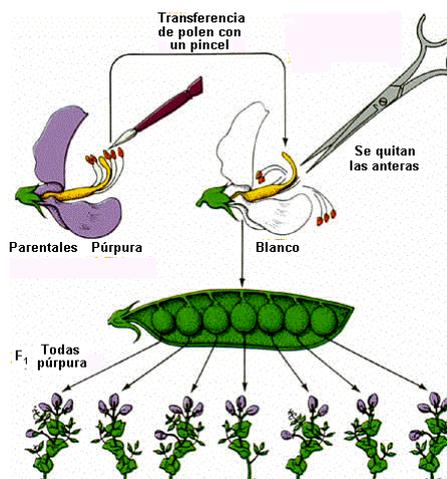


Basándose en estos resultados Mendel propuso las dos siguientes Leyes de la Transmisión de los caracteres de una generación a la siguientes:

- 1^a Ley de Mendel o Principio de la Uniformidad:** Las plantas híbridas (Aa) de la 1^a generación filial (F₁) obtenidas por el cruzamiento de dos líneas puras que difieren en un solo carácter tienen todas la misma apariencia externa (fenotipo) siendo idénticas entre si (uniformes) y se parecen a uno de los dos parentales. Al carácter que se manifiesta en las plantas de la F₁ (híbridos Aa) se le denomina Dominante y al carácter que no se manifiesta se le denomina Recesivo. Este resultado es independiente de la dirección en la que se ha llevado a cabo el cruzamiento.



Principio uniformidad: ♀Púrpura x ♂Blanca



Principio uniformidad: ♀Blanca x ♂Púrpura

- 2^a Ley de Mendel o Principio de la Segregación:** La autofecundación de las plantas híbridas (Aa) procedentes del cruzamiento entre dos líneas puras que difieren en un carácter origina una 2^a generación filial (F₂) en la que aparecen 3/4 partes de plantas de apariencia externa (fenotipo) Dominante y 1/4 de plantas con apariencia externa (fenotipo) Recesiva. De manera, que el carácter Recesivo reaparece en la F₂ y de cada cuatro plantas una tiene fenotipo Recesivo. Este resultado se debe a que cuando los híbridos de la F₁ forman sus gametos, los alelos del mismo locus segregan (se separan) dando lugar dos clases de gametos en igual proporción, mitad del gametos con el alelo dominante (A) y mitad con alelo recesivo (a). Esto sucede tanto por el lado femenino como por el lado masculino.

↑ Inicio

El principio de la segregación se puede resumir de la siguiente manera: Los heterocigotos Aa de la F₁ producen dos clases de gametos en igual proporción: 1/2 A y 1/2 a por el lado masculino y por el femenino. Como consecuencia la segregación genotípica en la F₂ es 1/4 AA 1/2 Aa y 1/4 aa y la segregación fenotípica es 3/4 A y 1/4 a.

Principio de la Segregación		Gametos Femeninos F ₁	
		1/2 A	1/2 a
Gametos Masculinos F ₁	1/2 A	1/4 AA (Fenotipo A)	1/4 Aa (Fenotipo A)
	1/2 a	1/4 Aa (Fenotipo A)	1/4 aa (Fenotipo a)

En el siguiente esquema se resumen el Principio de la Uniformidad y el Principio de la Segregación propuestos por Mendel para el carácter color de las flores:

Generación parental



1ª Generación filial

F₁

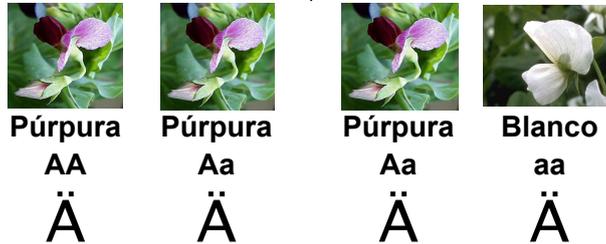


Púrpura (Aa)

Ä

2ª Generación filial

Fenotipos F₂
Genotipos F₂



3ª Generación filial

Fenotipos F₃



3ª Generación filial

Fenotipos F₃



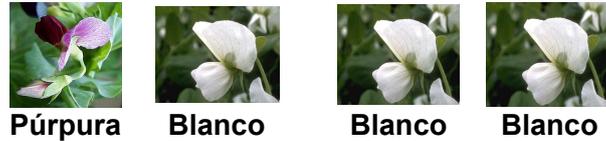
3ª Generación filial

Fenotipos F₃



3ª Generación filial

Fenotipos F₃



Los siete caracteres analizados por Mendel se comportaron de igual forma en los cruzamientos realizados cuando los analizaba por separado. Los resultados que obtuvo fueron los siguientes:

