

SITUACIONES cotidianas

- ¿Crees que enfermedades como el cáncer y la artritis se transmiten de padres a hijos? ¿Por qué?



1.1. EL ORIGEN DE LA GENÉTICA MODERNA

Durante miles de años se han conocido las ventajas de utilizar la herencia a favor del hombre. Desde la antigüedad se seleccionaban los animales o las plantas con ciertas características para que las heredaran a sus descendientes y, de esta forma, se promovía la aparición o mejoramiento de algunas características en la población cultivada. Este proceso, denominado **selección artificial** y que aún hoy se usa, permitía obtener plantas con muchos frutos, vacas o cabras que produjeran más leche y más carne, gallinas que pusieran más huevos, ovejas con abundante lana, etc. Esto se hacía de una forma intuitiva y de tal manera que no era necesario entender realmente qué mecanismo intervenía.

Sin embargo, los filósofos antiguos ya habían propuesto mecanismos hereditarios y su idea dominante era la **teoría de la mezcla**. Luego, la aparición y la posterior revisión de las **teorías mendelianas** dieron lugar a la **genética moderna**.



FIG. 1 Las gallinas ponedoras de las fincas han sido sometidas a un largo proceso de selección artificial que hace que actualmente puedan poner huevos diariamente sin necesidad de ser fertilizadas.



FIG. 2 Gregor Johann Mendel (1822-1884), científico y sacerdote.

1.1.1 La época pre-mendeliana: teoría de la mezcla

Desde la antigüedad, se había considerado que los descendientes presentaban características intermedias entre sus dos progenitores, al igual que la mezcla de pinturas de diferentes colores. Este primer concepto de la herencia biológica es llamado **teoría genética de la mezcla**.

1.1.2 Los estudios de Mendel

El padre de la genética moderna, **Gregor Johann Mendel** (1822-1884) nació en Austria y en 1843 ingresó a la orden de los agustinos. Interesado por conocer ese mecanismo profundo que determinaba la forma como se transmitían los caracteres entre una generación y otra, inició en 1856, en el convento de Brno en la República Checa sus experimentos con un cultivo de guisantes (figs. 3 y 4).

Mediante la selección de variedades puras y miles de cruces controlados, cuantificó rigurosamente durante muchos años las proporciones en las que aparecía en la descendencia cada uno de los caracteres estudiados. En 1866, publicó en una revista de poca difusión, con el título de *Experimentos sobre híbridos de plantas* los resultados experimentales de sus trabajos, en los cuales se explicaban los mecanismos básicos de la herencia. A pesar de que su trabajo sirve hoy de ejemplo por su rigor científico, sus resultados fueron acogidos con indiferencia por la comunidad científica de la época y cayeron en el olvido durante años.

1.3 De Mendel a la genética moderna

En 1900, ocurrió una de las coincidencias más sorprendentes de la investigación científica: tres investigadores en tres lugares diferentes de Europa llegaron por separado a las mismas conclusiones a las que había llegado Mendel, con lo cual comenzó su redescubrimiento y reconocimiento. Los avances en microscopía y la interpretación de la estructura de la célula permitieron, más tarde, explicar el soporte físico de la herencia. En 1902, dos investigadores, **W.C. Sutton**, en Estados Unidos y **T. Boveri**, en Alemania, propusieron la presencia de los **caracteres hereditarios** en los cromosomas. Posteriormente, se definieron los términos usados hoy en día, como genética, genes, alelos y cromosomas homólogos, entre otros. Por último, el desarrollo de la bioquímica ha hecho posible desentrañar los secretos de la genética a escala molecular.



FIG. 3 Planta del guisante en flor.

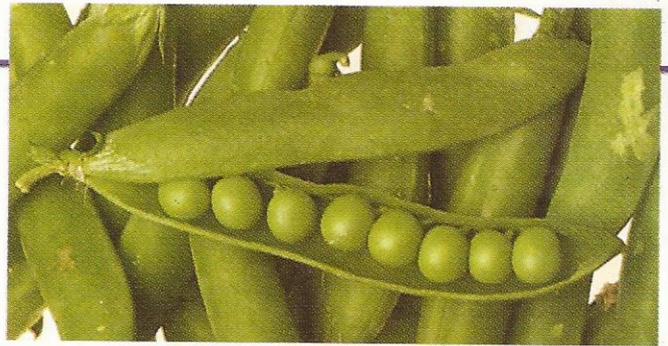


FIG. 4 Fruto y semillas del guisante.

2.1.1 Resultados de los experimentos

Mendel trabajó en sus guisantes con caracteres sencillos y fácilmente observables: la forma y el color de la semilla y de la legumbre, el color y la posición de las flores y la longitud del tallo, entre otros. Una de las primeras características que estudió fue el color de las semillas, que podía ser amarillo o verde. Obtuvo una **cepa pura** de cada clase y cruzó una planta de cepa pura de semillas amarillas con otra, igualmente cepa pura, de semillas verdes.

Las plantas parentales las llamó **generación paterna** o P. Todos los descendientes, a los que llamó **primera generación filial** o F_1 , presentaron todas sus semillas de color amarillo.

Cuando cruzó las plantas F_1 entre sí, obtuvo una generación llamada **segunda generación filial** o F_2 , que presentaba tres individuos con semillas amarillas por cada individuo con semillas verdes (fig. 5).



CONCEPTOS

claves

GENÉTICA: rama de la ciencia que estudia la transmisión y la descendencia de los caracteres hereditarios, ya sean físicos, bioquímicos, de comportamiento, etc.

CARÁCTER HEREDITARIO: es una característica que se transmite de padres a hijos. Generalmente tiene dos o más alternativas diferentes. Por ejemplo el carácter color de semilla tiene dos alternativas: semillas verdes (*a*) y semillas amarillas (*A*).

CEPA PURA PARA UN CARÁCTER: todos aquellos individuos que cruzados entre sí siempre dan descendientes que presentan la misma alternativa del carácter.

HÍBRIDOS: primera generación heterocigota de descendientes de dos cepas puras diferentes para un mismo carácter.

2. GENÉTICA MENDELIANA

Sin conocer nada acerca de cromosomas, genes o ácidos nucleicos y gracias a su espíritu investigativo y científico, Mendel logró elaborar una teoría consistente acerca de la herencia, que sirvió como base para la genética moderna.

2.1 Las experiencias de Mendel

A continuación, veremos los resultados y la interpretación de los experimentos realizados por Mendel.

1. 2.1.2 Interpretación de los experimentos

A partir de los resultados de sus experimentos, Mendel dedujo que la información biológica contenida para cada carácter debía presentarse por duplicado, ya que los individuos de la F_1 , por un lado, tenían la información para producir semillas amarillas, ya que expresaban el color amarillo; y por otro lado, también tenían la información para producir semillas verdes, ya que algunos de sus descendientes las presentaban y, lógicamente, la habían recibido de sus progenitores. Así, cada carácter estaría determinado por dos **factores hereditarios**, un factor heredado por un progenitor y el otro factor heredado por el otro progenitor. En la actualidad, denominamos a esos factores **genes**, como veremos más adelante.

