



# Transmisión independiente de los caracteres

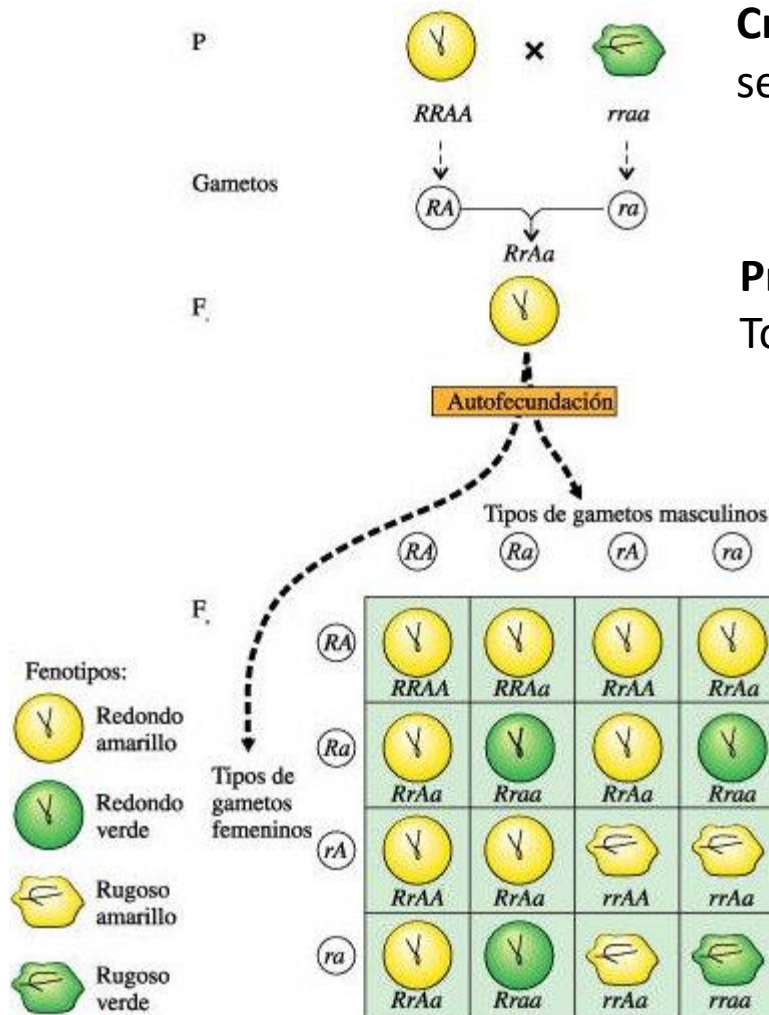
Ley del producto y prueba estadística

**Lic. Saira Cancela**

# Experimentos de Mendel

- Hasta ahora hemos considerado la expresión de un solo gen. Mendel además realizó cruzamientos en los que se podía seguir la segregación de dos genes. Estos experimentos resultaron la base de su descubrimiento de su segunda ley, la Ley de la Segregación Independiente.
- Primero introduciremos algunos términos:
  - **Cruzamiento dihíbrido:** Es un cruzamiento en el que se analiza lo que ocurre con la segregación de dos loci simultáneamente, es decir que se estudian dos pares de alelos (AABB x aabb) que difieren en los padres .
  - **Dihíbrido:** Un individuo heterocigota para dos pares de alelos (AaBb). Un cruzamiento dihíbrido no es un cruzamiento entre dos dihíbridos.

**Cruzamiento dihíbrido:** las líneas puras parentales difieren en dos genes que controlan dos diferencias de caracteres distintos.



**Cruzamiento Parental:**

semilla amarilla, redonda x semilla verde, arrugada

**Proporción fenotípica en la generación F<sub>1</sub>:**

Toda la descendencia con semilla amarilla y redonda

**Proporciones fenotípicas en la generación F<sub>2</sub>:**

9 amarilla, redonda

3 amarilla, arrugada

3 verde, redonda

1 verde, arrugada

## Cuadrado de Punnet para predecir el resultado de un cruzamiento dihíbrido

La relación de dominancia entre los alelos para cada característica ya la conocía Mendel cuando realizó este cruzamiento:

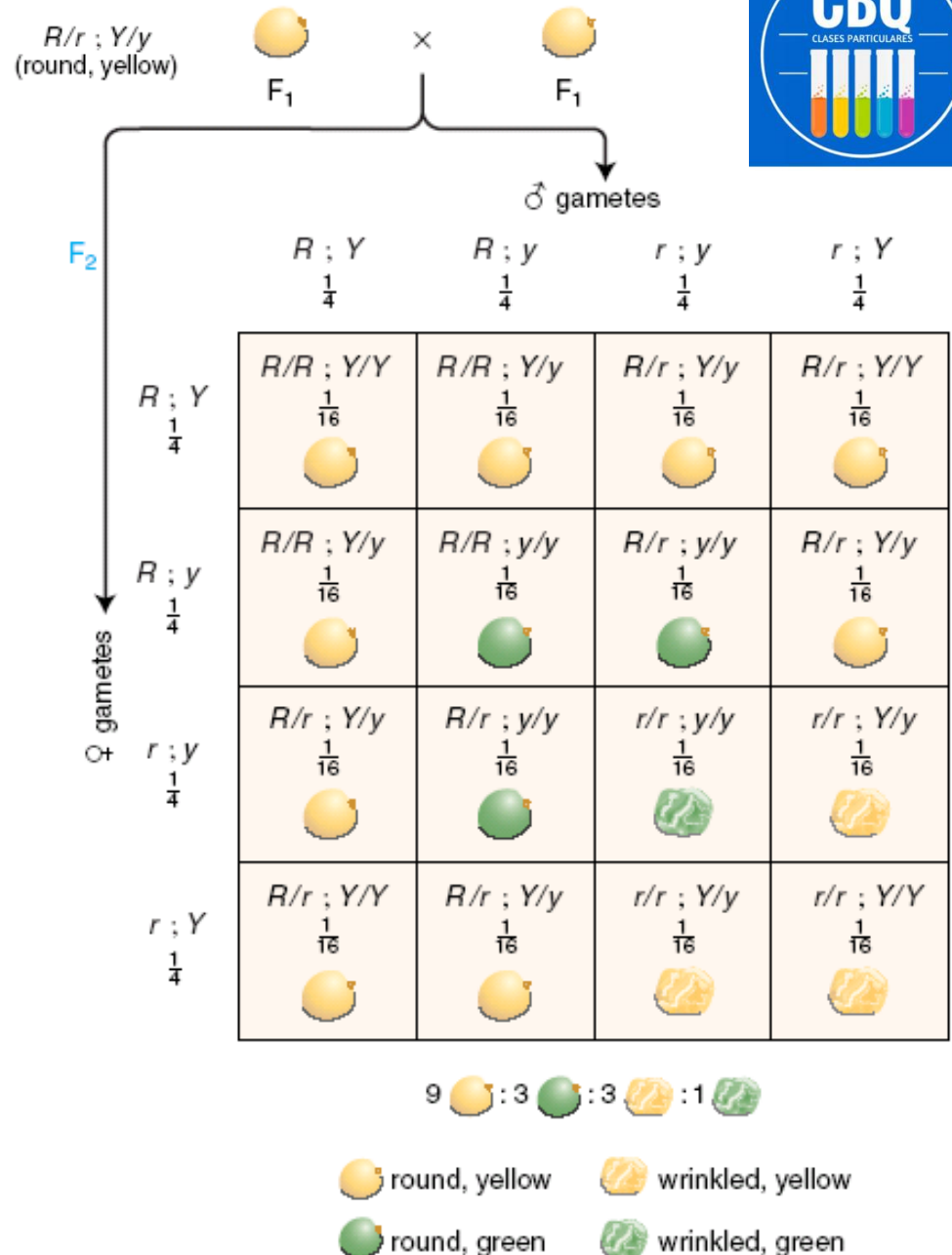
Fenotipo dominante amarillo

Fenotipo recesivo verde

Fenotipo dominante liso

Fenotipo recesivo rugoso

El propósito de este cruzamiento dihíbrido fue determinar si existía alguna relación entre los dos pares alélicos.