Fenotipo parental	F ₁	F ₂	Relación
1 Semilla lisa x rugosa	Todas lisas	5474 lisas y 1850 rugosas	2.96 : 1
2 Semilla amarilla x verde	Todas amarillas	6022 amarillas y 2001 verdes	3.01 : 1
3 Flores púrpuras x blancas	Todas púrpuras	705 púrpuras y 224 blancas	3.15 : 1
4 Legumbre lisa x estrangulada	Todas lisas	882 lisas y 299 estranguladas	2.92 : 1
5 Legumbre verde x amarilla	Todas verdes	428 verdes y 152 amarillas	2.82 : 1
6 Flores axiales x terminales	Todas axiales	651 axiales y 207 terminales	3.14 : 1
7 Talla normal x enana	Todas normal	787 largos y 277 cortos	2.84 : 1

El carácter que se manifiesta en la F₁ es el dominante y el que no se manifiesta el recesivo.



CRUZAMIENTO PRUEBA PARA COMPROBAR EL PRINCIPIO DE LA SEGREGACIÓN

Con objeto de comprobar que su Principio de la Segregación era correcto decidió realizar cruzamiento adicionales para corroborarlo. Para ello realizó retrocruzamientos de los híbridos de la F_1 por el parental recesivo (aa), en las dos direcciones posibles. Este tipo de retrocruzamientos se denominan *Cruzamientos Prueba*, ya que permiten probar o averiguar el tipo y proporción de gametos que producen los heterocigotos, debido a que la apariencia externa (fenotipo) de los descendientes del *Cruzamiento Prueba* coincide con los gametos producidos por el híbrido. Dado que el parental recesivo solamente produce gametos de *tipo a* (recesivo), cuando estos se unan con los gametos producidos por el híbrido no enmascararán el fenotipo de los descendientes.

C. Prueba	♀ F_1 (Aa)	X	♂ Parental recesivo (aa)
Gametos	1/2 A y 1/2 a	↓	Todos a
		Descendencia	
Genotipo	1/2 Aa		1/2 Fenotipo A
Fenotipo	1/2 aa		1/2 Fenotipo a

Los resultados que se obtienen en el cruzamiento recíproco son los mismos:

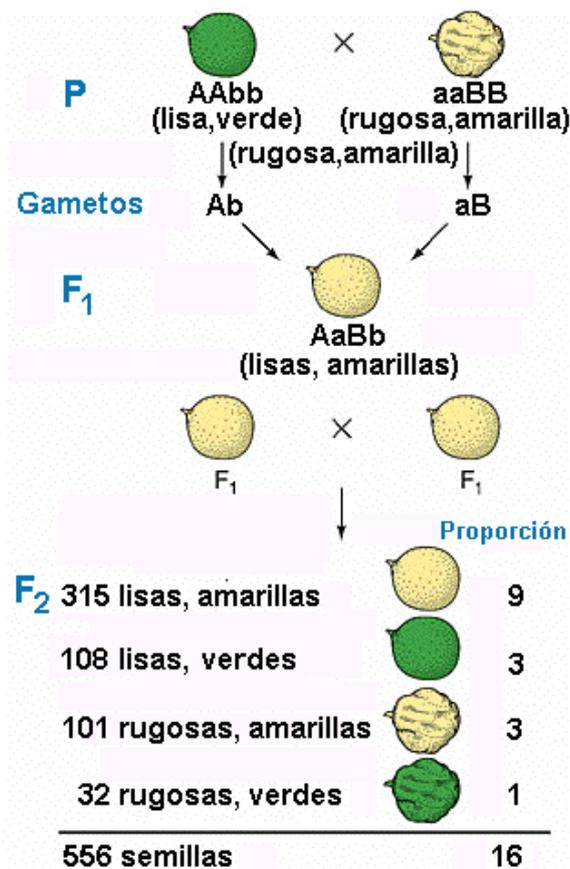
C. Prueba	♂ F_1 (Aa)	X	♀ Parental recesivo (aa)
Gametos	1/2 A y 1/2 a	↓	Todos a
		Descendencia	
Genotipo	1/2 Aa		1/2 Fenotipo A
Fenotipo	1/2 aa		1/2 Fenotipo a

Como se puede observar, en un Cruzamiento Prueba la apariencia externa (fenotipo) de los descendientes coincide con los tipos de gametos que ha producido el híbrido.



