

Genética II: el ligamiento y la teoría cromosómica

(Continuación de la 2º Ley de Mendel)

Cada individuo tiene dos copias de cada unidad de herencia (gen). Estas dos copias se separan durante la formación de gametos y se vuelven a juntar cuando dos gametos se combinan para formar un cigoto.

Un **locus** (plural = loci) es el lugar en el que está ubicado un gen en el interior de un cromosoma. Los caracteres se distribuyen de modo independiente cuando los *loci* de los genes R y G están en cromosomas diferentes.

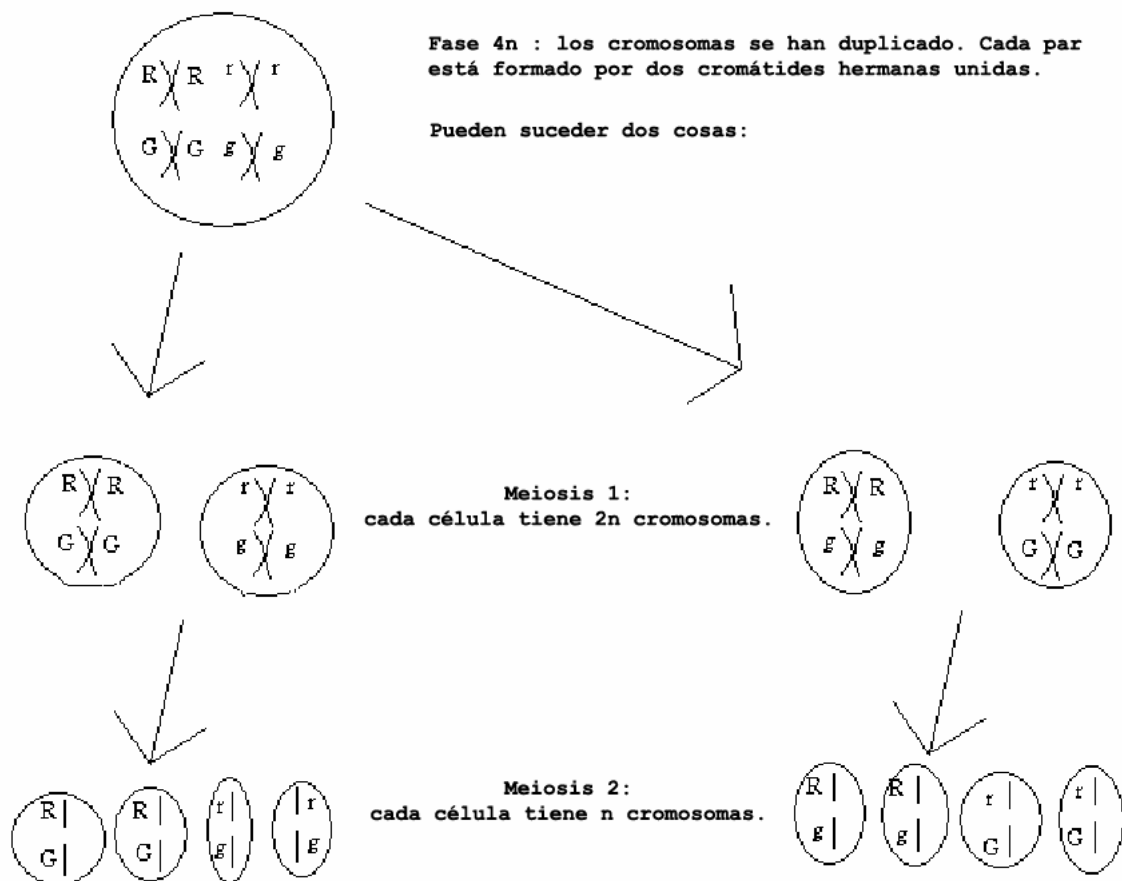
En base a estos resultados, la teoría cromosómica predice que el gen del carácter liso y el gen del carácter verde están en cromosomas distintos.

§1. La teoría cromosómica de la herencia

Según la teoría cromosómica...