Los individuos de la F_1 , pese a tener los factores hereditarios de los padres, semillas amarillas y semillas verdes, sólo expresaban uno de ellos, el color amarillo. Por tanto, dedujo que había dos categorías de factores, los **dominantes**, en este caso el color amarillo para las semillas, que siempre se manifestaban, y los **recesivos**, en este caso el color verde de las semillas, que sólo se manifestaban cuando no estaban acompañados por un factor dominante. Cada factor se puede simbolizar por una letra, mayúscula si es dominante, y minúscula si es recesivo. En este caso podría ser: A , para semillas amarillas y a , para semillas verdes. De esta forma, los individuos de

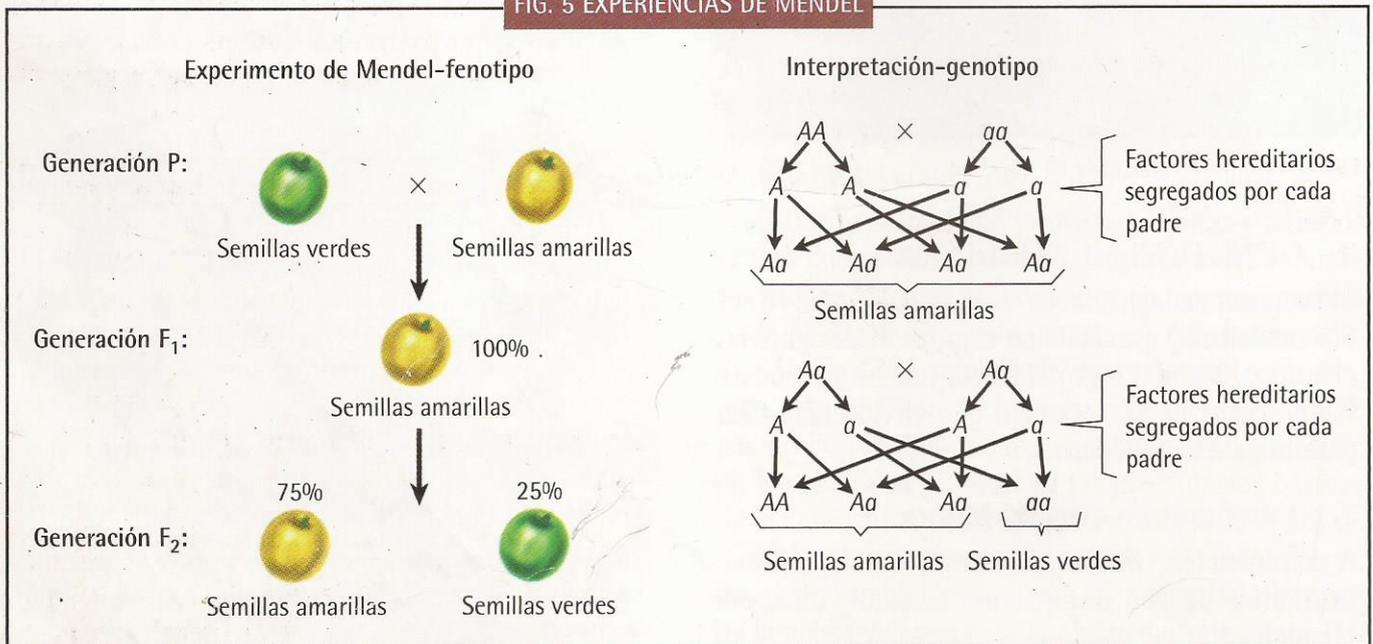
cepa pura, llamados **homocigotos** (*homo*-igual) serían AA para semillas amarillas y aa para semillas verdes. Igualmente, los **híbridos** presentes en la F_1 , llamados **heterocigotos** (*hetero*-diferente), serían Aa , ya que habrían recibido A de uno de los padres y a del otro. En el cruce de los individuos de la F_1 entre sí, cada progenitor heredaría o **segregaría** a sus descendientes en sus gametos un factor A o un factor a con las mismas probabilidades. Como consecuencia, la descendencia podría ser AA , Aa o aa , como puedes apreciar en el cuadro que aparece a continuación.

SEGREGACIÓN DE GAMETOS DE LA F_1

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Igualmente, puedes observar en la tabla que hay el doble de individuos heterocigotos Aa que de homocigotos AA o aa . Sin embargo, ya sabemos que un individuo heterocigoto expresa su factor dominante, A , en este caso las semillas amarillas. Por tanto, los Aa expresarían las semillas amarillas igual que los AA . Por el contrario, los homocigotos aa son los únicos que expresan las semillas verdes, con una proporción de un individuo con semillas verdes por cada tres individuos con semillas amarillas, que fue exactamente lo que encontró Mendel en la generación F_2 .

FIG. 5 EXPERIENCIAS DE MENDEL



Dado que no toda la información genética de un organismo se expresa, como ocurre en los heterocigotos, se habla de **genotipo** y **fenotipo**:

- El **genotipo** (*geno*-hereditario) es la carga genética que puede heredar cada individuo, por ejemplo *AA*, *Aa* o *aa*.
- El **fenotipo** (*feno*-apariciencia) es lo que el individuo expresa de esa carga genética, por ejemplo semillas amarillas o verdes.

Dado que las proporciones teóricas se ajustaban bastante bien a las encontradas en el experimento, Mendel quedó satisfecho con su modelo y formuló sus dos primeras leyes:

- **Primera ley de Mendel o ley de la uniformidad de los híbridos de la primera generación:** al cruzar dos cepas puras diferentes, todos los individuos son híbridos, heterocigotos, e iguales para el carácter estudiado.
- **Segunda ley de Mendel o ley de la segregación:** los dos factores hereditarios que informan sobre un mismo carácter no se fusionan o mezclan, sino que permanecen diferenciados durante toda la vida del individuo y se segregan, es decir, se separan y se reparten, en el momento de la formación de **gametos**.

Dicho de otra forma, existen dos factores hereditarios por carácter que durante la reproducción se separan, o segregan, y que se combinan al azar, para constituir una nueva generación.