CRUZAMIENTOS DE DOS CARACTERES

Una vez que había averiguado las leyes que rigen la transmisión de cada carácter por separado, comenzó a estudiar dos caracteres al mismo tiempo, para ello realizó cruzamiento entre variedades de guisante (líneas puras) que diferían simultáneamente en dos caracteres. Dado que para observar el color de flor es necesario sembrar las semillas y esperar que produzcan plantas adultas, para ahorrar tiempo y esfuerzos, decidió estudiar caracteres que se manifestaban en las semillas, como la forma y el color de las semillas. Por tal motivo, cruzó plantas de semilla lisa y verde (AA bb) por plantas de semilla rugosa y amarilla (aaBB). La F_1 que obtuvo fue uniforme (genotipo AaBb) y todas las semillas eran lisas y amarillas (Fenotipo AB), indicando este resultado que el carácter dominante para la forma de la semilla es el liso (A) y para el color de la semilla era el amarillo (B). Posteriormente, autofecundó las plantas de la F_1 y la descendencia obtenida (F_2) estaba formada por 9/16 de semillas lisas y amarillas, 3/16 de lisas verdes, 3/16 de rugosas amarillas y 1/16 de rugosas verdes. En el siguiente esquema se resumen los resultados del cruzamiento realizado por Mendel:



Cruzamiento de dos caracteres: forma y color de las semillas

Mendel explicó los datos de esta descendencia como la Combinación independiente de lo que le sucede a cada carácter por separado. El carácter forma de la semilla está controlado por el locus (A,a) y el carácter color de la semillas por el locus (B,b). Las plantas diheterocigóticas (AaBb) de la F₁ segregan simultáneamente para el locus (A,a) y para el Locus (B,b), de manera que las segregación fenotípica en la F₂ para el carácter forma de la semilla es 3/4 A y 1/4 a y la segregación fenotípica para el carácter color de la semilla es 3/4 B y 1/4 b. La segregación conjunta para ambos caracteres se obtiene combinando de forma independiente la segregación de cada locus:

Forma semilla		Color semilla		Segregación combinada en la F₂
(3/4 A + 1/4 a)	X	(3/4 B + 1/4 b)	=	9/16 AB 3/16 Ab 3/16 aB 1/16 ab
Locus A,a		Locus B,b		

La segregación fenotípica 9:3:3:1 observada en la F₂ para dos caracteres se obtenía debido a que cuando el diheterocigoto de la F₁ formaba sus gametos, los alelos de diferentes loci se combinan de forma independiente para producir cuatro clases de gametos en igual proporción.



Mazorca de maíz con segregación 9:3:3:1 (forma y color de las semillas)

Es decir, en los diheterocigotos AaBb, el locus A,a produce dos clases de gametos en igual proporción (1/2 A y 1/2 a) y el locus B,b, produce también dos clases de gametos en igual proporción (1/2 B y 1/2 b). Los alelos el locus A,a se combinan de forma independiente con los del locus B,b de manera que se producen cuatro clases de gametos en igual proporción: (1/2 A + 1/2 a) x (1/2 B + 1/2 b) = 1/4 AB + 1/4 Ab + 1/4 aB + 1/4 ab. Esto

sucede tanto por el lado masculino como por el lado femenino.

$$\begin{array}{c} \text{Gametos} \\ (1/2 A + 1/2 a) \\ \text{Locus A,a} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Gametos} \\ (1/2 B + 1/2 b) \\ \text{Locus B,b} \end{array} = \begin{array}{cccc} \text{Gametos Diheterocigoto AaBb} \\ 1/4 AB & 1/4 Ab & 1/4 aB & 1/4 ab \end{array}$$

↑ Inicio

En el siguiente esquema se indican los genotipos y fenotipos obtenidos en la F₂ de un cruzamiento entre plantas con semillas lisas y verdes por rugosas y amarillas, suponiendo que tanto por el lado masculino como por el lado femenino se producen las cuatro clases de gametos en igual proporción. Esta forma de representar los datos de cruzamiento en forma de tabla se debe a Punnet.



