

En la segunda parte de su trabajo, Mendel se preguntó si teniendo en cuenta dos **caracteres dicotómicos** (o con dos estados), por ejemplo la textura de las semillas que puede ser liso y rugoso y el color de éstas, como vimos puede ser verde o amarillo; su primera ley seguía valiendo para cada uno de los caracteres por separado, o si bien la herencia de un carácter iba a modificar la herencia del otro.

Comencemos analizando su primer experimento. En él Mendel cruzó, nuevamente, dos líneas puras, pero ahora, ambas eran puras para dos caracteres que las diferenciaban, el color de las semillas y su textura. Los parentales que eligió fueron plantas con semillas amarillas lisas y plantas con semillas verdes rugosas. Recordemos que el color amarillo es dominante frente al verde y aclaremos que el carácter de semilla lisa es dominante frente al rugoso. Conociendo ya la primera ley de Mendel pensemos...

### **¿cómo serán los genotipos de estos parentales respecto a cada uno de los caracteres?**

Bien, las plantas con semillas amarillas serán AA y las plantas con semillas verdes aa. Siendo la textura lisa dominante sobre la rugosa, llamaremos, por definición, con “L” a las lisas y “l” a las rugosas y, podemos así decir que, las plantas con semillas lisas tendrán un genotipo homocigota dominante LL mientras que las de semillas rugosas un genotipo homocigota recesivo ll. Ahora lo que vamos a hacer es juntar para cada parental los genotipos que tiene para cada una de las dos características. El parental de semillas amarillas y lisas tendrá el genotipo AA LL y el de semillas verdes y rugosas tendrá el genotipo aa ll.

Continuemos pensando en cuáles son las posibles gametas que puede generar cada parental y hacer un cuadro de Punnet para predecir la descendencia; si la primera ley se cumpliera para cada uno de los caracteres por separado, con esta estrategia podríamos predecir las características de la descendencia obtenidas a partir de este cuadro. Veamos, el primer parental dijimos que tiene AA para el color de la semilla y, por lo tanto, sólo puede contener A en sus gametas y lo mismo para el genotipo LL de las semillas, sólo puede contener L en sus gametas. Así todas sus gametas contendrán los “factores discretos” A y L. Es exactamente igual para el caso del parental de semillas verdes y rugosas, sus gametas sólo podrán contener a y l.

Hagamos ahora el cuadro de Punnet con las posibles gametas de cada parental:

P1/P2	a l
A L	Aa Ll

Es importante que quede bien claro que hacer el cuadro de Punnet, teniendo en cuenta los dos caracteres a la vez, es lo mismo que considerar uno de los caracteres y luego el otro por separado y aplicar la primera ley de Mendel, como vinimos haciendo hasta ahora.

Analicémoslo por separado, primero el carácter “color de la semilla”, cruzando a estos dos parentales que serían AA y aa. Cada uno puede aportar un solo estado del carácter a la F1, la parental homocigota dominante tendrá gametas con A y la homocigota recesiva tendrá gametas con a, como ya vimos. Así toda la F1 será heterocigota Aa y su fenotipo será de semillas amarillas. Pero en esta misma cruce analizamos la textura de las semillas, la parental homocigota dominante con semillas lisas tendrá un genotipo LL y sus gametas podrán contener solamente L y la parental homocigota recesiva tendrá genotipo ll y sólo tendrá gametas con l. Así, la F1 de esta cruce de parentales