1.2.2 Herencia de dos caracteres

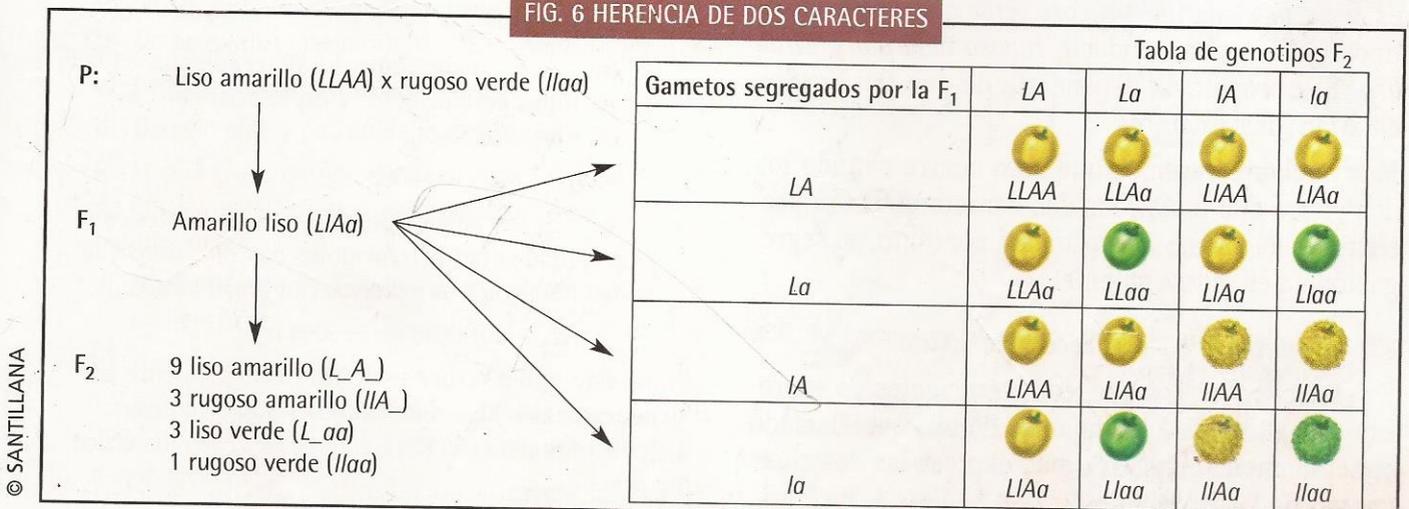
Una vez estudiada la herencia de los caracteres individualmente, Mendel se propuso estudiar la herencia

de dos caracteres diferentes, por ejemplo, el carácter *forma de la semilla* y el carácter *color de la semilla*. Escogió dos cepas puras, una con semillas lisas y de color amarillo; y otra, con semillas rugosas y de color verde. Obtuvo una generación F_1 de individuos iguales con semillas de forma lisa y color amarillo, por lo cual dedujo que la alternativa *color amarillo* era dominante sobre *color verde* y que la alternativa *superficie lisa* era dominante sobre *superficie rugosa*. Al cruzar los individuos de la F_1 obtuvo una F_2 constituida por 566 semillas en total, de las cuales 315 eran *lisas* y *amarillas*, 108 *lisas* y *verdes*, 101 *rugosas* y *amarillas* y 32 eran *rugosas* y *verdes*, es decir, una proporción de 9 : 3 : 3 : 1, respectivamente. Siguiendo el modelo anterior, los genotipos parentales serían *LLAA* para la cepa pura *lisa* y *amarilla*, y *llaa* para la cepa pura *rugosa* y *verde*. Por tanto, el genotipo de la F_1 correspondería a individuos heterocigotos en ambos caracteres, *LlAa*, todos *lisos* y *amarillos*. Al cruzarse entre sí, cada progenitor segregaría cuatro tipos diferentes de gametos con la misma probabilidad: *LA*, *La*, *lA* y *la*, por lo que habría 16 posibles combinaciones en total ($4 \times 4 = 16$), como puedes apreciar en la figura 6.

Así, Mendel concluyó que la herencia de un carácter es independiente de la herencia del otro, es decir, que son eventos independientes, y así lo expresa en su tercera ley:

- **Tercera ley de Mendel o Ley de la herencia independiente de los caracteres:** cada factor se hereda independientemente de los demás y puede combinarse con los otros en todas las formas posibles.

FIG. 6 HERENCIA DE DOS CARACTERES



1.2.3 Excepciones a las leyes de Mendel

A pesar de la consistencia de la teoría hereditaria de Mendel, existen algunas excepciones donde algunas de sus leyes no se cumplen. Estas son los **caracteres ligados**, la **codominancia** y la **dominancia incompleta**.

2.3.1 Caracteres ligados

Para Mendel, todos los factores hereditarios serían físicamente independientes, no estarían unidos o ligados entre sí y, por tanto, no habría caracteres que se heredasen juntos. En realidad, todos los resultados de los experimentos de Mendel apoyaban su tercera ley. Sin embargo, hoy se sabe que algunos caracteres están ligados entre sí y el hecho de que uno aparezca incrementa la posibilidad de que el otro también se presente. Por ejemplo, si uno de los padres es rubio y tiene ojos oscuros y el otro, es moreno y tiene los ojos claros, es más probable que el hijo sea o bien rubio con ojos oscuros o moreno con ojos claros a cualquier otra combinación, ya que los caracteres color de pelo y color de ojos están ligados.

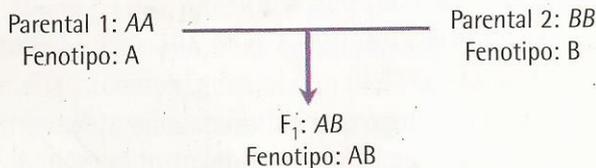


FIG. 7 Ejemplo de codominancia. El grupo sanguíneo AB.

En términos de guisantes, si en el ejemplo del apartado anterior los caracteres color de las semillas y superficie de las semillas hubieran estado ligados, la proporción de descendientes en la F₂ no habría sido 9:3:3:1. Por el contrario, se habría obtenido una proporción mayor de los genotipos parentales originales, es decir, *liso amarillo* y *rugoso verde* que de los genotipos combinados, es decir, *rugoso amarillo* y *verde liso*. Esa proporción dependería de qué tan ligados estarían los caracteres.

Más adelante veremos que esto ocurre cuando los dos genes que dictan los dos caracteres están presentes en el mismo cromosoma y, por tanto, su segregación no es independiente.

2.3.2 Codominancia y dominancia incompleta

Existen casos en los que los heterocigotos no expresan una alternativa dominante. En un caso, llamado **codominancia**, el heterocigoto expresa las dos alternativas de los parentales.

Esto se observa muy claramente en la expresión de los grupos sanguíneos A y B. El heterocigoto AB expresa ambas alternativas (fig. 7). Otro caso es la **dominancia incompleta**, en el cual los heterocigotos expresan una forma diferente de las características parentales. En la figura 8 puedes ver un cruce entre flores boca de dragón rojas y blancas. Como el carácter se transmite mediante dominancia incompleta, la descendencia híbrida presenta flores rosa.