**Ley del producto:** cuando dos eventos son independientes la probabilidad de que ocurran conjuntamente es igual al producto de sus probabilidades individuales

Cuando los genes se transmiten en forma independiente la probabilidad de que dos alelos de genes distintos se hallen juntos es igual al producto de sus probabilidades individuales

Por la primera Ley de Mendel:

gametos Y = gametos y = 1/2

gametos R = gametos r = 1/2

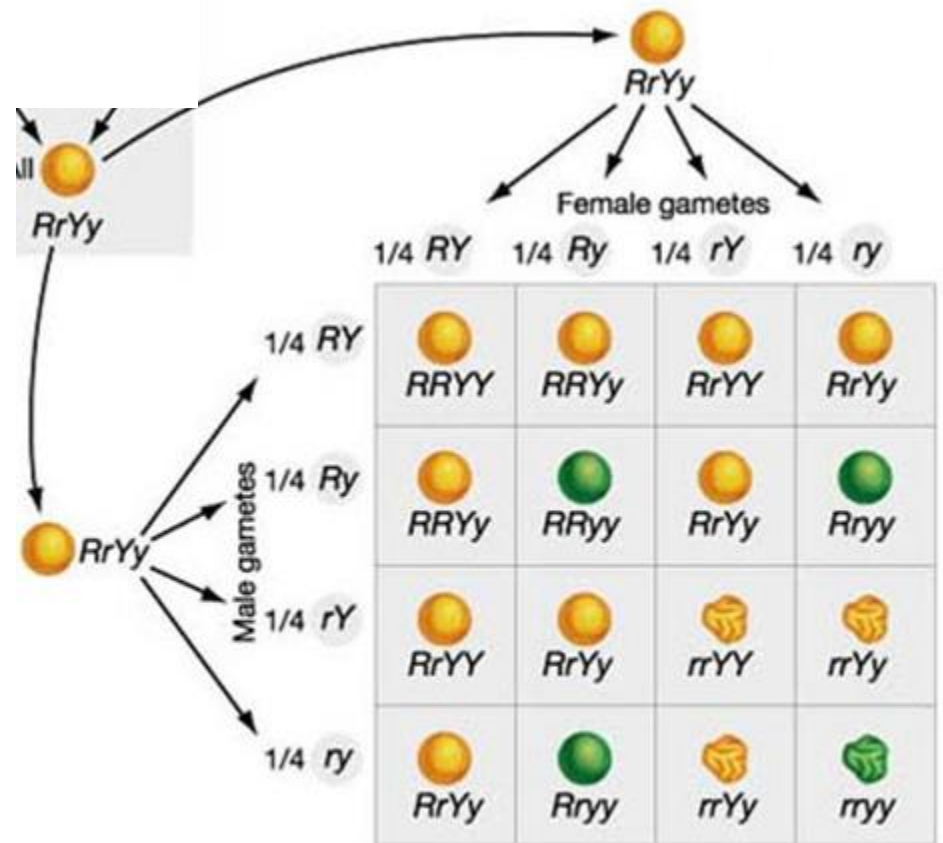
$$p(RY) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$p(Ry) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$p(rY) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$p(ry) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

**Las proporciones lisas:rugosas y  
amarillas:verdes son ambas 3:1  
(3/4,1/4)**



Resulting genotypes: 9/16 R-Y- : 3/16 R-yy : 3/16 rrY- : 1/16 rryy

Resulting phenotypes: 9/16 Yellow Smooth : 3/16 Yellow Wrinkled : 3/16 Green Smooth : 1/16 Green Wrinkled

$\frac{3}{4}$  de la F2 semilla **amarilla**  $\rightarrow$   $\frac{3}{4}$  de la F2 semilla **lisa**  
 $\searrow$   $\frac{1}{4}$  de la F2 semilla **rugosa**

$\frac{1}{4}$  de la F2 semilla **verde**  $\rightarrow$   $\frac{3}{4}$  de la F2 semilla **lisa**  
 $\searrow$   $\frac{1}{4}$  de la F2 semilla **rugosa**

### Ley de la multiplicación de probabilidades:

$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \mathbf{9/16}$  semilla **amarilla** y **lisa**

$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{3/16}$  semilla **amarilla** y **rugosa**

$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{3/16}$  semilla **verde** y **lisa**

$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$  semilla **verde** y **rugosa**