Si los genes R y G están en distintos cromosomas:

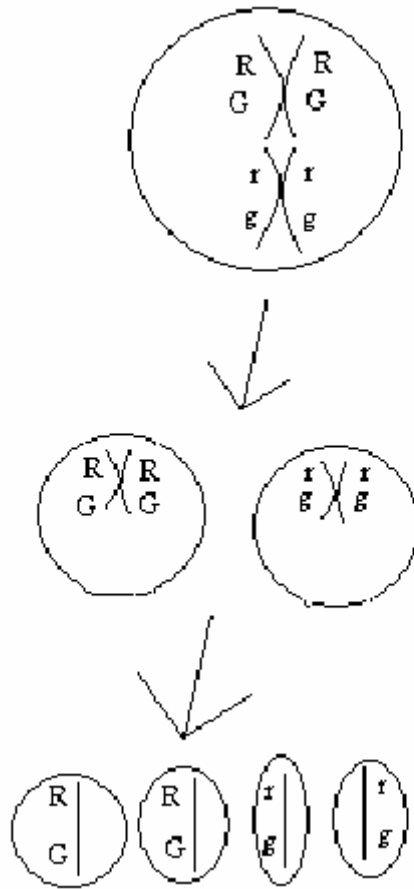
Observe los núcleos de las células híbridas de la F1: RrGg



Si los genes están en cromosomas distintos, tras múltiples divisiones meióticas se obtendrían los siguientes gametos:

RG 25% rg 25% Rg 25% rG 25%

Sin embargo, si los genes R y G están ubicados en el mismo cromosoma:



Si los genes están ubicados en el mismo cromosoma, tras muchas divisiones meióticas se obtendrían los siguientes gametos:

RG 50% rg 50% Rg 0% rG 0%

Según Mendel, los caracteres deberían distribuirse de modo independiente:

RG 25% rg 25% Rg 25% rG 25%

Según la teoría cromosómica, los caracteres deberían distribuirse entre los cromosomas:

RG 50% rg 50%

Entonces, ¿cómo tiene lugar la herencia?

De hecho, podría haber un tercer resultado que se obtendría cuando los dos genes están ubicados dentro del mismo cromosoma. Estos resultados podrían situarse a medio camino entre las dos predicciones previamente mencionadas. La descendencia procedente de gametos RG y rg sería más frecuente que la descendencia procedente de gametos Rg o rG.

En el caso que ilustramos en la figura de arriba, RG y rg son gametos parentales (el cromosoma que está en el gameto es idéntico al que está en el progenitor) mientras que Rg y rG son gametos no parentales.

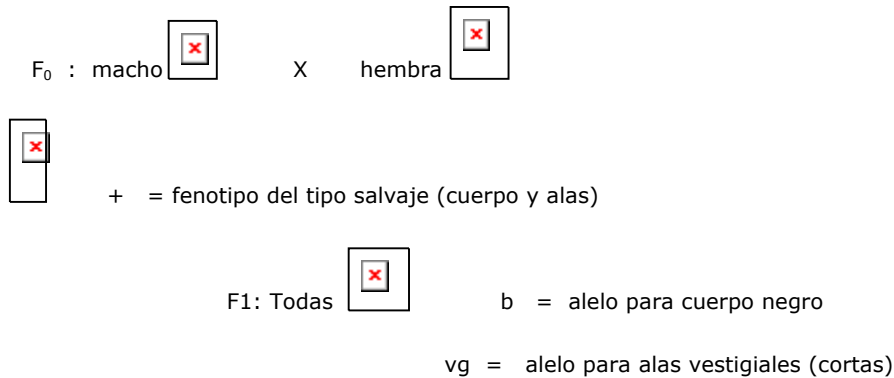
¿Y cómo sucede esto?

Rg y rG son, como hemos mencionado, gametos no parentales, y se forman a través de un proceso denominado **recombinación**.

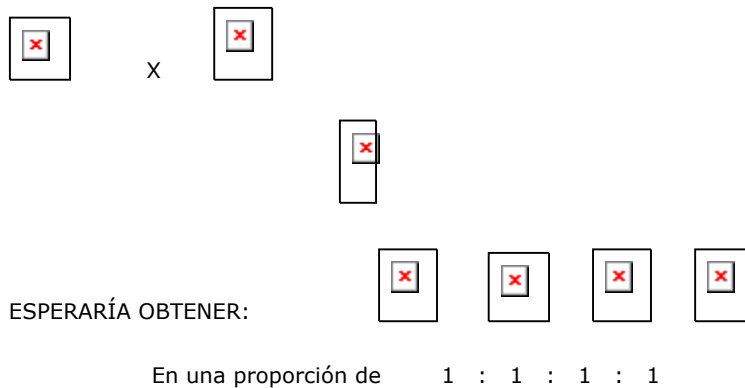
§2. La recombinación

Thomas Morgan (~1910) fue la primera persona que estudió el proceso de recombinación. En sus experimentos empleó moscas del vinagre (**Drosophila Melanogaster**).