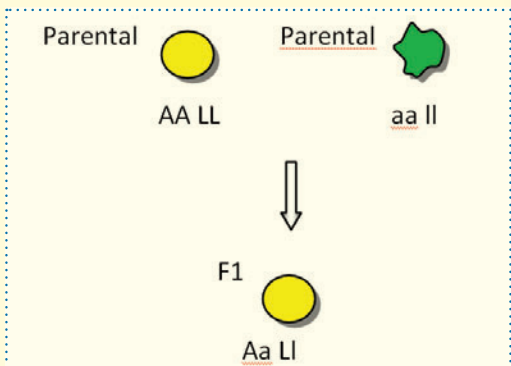
tendrá un genotipo heterocigota Ll y sus semillas serán lisas. Por lo tanto, analizando los dos caracteres por separado, llegamos a que la descendencia de esta cruce tendrá genotipo Aa Ll. Esto nos estaría indicando que si la primera ley de Mendel se aplica a cada carácter de la semilla, independientemente el uno del otro, esperaríamos que toda la descendencia de esta cruce tenga el genotipo Aa Ll y que su fenotipo sea de semillas amarillas y lisas. Cuando Mendel hizo este cruzamiento encontró que esta F1 tenía, precisamente, el fenotipo de semillas amarillas y lisas. Así que, por ahora, todo pareciera indicar que la herencia de cada carácter sería independiente de la herencia del otro carácter.

**¿Qué pasa ahora si se auto-fecunda la F1?**

Vimos que esta F1 está conformada, únicamente, por plantas con semillas amarillas y lisas y que sus genotipos son heterocigotos para los dos caracteres que estamos analizando o sea Aa Ll.

**¿Qué gametas podrá generar cada individuo de la F1?**

El tema acá se pone un poco más complejo ya que ahora tenemos que pensar en la combinación de los “factores discretos” de cada carácter. Veamos que, respecto al color de las semillas, las gametas de la F1 pueden contener A o a y respecto a la textura de estas puede tener L o l, así A puede estar en una gameta junto con L o l y lo mismo ocurre con a. Por lo tanto, cada individuo de la F1 puede generar cuatro tipos de gametas distintas. Para facilitar las cosas vamos a hacer un nuevo cuadro de Punnett en el que colocaremos las posibles gametas de los individuos de la F1 y así predecir cuál será la descendencia de esta auto-fecundación:



*Cruzamiento de líneas puras para dos caracteres. Dos parentales puros para el color de la semilla y la textura de la misma generan una F1 fenotípicamente igual a uno de los padres y genotípicamente heterocigota para ambos caracteres.*

F1/F1	A L	A l	a L	a l
A L	AA LL	AA Ll	Aa LL	Aa Ll
A l	AA Ll	AA ll	Aa Ll	Aa ll
a L	aA LL	aA Ll	aa LL	aa Ll
a l	aA Ll	aA ll	aa Ll	aa ll

**¿Podemos decir cuántos genotipos distintos se obtienen de esta auto-fecundación?**

















Tengamos en cuenta que Aa es lo mismo que aA, en los dos casos el genotipo es heterocigota y el fenotipo es de semillas amarillas y que Ll y lL también es lo mismo ya que en este caso, también son genotipos heterocigotas pero su fenotipo es de semillas lisas. Observemos el cuadro para analizar el número de genotipos distintos.







Bueno, hay nueve genotipos que son: AA LL, AA Ll, AA ll, Aa LL, Aa Ll, Aa ll, aa LL, aa Ll y aa ll.

### ¿Cuántos fenotipos hay?

Rearmemos el cuadro escribiendo siempre el carácter dominante adelante del recesivo y hagamos los dibujos para cada uno de los genotipos.

F1/F1	A L	A l	a L	a l
A L	AA LL 	AA Ll 	Aa LL 	Aa Ll 
A l	AA Ll 	AA ll 	Aa Ll 	Aa ll 
a L	Aa LL 	Aa Ll 	aa LL 	aa Ll 
a l	Aa Ll 	Aa ll 	aa Ll 	aa ll 

Podemos ver que la descendencia de la auto-fecundación de la F1 genera cuatro fenotipos distintos: plantas con semillas amarillas lisas y rugosas y plantas con semillas verdes lisas y rugosas en una proporción final de 9:  3:  3:  1: 

Mendel realizó estos mismos cruzamientos de parentales y la auto-fecundación de la F1 para la combinatoria de pares de caracteres distintos y sus predicciones eran siempre acertadas. A partir de estos datos formuló su segunda ley de la herencia que **propone que dos caracteres son segregados o separados durante la formación de las gametas en forma independiente el uno del otro, así, la herencia de un carácter no modifica la herencia de otro carácter.**

Los “factores discretos” que determinan el color de la semilla, su textura, el color de la flor y todos los demás estados de los caracteres dicotómicos de las *Pisum sativum* que estudió Mendel son los genes. Es lo mismo que vimos para la transmisión de la información de tu color de ojos.