# 2da Ley del Mendel

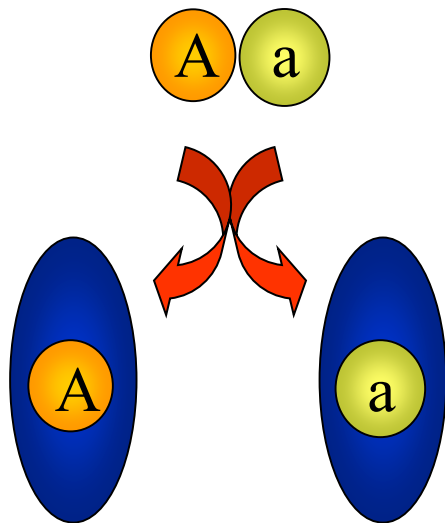
## Ley de segregación independiente:

Los alelos (variantes) de un gen (factor) segregan independientemente de las variantes de otro. La probabilidad de encontrar un alelo de un gen en un gameto no está influida por los alelos que porte de cualquier otro gen.

Las proporciones fenotípicas **9:3:3:1** (mendelianas) se observan cuando cruzamos dos dihíbridos, se cumplen las leyes de Mendel (la primera, la segunda y la de dominancia), y no hay ningún otro fenómeno superpuesto. Si ocurre cualquier excepción, las proporciones fenotípicas se verán modificadas.