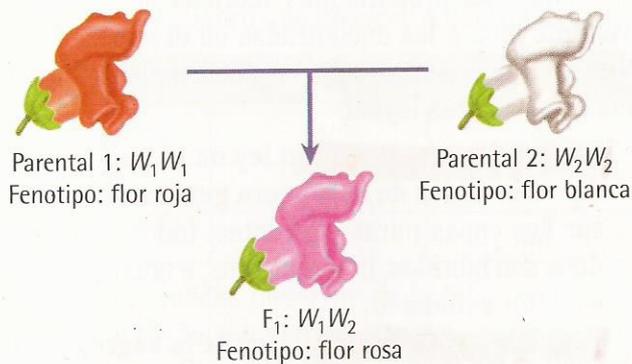


FIG. 8 Ejemplo de dominancia incompleta. El color de flor de la boca de dragón.

Ejemplo

En las moscas, la alternativa ojos rojos (RR) es dominante sobre la alternativa ojos blancos (rr). Se desea sacar una cepa pura de moscas con ojos rojos a partir de una mosca que presenta la característica, pero no se sabe si la mosca es homocigota o heterocigota. ¿Con qué mosca realizarías el cruce para dilucidar esto? ¿Qué esperarías encontrar en cada caso?

Solución

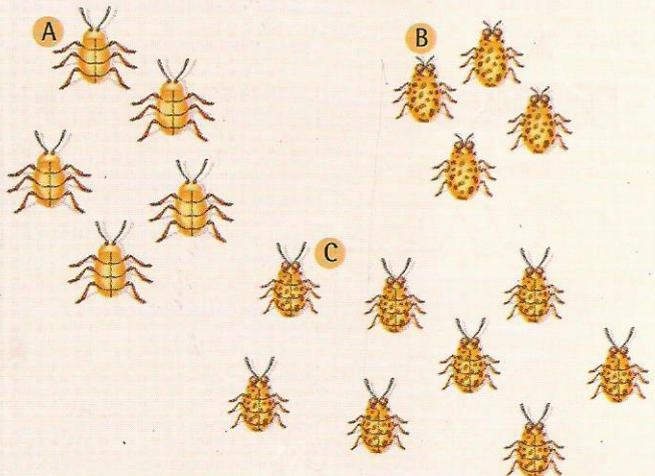
Al cruzar nuestra mosca con una doble recesiva, es decir de ojos blancos, podríamos saber si es homocigota u heterocigota:

- En caso de ser homocigota, los descendientes en la F₁ serían todos heterocigotos y expresarían la alternativa ojos rojos.
P: RR · rr F₁: 100% Rr
- En caso de ser heterocigota, los descendientes en la F₁ serían la mitad heterocigotos con ojos rojos y la mitad homocigotos recesivos con ojos blancos.
P: Rr · rr F₁: 50% Rr + 50% rr.

Nota: este tipo de cruce se utiliza frecuentemente en genética para ver si un individuo es homocigoto u heterocigoto para cierto carácter, y se denomina cruce de prueba.

Problemas propuestos

1. Considera las siguientes poblaciones de escarabajos: A, B y C. La población C se obtiene de cruzar la cepa pura A y la cepa pura B.



- Describe los cuatro caracteres que se están analizando en el cruce. Di las alternativas de cada carácter y su relación de dominancia-recesividad.
 - Di la proporción de escarabajos con patas largas y antenas cortas que se espera como descendientes de (C).
2. Se está analizando la transmisión de dos caracteres en ratones de laboratorio: color del pelo y patrón de coloración. Se tiene un macho homocigoto con pelo café y patrón de coloración uniforme, y una hembra homocigota, con pelo gris y patrón de coloración con manchas blancas. Al cruzarlos, se encuentra una F_1 de crías con pelo café y patrón de manchas blancas. Si sabemos que las dos alternativas cumplen la tercera ley de Mendel y tenemos 160 descendientes en la F_2 , cuántos de esos 160 ratones serían:
- De pelo gris y patrón de manchas blancas.
 - De pelo gris y patrón uniforme.
 - De pelo café y patrón uniforme.
 - De pelo café y patrón de manchas blancas.
3. Plantea el cruce entre individuos de la F_1 de híbridos de flores boca de dragón con coloración rosa, para obtener una F_2 .
- ¿Cuántos colores de flores encontraríamos en la F_2 ?
 - ¿En qué proporciones?
- Ten en cuenta que las alternativas blanca y roja de la flor boca de dragón presentan una relación de dominancia incompleta.

1.3. TEORÍA CROMOSÓMICA DE LA HERENCIA

A principios del siglo XX, **Sutton** y **Boveri** observaron la relación que había entre la herencia de los factores hereditarios propuestos por Mendel y el comportamiento de los cromosomas durante la **meiosis** y la fecundación. Notaron que, al igual que la información biológica para cada carácter se encuentra por duplicado, todos los cromosomas se hallan por pares en las células. Una mitad de estos cromosomas es heredada por un progenitor y la otra, por el otro progenitor.

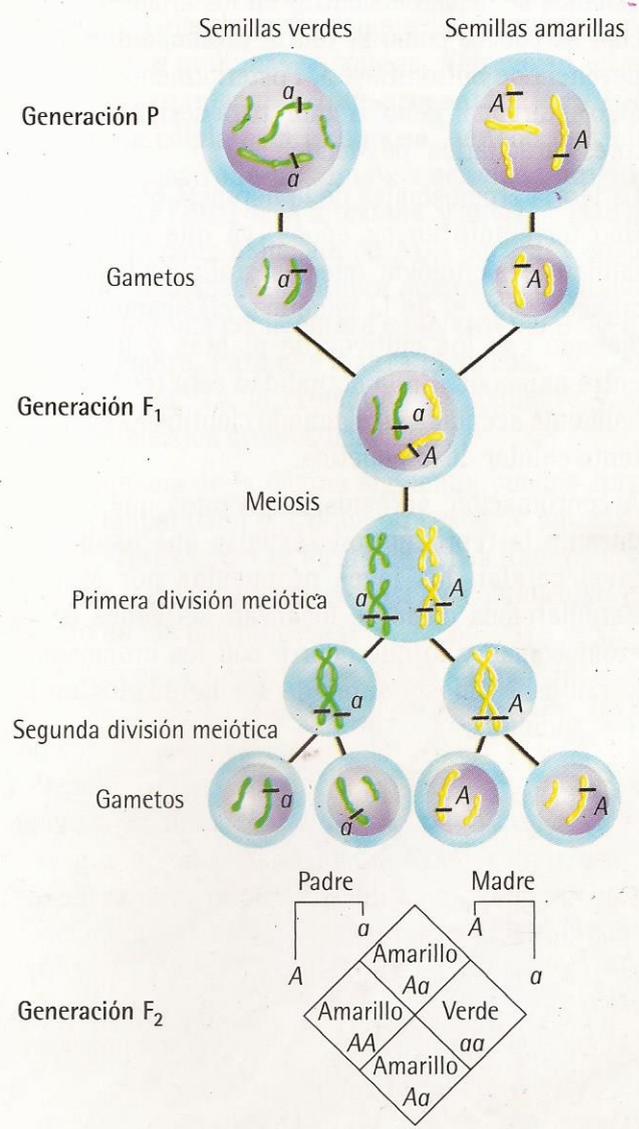


FIG. 9 Ejemplo de cómo funciona la teoría cromosómica de la herencia en el cruce entre una planta de semillas verdes con otra de semillas amarillas. Para simplificar, se muestran sólo dos pares de cromosomas homólogos, en uno de los cuales está el gen responsable del color de la semilla.