Retomemos el ejemplo del color de los ojos y agreguemos el color del pelo para analizar la herencia en los seres humanos y veamos la descendencia de distintos individuos: una primera pareja está formada por una chica cuyo fenotipo es de pelo castaño y de ojos marrones y un chico de fenotipo rubio y ojos verdes. El color de ojos marrones es dominante sobre el color de ojos verdes y el color de pelo castaño es dominante sobre el rubio, por lo tanto, ya podemos sacar una conclusión sobre el genotipo del chico.

### ¿Cuál es?

Tengamos en cuenta que, para que se exprese un estado de un carácter que es recesivo, el genotipo debe ser homocigota recesivo; esto es que los dos factores discretos que tienen la información para el color de los ojos o para el color del pelo deben tener la información “ojos verdes” y “pelo rubio”, respectivamente. Es decir que si llamamos M al estado del carácter marrón de los ojos, llamaremos m al carácter verde y C al color castaño del pelo y c al rubio, así, el genotipo del muchacho será mm cc.

## ¿Y el genotipo de la muchacha?

Acá tenemos un problema porque esta chica puede tener, para cada carácter, un genotipo homocigota dominante (MM para el color de los ojos y CC para el color del pelo), o bien, puede ser que sea heterocigota, al menos para alguno de los dos caracteres (Mm para el color de los ojos y Cc para el color del pelo). Recordemos que cuando un carácter es dominante sobre el otro, alcanza con que esté presente una sola vez en uno de los dos factores discretos que contienen esa información para que el fenotipo del individuo muestre ese estado del carácter. Supongamos que ambos deciden tener ocho hijos, de los cuales 2 son castaños de ojos marrones, 2 son castaños de ojos verdes, 2 son rubios de ojos marrones y 2 rubios de ojos verdes.





**¿Cómo será el genotipo de la madre de los niños? ¿Podrían aparecer niños con ojos verdes si la madre fuera homocigota dominante para este carácter? ¿Y podrían aparecer niños con pelo rubio si la madre fuera homocigota dominante para este carácter?**

Los datos que tenemos para responder cuál es el genotipo de la madre son justamente las características fenotípicas de los niños y la de su esposo. Dijimos que el genotipo del muchacho es mm cc así que, en la formación de gametas por mitosis, dará gametas con la combinación “ojos verdes” y “pelo rubio”. Sabiendo que ambos caracteres son recesivos, necesitan combinarse con una gameta femenina que presente los mismos caracteres recesivos para poder observarse fenotípicamente. Analicemos el caso de los hijos rubios y de ojos verdes, sus genotipos son iguales a los del padre mm cc, sabiendo que el padre aportó en su gameta m c podemos saber que sí o sí la madre aportó una gameta, también, con la información m c. Ahora sí sabemos que la madre es heterocigota para ambos caracteres. Con esto bajo nuestro conocimiento hagamos la tabla de Punnet y veamos cuál debería ser la descendencia que esperábamos si se cumplen las leyes de Mendel:

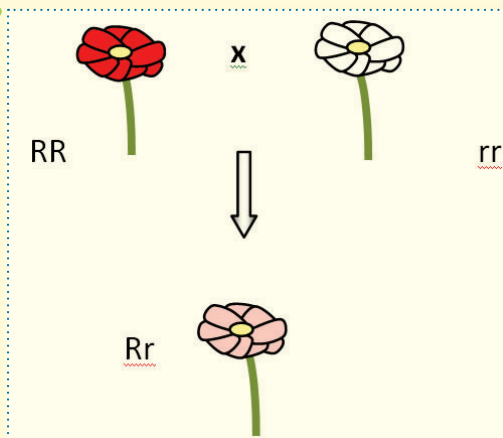
ya que conocemos las leyes de la herencia, que denominamos mendeliana, debido a que sigue las leyes de Mendel, veamos algunos conceptos más acerca de la herencia. No todos los caracteres de un organismo siguen las leyes de Mendel, no vamos a entrar mucho en detalles, pero es interesante saber que esto es así. Determinados caracteres, como por ejemplo el color de las rosas, presentan una dominancia incompleta.

### ¿Qué significa esto?

Supongamos que se cruza una rosa con flores rojas con una de flores blancas, veremos que en su descendencia aparece un fenotipo completamente nuevo que no es igual a ninguno de los parentales (o sea, que no cumple la primera observación de Mendel); las flores de esta F1 son rosas.

♀ / ♂	mc
MC	Mm CC 
Mc	Mm cc 
mC	mm Cc 
mc	mm cc 

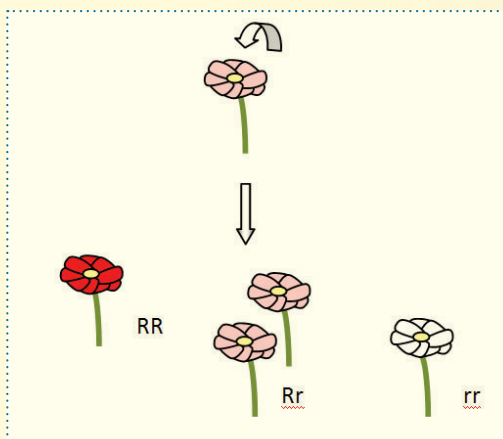




### **Dominancia incompleta.**

El cruzamiento de dos rosales puros para el color de la flor, roja o blanca, genera una F1 heterocigota fenotípicamente distinta de los dos parentales de flores rosas.

F1/F1	R	r
R	RR	Rr
r	Rr	rr



### **Herencia no mendeliana.**

La auto-fecundación de los individuos de la F1 de fenotipo flores rosas genera una F2 en la que reaparecen los fenotipos de flores rojas y blancas.

## **¿Por qué?**

La respuesta está en que el rojo no es totalmente dominante sobre el blanco sino que domina parcialmente y es por esto que, en F1 heterocigota para el color de la flor, el rojo se “diluye” con el blanco dando flores de color rosa. Pero ahora si se auto-cruza esa F1, los fenotipos de flores blancas y rojas reaparecen en el 25% de la descendencia; lo cual nos indica que no hay un factor discreto que contenga la información “flores rosas” sino que la presencia de ambos factores (uno paterno y uno materno) que indiquen “flores rojas” y “flores blancas” dará un fenotipo de flores rosas debido a una dominancia incompleta de un color sobre el otro.

Hay varios tipos más de herencia no mendeliana, como es el caso de algunos genes que se encuentran en los cromosomas X e Y que determinan el sexo, por ejemplo en los seres humanos (XX es mujer y XY es varón). A este tipo de herencia la conocemos como herencia ligada al sexo y no sigue las leyes de Mendel. También hay caracteres cuyo fenotipo lo determina la combinación de varios genes y no la información de un solo gen, a la que conocemos como herencia poligénica. En fin, no hay una sola ley que rijan la herencia de todos los caracteres, pero las leyes de Mendel que, en su momento, no tuvieron ningún tipo de influencia y que fueron redescubiertas recién a principios del siglo XX por tres grandes biólogos, fueron las primeras leyes de la herencia; lo cual es muchísimo decir en un momento en que no se sabía absolutamente nada de la Biología Molecular, ni de los genes, ni del ADN. ¡Y eso que estamos hablando de hace apenas un poco más de cien años!