John Innes Foundation Historical Collections, courtesy of the John Innes Trustees. Noncommercial, educational use only.

		♂ gametos			
		AB 1/4	Ab 1/4	ab 1/4	aB 1/4
♀ gametos	AB 1/4	AABB 1/16 	AABb 1/16 	AaBb 1/16 	AaBB 1/16 
	Ab 1/4	AABb 1/16 	AAbb 1/16 	Aabb 1/16 	AaBb 1/16 
	ab 1/4	AaBb 1/16 	Aabb 1/16 	aabb 1/16 	aaBb 1/16 
	aB 1/4	AaBB 1/16 	AaBb 1/16 	aaBb 1/16 	aaBB 1/16 

9  : 3  : 3  : 1 

 Lisa, amarilla  Rugosa, amarilla
 Lisa, verde  Rugosa, verde

Punnet

Cuadro o tabla de Punnet

Basándose en estos resultados Mendel propuso su 3ª ley o Principio de la Combinación Independiente.

- **3ª Ley o Principio de la Combinación independiente:** los miembros de parejas alélicas diferentes se distribuyen o combinan de forma independiente cuando se forman los gametos de un heterocigoto para los caracteres correspondientes. Es decir, en el caso de un diheterocigoto (AaBb), los alelos del locus A,a y los del locus B,b se combinan de forma independiente para formar cuatro clases de gametos en igual proporción.

$$\begin{array}{c} \text{Gametos} \\ (1/2 A + 1/2 a) \\ \text{Locus A,a} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Gametos} \\ (1/2 B + 1/2 b) \\ \text{Locus B,b} \end{array} = \begin{array}{cccc} \text{Gametos Diheterocigoto AaBb} \\ 1/4 AB & 1/4 Ab & 1/4 aB & 1/4 ab \end{array}$$

↑ Inicio

CRUZAMIENTO PRUEBA PARA COMPROBAR EL PRINCIPIO DE LA COMBINACIÓN INDEPENDIENTE

Con objeto de corroborar su principio de la combinación independiente Mendel volvió a realizar cruzamientos prueba de los híbridos de la F₁ (AaBb) por el parental recesivo (aabb) en las dos direcciones posibles. Los resultados obtenidos para los caracteres de forma y colos de las semillas se resumen en las siguientes tablas:

C. Prueba	♀ F ₁ (AaBb) semilla lisa, amarilla	X	♂ Parental recesivo (aabb) semilla rugosa, verde	
Gametos	1/4 AB, 1/4 Ab, 1/4 aB, 1/4 ab	↓	Todos ab	
	Descendencia			
Genotipo	1/4 AaBb	1/4 Aabb	1/4 aaBb	1/4 aabb
Fenotipo	1/4 AB	1/4 Ab	1/4 aB	1/4 ab
Nº semillas	29	25	22	26
Fenotipo	lisa, amarilla	lisa, verde	rugosa, amarilla	rugosa, verde

Los resultados obtenidos en la otra dirección del cruzamiento (cruzamiento recíproco) fueron los siguientes:

C. Prueba	♀ F ₁ (AaBb) semilla lisa, amarilla	X	♀ Parental recesivo (aabb) semilla rugosa, verde	
Gametos	1/4 AB, 1/4 Ab, 1/4 aB, 1/4 ab	↓	Todos ab	
	Descendencia			
Genotipo	1/4 AaBb	1/4 Aabb	1/4 aaBb	1/4 aabb
Fenotipo	1/4 AB	1/4 Ab	1/4 aB	1/4 ab
Nº semillas	31	26	27	26
Fenotipo	lisa, amarilla	lisa, verde	rugosa, amarilla	rugosa, verde

Como se puede observar, en ambos cruzamientos, la apariencia externa de los descendientes coincide con los gametos producidos por la planta diheterocigótica (AaBb) de la F₁. Por consiguiente, las plantas AaBb forman tanto por el lado masculino, como por el lado femenino, cuatro clases de gametos en igual proporción (1/4 AB + 1/4 Ab + 1/4 aB + 1/4 ab).