3.1 Repartición de cromosomas durante la meiosis

En el momento de la meiosis, los cromosomas apareados, llamados **cromosomas homólogos** (*homo*-igual; *logo*-relación), se separan y cada uno va hacia un gameto diferente. Al aparearse los gametos de cada padre en la reproducción, aparece un descendiente que tiene una serie de cromosomas homólogos del padre y otra serie de cromosomas homólogos de la madre (fig. 9). Basados en estas observaciones, Sutton y Boveri propusieron que los factores hereditarios mendelianos se debían encontrar en los cromosomas, lo cual se conoce como la **teoría cromosómica de la herencia** de Sutton-Boveri. Posteriormente, se introdujo el término "**gene**" o "**gen**" para designar los "factores hereditarios" de Mendel.

La teoría cromosómica de la herencia fue un auténtico terremoto en su época, ya que enlazaba el mundo de la citología, que desarrollaban los microscopistas, con el de la genética, clásicamente relacionado con los cultivos de plantas y los cruces entre animales. En la actualidad esta teoría es globalmente aceptada en el mundo científico y es el sustento celular de la genética.

A continuación, veremos los eventos que ocurren durante la reproducción sexual y que explican, a nivel celular, las leyes propuestas por Mendel. Estudiaremos cómo se localizan los genes en los cromosomas y lo que ocurre con los cromosomas durante la meiosis antes de ser heredados en los descendientes.

CONCEPTOS

claves

MEIOSIS: tipo especial de división celular que consiste en dos divisiones sucesivas y en la cual se producen cuatro células hijas diferentes, con la mitad de la información genética de la célula madre.

MITOSIS: división celular asexual en la que se producen dos células idénticas a la célula madre.

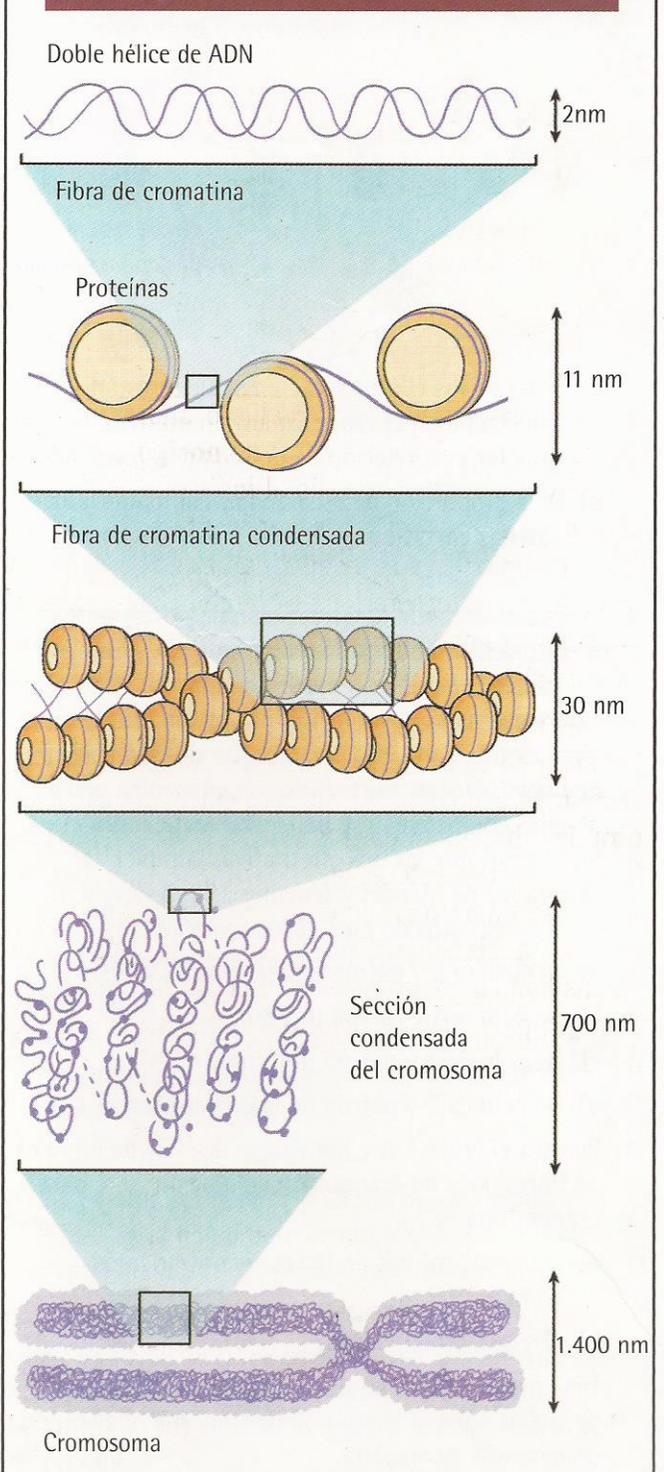
CROMOSOMAS: pequeñas estructuras celulares que se originan por el enrollamiento de la cromatina del núcleo poco antes de la división celular.

CROMATINA: ADN asociado a proteínas. Se encuentra esparcido, sin ningún tipo de organización, en el núcleo de las células que se hallan en reposo.

3.2 Cromosomas y genes

Cada gen tiene una posición específica en el cromosoma donde se ubica, llamada **locus**, y presenta una copia en cada uno de los cromosomas homólogos. Estas copias se denominan **genes alelos**, o simplemente, alelos.