Observe este cruce de dos variedades puras de moscas:



Tome un heterocigoto de la F1 y realice un cruce prueba:



Sin embargo, cuando se realizó este experimento, la descendencia se manifestó en las siguientes proporciones:

944: 965: 206: 185

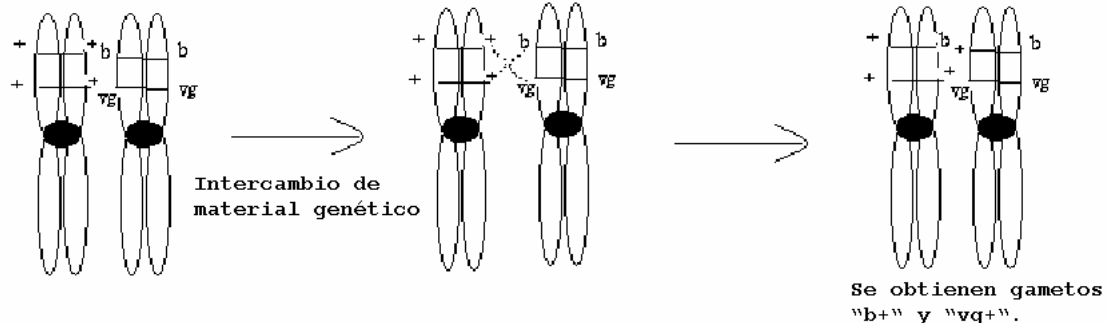
Las moscas representadas por los números 944 y 965 son los tipos parentales. Las moscas representadas por los números 206 y 185 son los tipos no parentales (recombinantes).

- Si los genes b y vg estuviesen en cromosomas diferentes, se esperaría que la tasa resultante de genotipos fuese de 1 : 1 : 1 : 1.

- Si los genes b y vg estuviesen en el mismo cromosoma, se esperaría que la tasa resultante de genotipos fuese 1 : 1 : 0 : 0.

Estos resultados indican, sin embargo, que ha tenido que haber recombinación para que se hayan podido producir los tipos **no-parentales** (recombinantes). La recombinación tiene lugar durante la **Meiosis**, durante la producción de gametos.

El proceso de recombinación ocurre durante la metafase de la primera meiosis (la célula tiene, en este momento, una dotación de cromosomas de $4n$; cada cromosoma se duplica y se alinean los cromosomas homólogos). Los cromosomas homólogos se intercambian fragmentos equivalentes entre sí, produciéndose así el intercambio de material genético.



- La recombinación (fenómeno de intercambio o entrecruzamiento o "cross-over") sucede con una determinada frecuencia. Cuando tiene lugar la recombinación, se producen los tipos no-parentales (recombinantes).

-Se examinaron células que estaban sufriendo meiosis y se observaron cromosomas en contacto formando un **quiasma** (punto de entrecruzamiento). ¿Pero era esto prueba de que había recombinación?

Para demostrar que sí había existido recombinación, hubo que examinar el número de recombinantes producidos.

La frecuencia de recombinación (FR) mide la probabilidad de intercambio genético.

Esto quiere decir que el 17% de las veces, hay recombinación entre los *loci* de los genes *b* y *vg* de un cromosoma.

Si dos genes están cerca, uno del otro, dentro del cromosoma, su frecuencia de recombinación es baja - $\sim 0\%$

Si dos genes están muy separados entre sí dentro del cromosoma, su frecuencia de recombinación es alta - $\sim 50\%$

-Se dice que dos genes están **ligados** entre sí en el mismo cromosoma, cuando la FR es inferior a 50%.

-Se dice que dos genes **no están ligados** entre sí si la FR es 50% o más. Podrían estar muy lejos entre sí en un mismo cromosoma o en cromosomas *diferentes*.

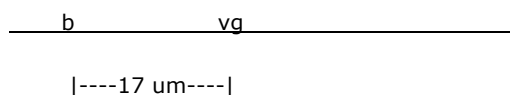
§3. Mapas genéticos

Los **mapas de ligamiento genético** muestran el orden de los genes en un cromosoma. El orden está basado en las frecuencias de recombinación entre los genes.