CRUZAMIENTOS DE TRES CARACTERES

Mendel también realizó cruzamientos entre variedades o líneas puras que diferían en tres caracteres (AABBCC x aabbcc). La segregación fenotípica obtenida en la F₂ estos casos se calcula combinando de forma independiente lo que le sucede a cada locus por separado:

$$(3/4 A + 1/4 a) \times (3/4 B + 1/4 b) \times (3/4 C + 1/4 c) = 27/64 ABC + 9/64 ABc + 9/64 AbC + 9/64 aBC + 3/64 Abc + 3/64 aBc + 3/64 abC + 1/64 abc.$$

Otra manera de indicar la segregación fenotípica obtenida en la F₂ es:

$$(3A:1a) \times (3B:1b) \times (3C:1c) = 27 ABC : 9 ABc : 9 AbC : 9 aBC : 3 Abc : 3 aBc : 3 abC : 1abc$$

También es posible realizar un cruzamiento prueba de un triheterocigoto (AaBbCc) por un homocigoto recesivo (aabbcc). En este caso la segregación fenotípica obtenida en la descendencia de este cruzamiento prueba sería la siguiente:

$$AaBbCc \times aabbcc = 1/8 ABC + 1/8 abc.$$

Como se puede observar aparecen ocho fenotipos distintos en igual proporción (1/8). El resultado obtenido se explica combinando de forma independiente lo que le suceda a cada locus por separado. De manera que cada locus, en un cruzamiento prueba, segrega 1/2 Dominante + 1/2 recesivo.

$$(1/2 A + 1/2 a) \times (1/2 B + 1/2 b) \times (1/2 C + 1/2 c) = 1/8 ABC + 1/8 abc.$$



CONSECUENCIAS DE LA AUTOFECONDACIÓN

Dado que Mendel trabajaba con una especie autógena (*Pisum sativum*, guisante), trató de explicar lo que sucedía durante sucesivas generaciones de autofecundación. Para ello supuso que partía de una planta heterocigótica Aa que se autofecundaba y dejaba 4 descendientes. Las cuatro plantas de la 1ª generación de autofecundación volvían a autofecundarse dejando cada una de ellas otros 4 descendientes, y así sucesivamente

durante las siguientes generaciones de autofecundación. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

GENERACIÓN a partir del híbrido	Nº DE DESCENDIENTES			PROPORCIONES		
	AA	Aa	aa	AA	Aa	aa
1	1	2	1	1:	2:	1
2	6	4	6	3:	2:	3
3	28	8	28	7:	2:	7
4	120	16	120	15:	2:	15
5	496	32	496	31:	2:	31
n				2^n-1 :	2	2^n-1 :

Como se puede observar, a medida que aumenta el número de generaciones de autofecundación disminuye la proporción de individuos heterocigóticos. Por cada generación de autofecundación la proporción de heterocigotos se reduce a la mitad, de manera que la proporción de heterocigotos en la generación n de autofecundación es $1/2^n$.

Por tanto, la autogamia (sistema de reproducción por autofecundación) conduce a la homocigosis, de manera que en pocas generaciones de autofecundación la inmensa mayoría de los individuos de la población son homocigotos. Las variedades de guisante utilizadas por Mendel, dado que el guisante es una especie que es autógena, son líneas puras constituidas por individuos homocigóticos.

 Inicio

INTERACCIONES ENTRE ALELOS DEL MISMO LOCUS

Las primeras excepciones a las Leyes de Mendel se describieron a principios del siglo XX. De Vries (1900), Correns (1900) y Tschermak (1900) redescubrieron las Leyes de Mendel y encontraron las primeras excepciones a la Dominancia completa descrita por Mendel.



De Vries



Correns



Tschermak

Todos los caracteres analizados por Mendel presentaban Dominancia Completa, de manera que el fenotipo (apariencia externa) de los heterocigotos de la F_1 era igual a la de uno de los parentales. De forma que el carácter que se manifiesta en la F_1 es el Dominante y que no se manifiesta es el recesivo, como consecuencia, se dice que un alelo domina sobre otro, de forma resumida puede decirse que $A > a$. Sin embargo, además de este tipo de interacción entre los alelos de un mismo locus, existen otros. Los principales tipos de interacciones entre alelos del mismo locus se basan únicamente en la apariencia externa (fenotipo) de los individuos heterocigotos (Aa) y son los siguientes:

- [Dominancia completa](#)
- [Dominancia intermedia](#)
- [Carácter nuevo](#)
- [Codominancia](#)

Dominancia completa: el aspecto externo del heterocigoto (Aa) se parece al de un homocigoto (AA), de manera

que los individuos AA y Aa poseen la misma apariencia externa (Fenotipo A). El alelo A domina sobre el alelo a (A>a). Como ejemplo se pueden citar los siete caracteres estudiados en el guisante por Mendel.