FIG. 10 ENROLLAMIENTO Y CONDENSACIÓN DEL ADN



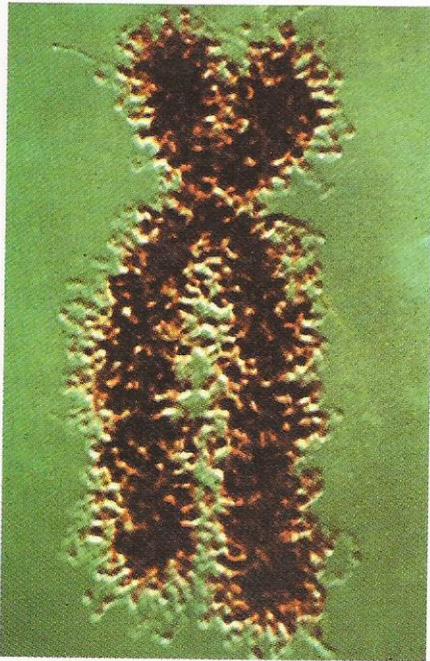


FIG. 11 Cromosoma visto en microscopio.

Estos **alelos** pueden ser iguales o diferentes. Son iguales cuando el organismo es **homocigoto** para ese gen. Son diferentes, cuando el individuo es **heterocigoto** para ese gen. Los genes presentes en un mismo cromosoma se denominan **genes ligados**, y no cumplen la tercera ley de Mendel. Por el contrario, los genes presentes en cromosomas diferentes se denominan **genes independientes**, y en ellos sí se aplica la tercera ley de Mendel.

Normalmente, el número de cromosomas es constante para cada especie y difiere entre una especie y otra. Igualmente, todas las células de cada individuo tienen exactamente el mismo número de cromosomas. Ese número característico de cada especie se escribe $2n$, siendo n el número de parejas de cromosomas homólogos, y se denomina **número diploide**. Por ejemplo, como veremos más adelante, los humanos tenemos 23 pares de cromosomas homólogos, por lo que nuestro número diploide es $2n = 46$.

DATOS curiosos

✓ La cromatina extendida de una célula humana mide más de dos metros. Si se extendiera todo el ADN de todas las células de una sola persona y se pusiera en línea recta, le daría 552.000 vueltas a la Luna.



Las únicas células del organismo que tienen un número cromosómico diferente son las células sexuales ya que, luego de la meiosis, cada célula presenta la mitad de la información genética de la célula madre, es decir n cromosomas. Esto se debe a que dos células sexuales se unirán posteriormente para formar de nuevo un organismo diploide, $2n$.

3.2.1 La aparición de los cromosomas

Cuando la célula va a dividirse, la **cromatina** presente en su núcleo se enrolla sobre sí misma y da lugar a los **cromosomas**. En realidad, los cromosomas y la cromatina tienen la misma composición química, es decir, ADN y proteínas y sólo se diferencian en el grado de organización que presentan (fig. 10). Mientras la célula está en reposo, período llamado **interfase**, desarrolla una intensa actividad dirigida por el ADN. Al final de la **interfase**, y antes de la división celular, cada molécula de ADN hace una copia exacta de sí misma, de manera que cada célula hija pueda recibir una copia entera e idéntica del ADN de la célula madre. Para que ocurra la división celular, mitosis o meiosis, la cromatina se condensa y se hacen visibles los cromosomas.

En el esquema de la página siguiente, puedes apreciar la comparación entre los procesos de mitosis y meiosis. Verás cómo la forma de repartirse los cromosomas y el número de estos en las células hijas es distinto en los dos procesos.

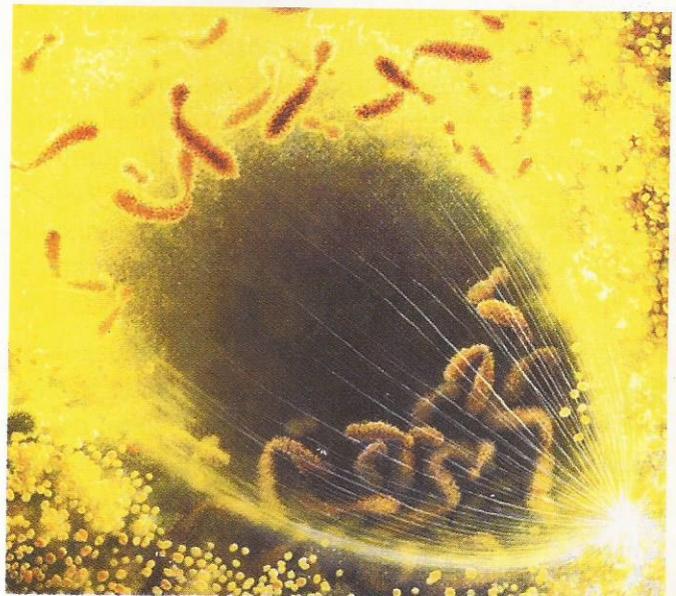
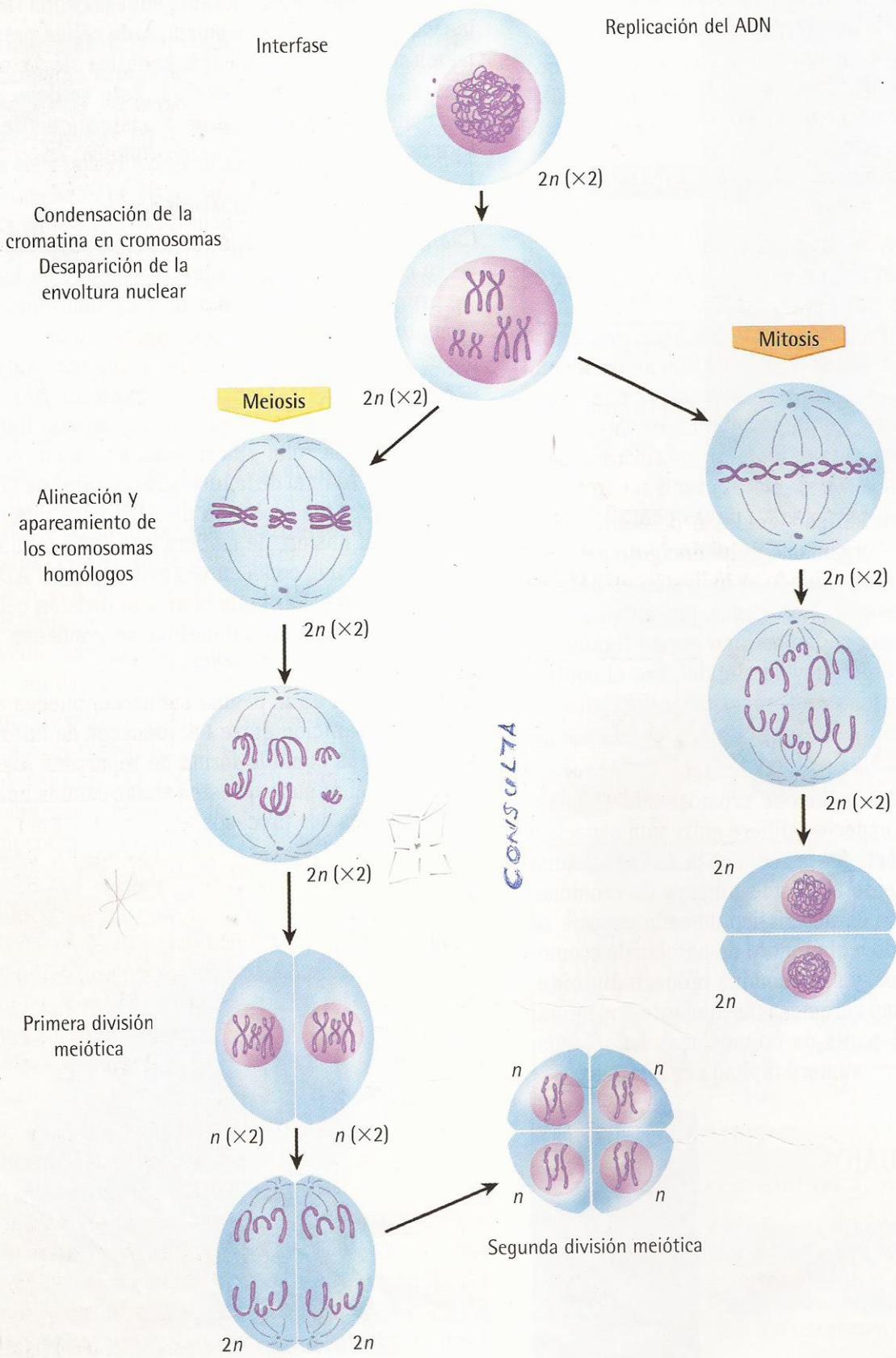