~ 1911 Alfred Sturtevant, estudiante del laboratorio de T. H. Morgan, empleó frecuencias de recombinación para construir mapas de ligamiento genético.

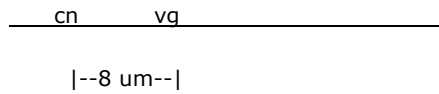
-Utilizó frecuencias de recombinación (FR) para asignar distancias entre genes en unidades de mapa (u.m.).

Ejemplo: Los genes *b* y *vg* de un cromosoma exhiben una FR del 17%.



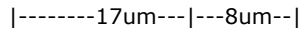
Por lo tanto, dicha FR nos dice que los genes *b* y *vg* están a 17 unidades de mapa de distancia dentro del mismo cromosoma.

Sturtevant sabía que la FR entre el gen *vg* gen y otro gen denominado *cinnabar* (*cn*) era del 8%.

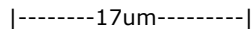
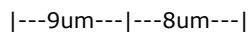


Sturtevant se dio cuenta de que si los cromosomas eran entidades lineares, había dos posibilidades:

1) *b* *vg* *cn* , donde la FR entre *B* y *cn* se espera que sea del 25%.



2) *b* *cn* *vg* , donde la FR entre *b* y *cn* se espera que sea del 9%.



Sturtevant examinó los datos y descubrió que la frecuencia de recombinación entre los genes *b* y *cn* era, efectivamente, del 9 % y, por lo tanto, asumió que el 2º mapa era correcto.

Sturtevant recopiló todos los datos sobre ligamiento y elaboró un mapa de ligamiento genético más completo. Dedujo que los genes estaban ubicados en los cromosomas y fue capaz de ubicar genes en cromosomas a partir de los datos existentes de FR entre genes.

§4. La determinación del sexo y el ligamiento al sexo

La mayoría de las plantas y de los animales son diploides (2n), esto es, tienen dos copias de cada cromosoma

n = número de cromosomas diferentes

Los cromosomas se encuentran en el núcleo de las células formando parejas de cromosomas idénticos, con la excepción de un par de cromosomas que NO están emparejados.

Los cromosomas emparejados se denominan **autosomas**.

Los cromosomas no emparejados se denominan **cromosomas sexuales** .

Los humanos tienen 22 pares de **autosomas** y 1 par de **cromosomas sexuales** (XX ó XY).

En la mayor parte de los organismos, el tipo de cromosoma sexual que tiene la célula determina el sexo del individuo.

Observe organismos diferentes

	Humanos	Moscas	Pollos	Gusanos
Machos	XY	XY	ZZ	XO
Hembras	XX	XX	ZW	XX

En la mayoría de los casos, los machos son **heterocigóticos** (XY) mientras que las hembras son **homocigóticas** (XX). La excepción son los pollos.

Entonces: ¿qué hace macho a un macho?

¿Es el XX el causante de la cualidad de ser hembra ó determina el cromosoma Y la cualidad de ser macho?

Depende del organismo:

En humanos: XXY -fenotípicamente machos
En moscas: XXY -fenotípicamente hembras

En los humanos, el cromosoma Y es el factor que determina el sexo masculino.

Ligamiento al sexo

Los genes no se encuentran sólo en los autosomas sino también en los cromosomas sexuales (principalmente en los X).

La relación existente entre los cromosomas sexuales y la determinación del sexo se fortaleció mediante experimentos sobre el ligamiento al sexo.

Estudios sobre ligamiento al sexo

En moscas:

F₀: Ojo blanco Macho X Ojo normal Hembra



F₁: Todas las moscas tienen los ojos de color normal (machos y hembras)

(el blanco es recesivo con respecto al color de ojos normal)

Tome 2 moscas de la F₁ y realice un cruce:

F₁ Normal Macho X F₁ Normal Hembra



F₂: Todas las hijas tienen los ojos de color normal

Machos: 50% ojos color normal; 50% ojos blancos.

Conclusión: el gen para el color de los ojos está en el cromosoma X : los resultados, pues, no pueden explicarse en virtud de la simple oposición dominancia / recesividad. Por lo tanto, decimos que este rasgo está ligado al sexo.