Dominancia intermedia: el aspecto externo del heterocigoto (Aa) es intermedio entre el de los parentales homocigóticos (AA y aa). Por ejemplo, el color de las flores en *Antirrhinum majus* (Boca de dragón) presenta dominancia intermedia, de forma que cuando se cruzan plantas homocigóticas de flores rojas (AA) por plantas de flores blancas (aa) se obtienen híbridos heterocigóticos (Aa) de flores color rosa.

Antirrhinum majus (Boca de dragón)



Plantas con diferentes colores de las flores

El aspecto de estos heterocigotos (Aa) es intermedio entre el rojo y el blanco de los parentales. Cuando se autofecundan las plantas de color rosa de la F₁, se obtiene una F₂ con la siguiente segregación genotípica y fenotípica 1/4 AA Rojas + 1/2 Aa Rosas + 1/4 aa Blancas. Como se puede ver, cuando hay Dominancia intermedia la segregación genotípica y la fenotípica de la F₂ coinciden, de manera que a cada fenotipo le corresponde un genotipo distinto.

Boca de dragón



Rojo (AA)

Antirrhinum majus



Rosa (Aa)

Boca de dragón



Blanco (aa)

El carácter "pluma rizada" de las gallinas muestra también dominancia intermedia con respecto al normal. De manera que el cruzamiento de un gallo Aa por una gallina Aa, ambos con plumaje "rizado suave" da lugar a una descendencia con 1/4 parte de individuos con plumaje normal (AA), 1/2 de descendientes con plumaje "rizado suave" (Aa) y 1/4 de individuos con plumaje "rizado fuerte" (aa). Los resultados obtenidos por Landauer y Dunn en un cruzamiento semejante, de un gallo con "rizado suave" (Aa) por una gallina con "rizado suave" (Aa) fueron

20 normales (AA), 50 de "rizado suave" (Aa) y 23 de "rizado fuerte" (aa). Como se puede ver, cuando hay Dominancia intermedia la segregación genotípica y la fenotípica de la F₂ coinciden, de manera que a cada fenotipo le corresponde un genotipo distinto.

Gallinas



Diferencias en el color del plumaje

Carácter nuevo: A veces los heterocigotos o individuos de la F₁ presentan un fenotipo que no coincide con ninguno de los parentales y que tampoco es intermedio entre el de los parentales. En estos casos suele hablarse de una apariencia externa nueva o fenotipo nuevo.

Coleus



Diferentes variedades



Hoja de dos colores



Hoja de dos colores

Correns estudiando plantas del género *Coleus* observó que al cruzar plantas de color Púrpura (AA) por plantas de color verde (aa) los híbridos eran de color pardo (Aa). El cruzamiento de plantas de color pardo (Aa x Aa) originada una descendencia con 1/4 de plantas púrpura (AA), 1/2 de plantas de color pardo (Aa) y 1/4 parte de plantas de color verde (aa). Como es lógico el color pardo aparece como consecuencia de la interacción de los pigmentos de color púrpura (Producido por el alelo A) y verde (producido por el alelo a). Como se puede ver, cuando se detecta un carácter nuevo la segregación genotípica y la fenotípica de la F₂ coinciden, de manera que a cada fenotipo le corresponde un genotipo distinto.