FIG. 12 División celular observada a través de un microscopio electrónico.

FIG. 13 COMPARACIÓN ENTRE MITOSIS Y MEIOSIS



3.2.2 Diversidad de gametos

Cuando la célula se divide por mitosis, el resultado son dos células hijas exactamente iguales a la célula madre. Por el contrario, en la meiosis se obtienen cuatro células, llamadas **gametos**, que tienen la mitad de la información genética de la madre y son diferentes entre ellas (*fig. 13*). A continuación veremos qué ocurre durante la meiosis para que resulte tal diversidad de gametos.

Durante la primera división meiótica, los pares de cromosomas homólogos se localizan en el centro de la célula en la zona ecuatorial uno al lado del otro, en estrecho contacto, y se dan varios puntos de contacto entre ellos. Estos puntos se llaman **quiasmas** y permiten un intercambio de material genético entre los cromosomas homólogos. Este intercambio genético se denomina **recombinación genética** y hace que algunos genes presentes en el mismo cromosoma se separen, y se formen nuevas combinaciones (*fig. 15*). Posteriormente, cualquiera de los dos cromosomas homólogos migra hacia una de las células en formación.

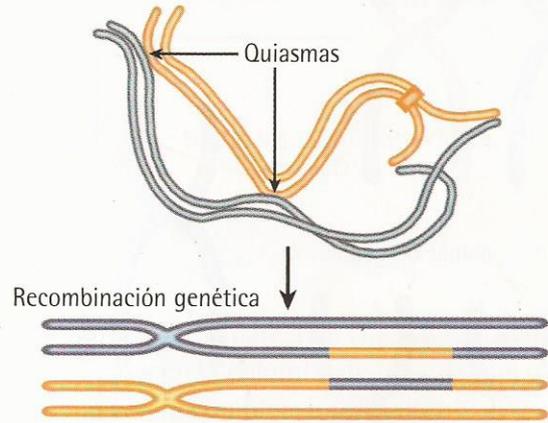
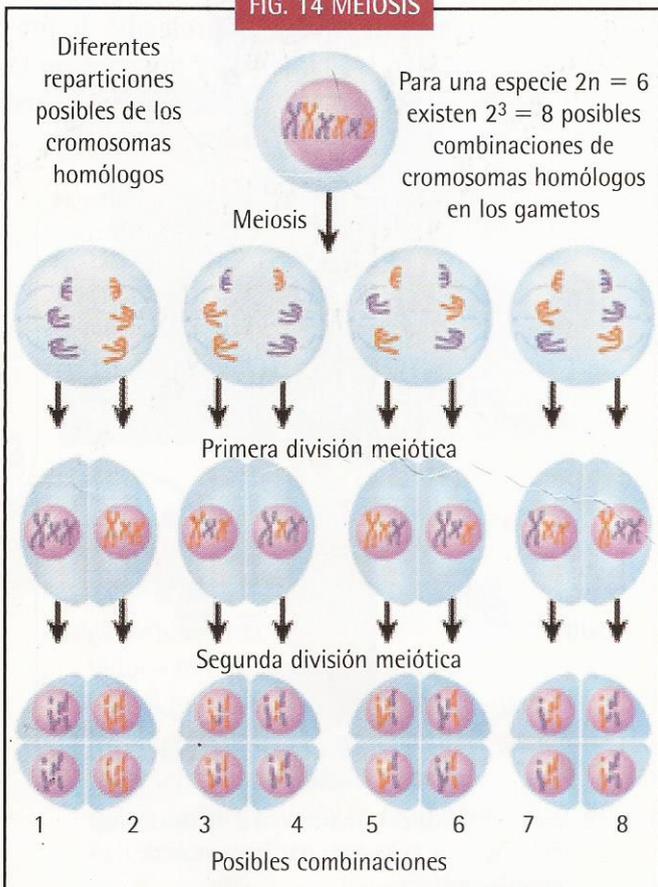


FIG. 15 Recombinación genética gracias a los quiasmas que ocurren entre cromosomas homólogos.

En la segunda división meiótica, cada cromosoma se separa en dos partes y cada parte migra hacia uno de los gametos. Sin tener en cuenta la recombinación, existe un altísimo número de posibles combinaciones de cromosomas que puede tener cada gameto (*fig. 14*). Si una especie tiene 23 pares de cromosomas, como nosotros, cada gameto tiene $2^{23} = 8.388.608$ posibles combinaciones de cromosomas. Si consideramos la formación del cigoto, que es el resultado de la unión de cualquiera de las combinaciones de ambos padres, tendríamos $2^{23} \times 2^{23}$ que es aproximadamente 70 billones. Tu combinación de cromosomas es pues una de 70 billones de posibles combinaciones.

Si consideramos además la posibilidad de recombinación genética entre los cromosomas homólogos, podemos decir fácilmente que somos únicos en el mundo. Las especies que poseen mayor número de cromosomas pueden dar lugar a más tipos de gametos diferentes y a una descendencia más diversa, que es la clave para la adaptación al ambiente y para la supervivencia. En consecuencia, un gran número de cromosomas representa una gran ventaja evolutiva.