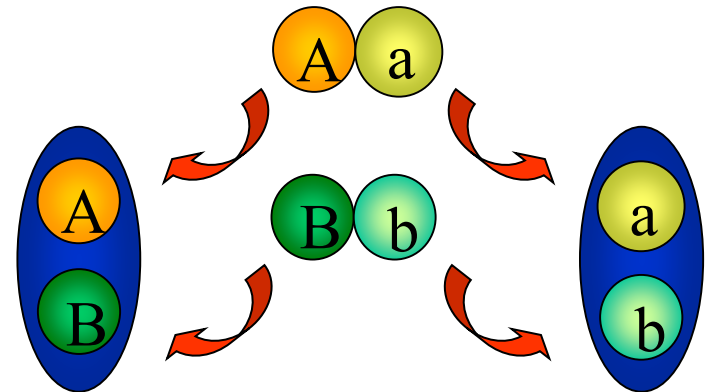


Par de alelos de un gen



**Distribución igualitaria**

Pares de alelos de dos genes



Gametos

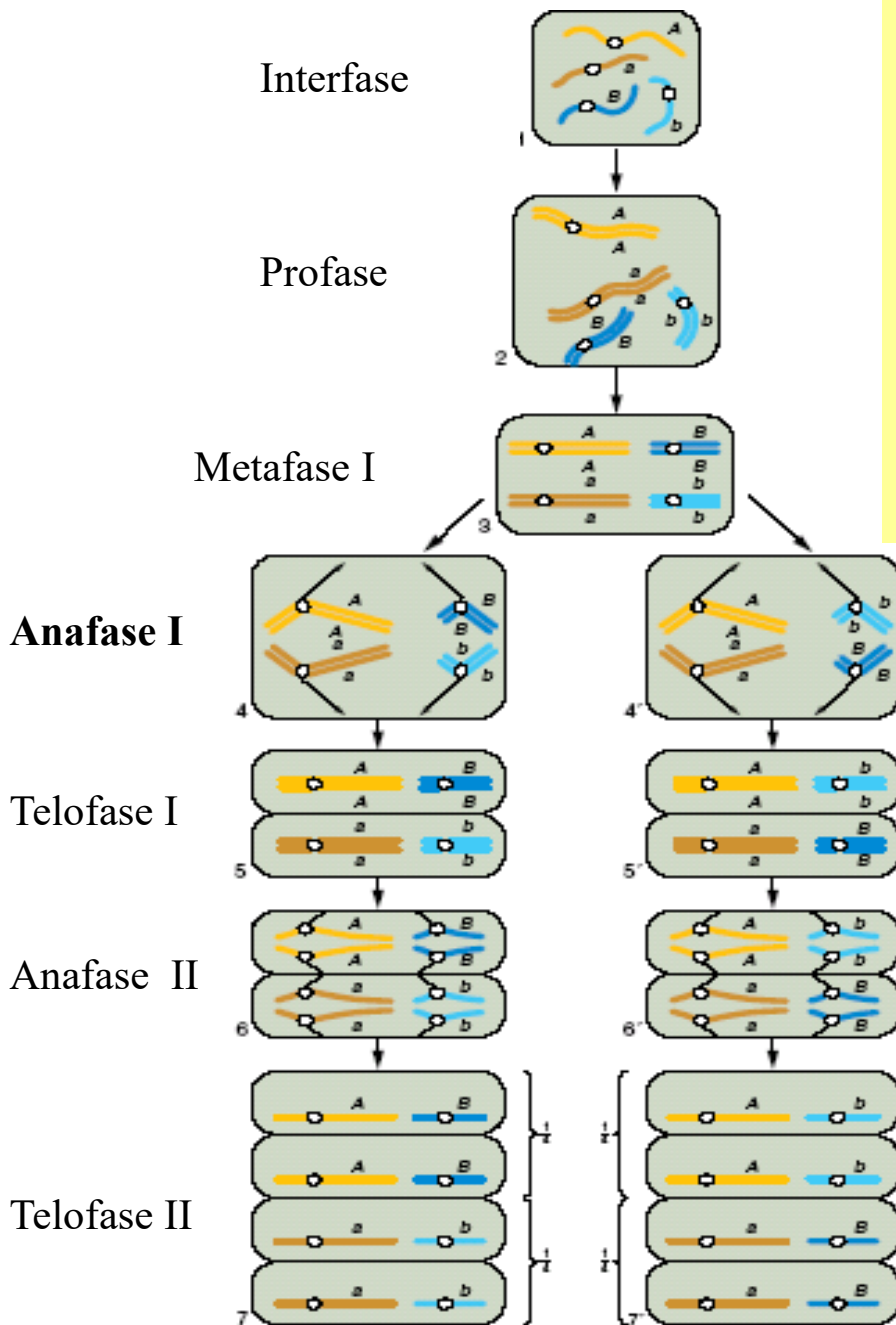
Gametos

**Segregación independiente**

## Bases cromosómicas de la herencia mendeliana

Los genes están en los cromosomas y segregan durante la Meiosis

Los genes localizados en cromosomas distintos segregan en forma independiente porque los cromosomas homólogos también segregan independientemente



Explica la distribución  
igualitaria y la segregación  
independiente

Meiosis de una célula diploide  
con genotipo A/a:B/b

- Genes para el color y forma de la semilla en cromosomas distintos

## Proporciones genotípicas

1/16 YYRR

1/16 YYrr

1/16 yyRR

1/16 yyrr

4/16 YyRr



2/16 YYRr

2/16 YyRR

2/16 Yyrr

2/16 yyRr

S

 	1/4 AB	1/4 Ab	1/4 aB	1/4 ab
1/4 AB	AABB	AAbB	AaBB	AaBb
1/4 Ab	AABb	AAbb	AabB	Aabb
1/4 aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
1/4 ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

**9 genotipos diferentes 1:2:1:2:4:2:1:2:1**

- Fenotipos en la F2 para 2 genes con dominancia completa y segregación independiente

## Fenotipo:

**9/16** amarillas y lisas:

**3/16** amarillas y rugosas:

**3/16** verdes y lisas :

**1/16** verdes y lisas

♀ \ ♂	1/4 AB	1/4 Ab	1/4 aB	1/4 ab
1/4 AB	AABB	AAbB	AaBB	AaBb
1/4 Ab	AABb	AAbb	AabB	Aabb
1/4 aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
1/4 ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

# Cruzamiento dihíbrido

**Dos genes con dominancia completa y que cumplen la 2da ley de Mendel**

Fenotipo	Genotipo
9 semilla amarilla y redonda	Y_R_
3 semilla amarilla y arrugada	Y_rr
3 semilla verde y redonda	yyR_
1 semilla verde y arrugada	yyrr



# Cruzamiento dihíbrido de prueba

- Sirve para determinar el genotipo de los individuos que presentan un fenotipo dominante para ambas características en la F2

**F2 Fenotipo:** semilla **Amarilla**, **lisa**

**Posibles Genotipos:** YYRR, YyRr, YYRr, YyRR

# Cruzamiento de prueba

F2 Fenotipo: semilla Amarilla, lisa Posibles Genotipos: YYRR, YyRr, YYRr, YyRR  
(Y\_ R\_)

Ej.