Coleus



Verde (aa)



Pardo (Aa)



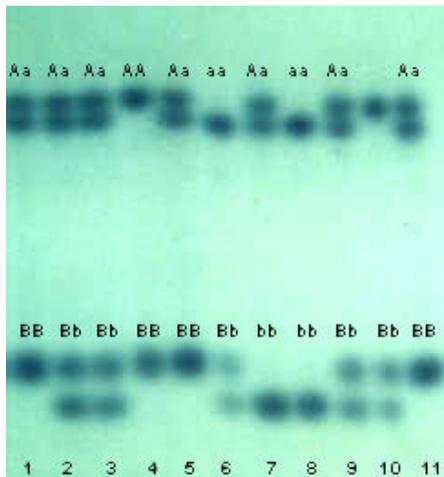
Púrpura (AA)

Codominancia: Cuando la acción de los dos alelos presentes en el heterocigoto se manifiesta simultáneamente se dice que existe codominancia. Los alelos que se manifiestan simultáneamente en el heterocigoto reciben el nombre de codominantes. Un ejemplo típico de codominancia en la especie humana son los genes responsables de las especificidades antigénicas A y B del sistema ABO de los grupos sanguíneos. Las personas heterocigóticas con sangre del tipo AB presentan simultáneamente los antígenos A y B, de manera que ambos alelos se están expresando en el heterocigoto. La unión entre individuos heterocigotos de tipo AB (AB x AB) da lugar a 1/4 de descendientes de tipo AA 1/2 de individuos de tipo AB y 1/4 de personas BB. Por consiguiente, la segregación es 1/4 AA 1/2 AB y 1/4 BB.

Algunos casos de Dominancia intermedia, pueden ser interpretados como Codominancia, ya que algunos fenotipos de aspecto intermedio entre el de los parentales se pueden producir por la expresión simultánea de ambos alelos en el heterocigoto.

El mejor ejemplo de codominancia lo constituyen las isoenzimas. Las isoenzimas son diferentes formas moleculares de una misma enzima que se diferencian entre sí por su tamaño molecular o por su carga o por ambas causas y que presentan especificidad por el mismo sustrato. Por ejemplo, cuando se analizan las isoenzimas de alcohol deshidrogenasa (ADH) de un individuo, se pueden observar en algunos de ellos tres formas moleculares diferentes, con distinta carga eléctrica, pero las tres son capaces de deshidrogenar el alcohol y convertirlo en aldehído. Por tanto, las tres formas moleculares o isoenzimas, tienen especificidad por el mismo sustrato, en este caso el alcohol. En los individuos heterocigotos (Aa) se expresan al mismo tiempo el alelo A y el alelo a. Por ejemplo, el alelo A codifica para un polipéptido, el polipéptido α , y el alelo a para el polipéptido b, de forma que los heterocigotos tienen simultáneamente los polipéptidos α y b. Por consiguiente, el cruzamiento de dos heterocigotos (Aa x Aa) da lugar a 1/4 de individuos homocigotos AA (solo con polipéptido α), 1/2 de individuos heterocigotos Aa (con ambos tipos de polipéptidos, α y b) y 1/4 de homocigotos aa (que tienen solamente polipéptidos b). Como se puede ver, cuando hay Codominancia la segregación genotípica y la fenotípica de la F₂ coinciden, de manera que a cada fenotipo le corresponde un genotipo distinto.

Isoenzimas de aconitasa en centeno



De izquierda a derecha hay 11 plantas

La mayoría de los marcadores moleculares de ADN, como los RFLPs (Polimorfismos para longitudes de fragmentos de restricción), los minisatélites y microsátélites (secuencias repetidas en tandem un número variable de veces, VNTRs) suelen presentar una herencia de tipo codominante.

Para terminar con las interacciones entre alelos del mismo locus, cabe señalar que excepto en el caso de la Dominancia completa en el que la segregación en F₂ es 3/4 A y 1/4 a, en todas las demás situaciones (Dominancia intermedia, Carácter nuevo y codominancia) la segregación es 1/4 AA, 1/2 Aa y 1/4 aa.

Se trata de dos loci distintos e independientes. Uno de mayor migración denominado locus A,a y otro de menor migración denominado locus B,b. En cada locus existen dos alelos codominantes y se pueden observar individuos heterocigotos (Aa) con dos isoenzimas en el locus A,a, e individuos homocigotos (AA) con una sola isoenzima de mayor migración e individuos homocigotos (aa) con una sola isoenzima de menor. En los heterocigotos (Aa) se expresan al mismo tiempo el alelo A que codifica para el polipéptido y el a que codifica para el polipéptido. Lo mismo sucede en el locus B,b, existe dos alelos codominantes y hay heterocigotos Bb con dos isoenzimas y homocigotos BB y bb con una sola isoenzima..

Por tanto, hay individuos que pueden presentar cuatro isoenzimas distintas al mismo tiempo, como los diheterocigotos AaBb.