Amarillas, lisas X verdes rugosas

**YyRr** x **yyrr**

Gametos: YR, Yr, yR, yr      **yr**  
                 1/4 1/4 1/4 1/4      1



25% **YyRr** amarillas, lisas

25% **Yyrr** amarillas, rugosas

25% **yyRr** verdes, lisas

25% **yyrr** verdes, rugosas

Proporción 1:1:1:1

Amarillas, lisas X verdes rugosas

**YYRR** x **yyrr**

Gametos: YR      **yr**



100% **YyRr**

100% Amarillas, lisas

Cuáles son los otros dos posibles resultados?

- Las probabilidades se calculan en base a una hipótesis de cómo se hereda un carácter, es decir a los **resultados esperados**.
- Necesitamos hacer una prueba estadística para ver si los **resultados observados** (el número de individuos con cada fenotipo) se ajustan a los esperados.
- La **prueba de chi cuadrado** (prueba de bondad de ajuste) cuantifica desviaciones esperadas por azar si una hipótesis es verdadera.
- Brinda información acerca de cuán correctamente se ajustan los valores observados a los esperados

$$X^2 = \sum \frac{(obs - exp)^2}{exp}$$



Fórmula de Chi-cuadrado:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observed Value} - \text{Expected Value})^2}{(\text{Expected Value})}$$

grados de libertad (df): n-1 donde n es el número de clases.

Probemos si los siguientes datos se ajustan a la proporción 9:3:3:1

Valores Observados	Valores Esperados
315 semillas redondas y amarillas	(9/16)(556) = 312.75 redondas y amarillas
108 semillas redondas y verdes	(3/16)(556) = 104.25 redondas y verdes
101 semillas arrugadas y amarillas	(3/16)(556) = 104.25 arrugadas y amarillas
32 semillas arrugadas y verdes	(1/16)(556) = 34.75 arrugadas y verdes
556 Total de semillas	556.00 Total de semillas

$$\chi^2 = \frac{(315 - 312.75)^2}{312.75} + \frac{(108 - 104.25)^2}{104.25} + \frac{(101 - 104.25)^2}{104.25} + \frac{(32 - 34.75)^2}{34.75}$$

$$\chi^2 = 0.47$$

Número de clases: 4

Gl (grados de libertad): n-1= 4-1= 3

Valor de Chi-cuadrado: 0.47

- Si se entra en la Tabla de Chi-cuadrado por tres grados de libertad, se observa que el valor de Chi-cuadrado encontrado se encuentra con una probabilidad mayor de 0,90. Quiere decir que la probabilidad de encontrar un valor de Chi-cuadrado como el calculado para nuestro experimento es mayor del 90%, que es lo mismo que decir que las diferencias entre los valores observados y calculados se deben al azar con una probabilidad mayor al 90%.
- Por convención estadística se utiliza el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico. Si el valor de Chi-cuadrado calculado para un experimento es mayor que el correspondiente al de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis. En el caso del ejemplo anterior el valor calculado es menor que el valor encontrado en la tabla de Chi-cuadrado por lo que se acepta la hipótesis de que los datos se ajustan a una distribución 9:3:3:1.

# RELACIONES ENTRE ALELOS DE UN GEN

- DOMINANCIA COMPLETA: un alelo dominante (al expresarse da fenotipo dominante), otro alelo recesivo (da fenotipo recesivo)
- DOMINANCIA PARCIAL o INCOMPLETA o INTERMEDIA: el heterocigota presenta un fenotipo intermedio al de los homocigotos
- CODOMINANCIA: el heterocigota expresa simultáneamente los fenotipos de los homocigotos



**Qué sucede con las frecuencias fenotípicas cuando consideramos dos genes con alelos con distintas relaciones de dominancia?**

**Cambian las proporciones Fenotípicas pero las proporciones Genotípicas se mantienen**

# Proporciones esperadas en la F2 para dos genes que cumplen con la 2da ley de Mendel

Tipo de acción génica	Frecuencias genotípicas	Frecuencias Fenotípicas	Clases fenotípicas
Dos genes con dominancia completa	1:2:1:2:4:2:1:2:1	9:3:3:1	4
Un gen con dominancia completa y otro con dominancia incompleta	1:2:1:2:4:2:1:2:1	3:6:3:1:2:1	6
Dos genes con dominancia incompleta	1:2:1:2:4:2:1:2:1	1:2:1:2:4:2:1:2:1	9