FIG. 14 MEIOSIS



3.2.3 Cálculo de la distancia génica

Entre mayor sea la distancia entre dos genes de un mismo cromosoma, mayor será la probabilidad de que ocurra un **quiasma**, o punto de contacto, en el espacio entre ellos y por tanto, recombinación génica. De esta forma, la distancia entre dos genes se puede calcular por su frecuencia de recombinación (fig. 16).

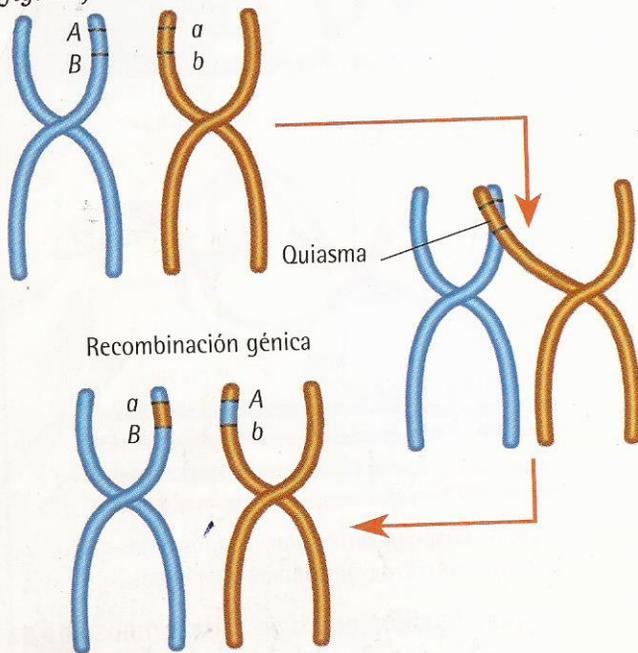


FIG. 16 Recombinación entre dos genes. Entre más separados estén los dos genes en el cromosoma, más posiblemente ocurrirá recombinación génica entre ellos.

Si dos genes *AB*, situados en un cromosoma, se recombinan con sus alelos recesivos *ab*, localizados en el cromosoma homólogo, para dar los recombinantes *aB* y *Ab* con una frecuencia del 20%, decimos que están separados por una distancia de 20 unidades. Esta unidad se denomina **centimorgan**.

Si calculamos la frecuencia de recombinación de distintos genes de un cromosoma podemos establecer su posición relativa y dibujar un mapa genético con las distancias entre ellos.

Por ejemplo, si tenemos tres genes *ABC* con distancias $AB = 12$ centimorgans, $BC = 7$ centimorgans y $AC = 5$ centimorgans, podemos establecer el siguiente mapa génico (fig. 17).

En la figura 18 puedes observar un mapa cromosómico de la mosca de la fruta, a partir de su frecuencia de recombinación.

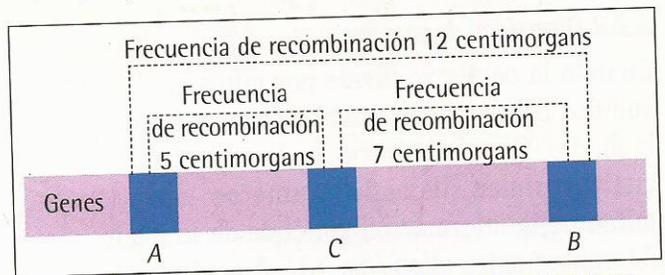


FIG. 17 Mapa génico de un cromosoma con tres genes y sus distancias en centimorgan.

3.3 Caracteres poligénicos

Algunas características no son determinadas por la expresión de un solo gen, como las que hemos visto hasta ahora, sino que son el resultado de la expresión acumulada de muchos genes combinados. Estas características, llamadas **caracteres poligénicos** o **caracteres multifactoriales**, se expresan en rasgos continuos, como la altura, el peso y la cantidad de leche, entre otros. Los criadores pueden usar esta característica en animales de cría para seleccionar artificialmente estas poblaciones, lo cual les permite aumentar la producción de los animales con el tiempo. Por ejemplo, si seleccionan durante varias generaciones las vacas con mayor producción de leche podrán aumentar no sólo el promedio de producción sino también los máximos y mínimos de la población. Esto es posible solamente con caracteres poligénicos.

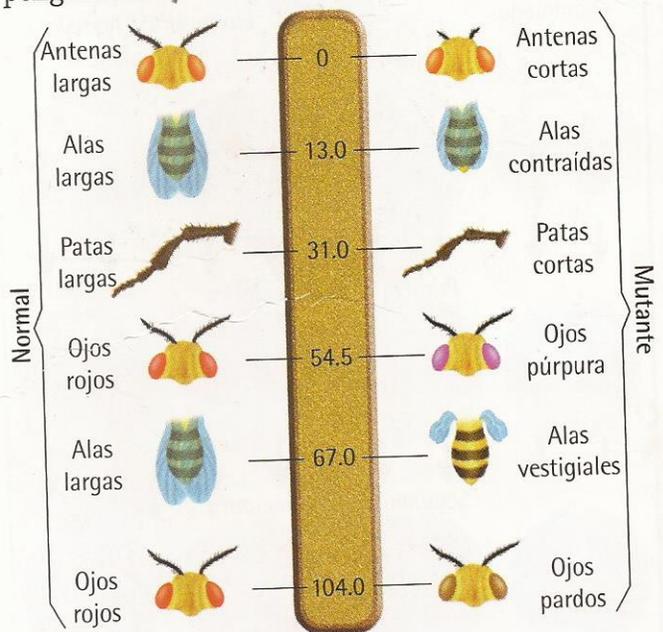


FIG. 18 Mapa genético del cromosoma 2 de *Drosophila melanogaster*, calculado por frecuencia de recombinaciones.



PROPORCIÓN GENOTÍPICA

OBJETIVO

Comprender, a través de un juego de probabilidades, por qué las proporciones genotípicas de la F_2 descendiente de una F_1 heterocigota en un solo carácter es de 1:2:1, así:

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

MATERIALES

- Cien cuadrados de cartulina negra de 2×2 cm.
- Cien cuadrados de cartulina blanca de 2×2 cm.
- Una bolsa que no sea transparente, en la cual quepan cómodamente todos los cuadrados de cartulina.

PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS

1. Echa todos los cuadrados dentro de la bolsa y mézclalos muy bien.



2. Al azar, saca una pareja de cuadrados. Luego, haz una marca en la columna de la tabla que corresponde con la combinación resultante.

Genotipos		
AA (negra negra)	Aa (negra blanca)	aa (blanca blanca)
1	1	

3. Repite el mismo procedimiento hasta completar 40 parejas.

4. Cuenta el número de parejas de cada genotipo: AA, Aa y aa.

5. Repite EL PROCEDIMIENTO #3 HASTA COMPLETAR 60 PAREJAS.

CONCLUSIONES

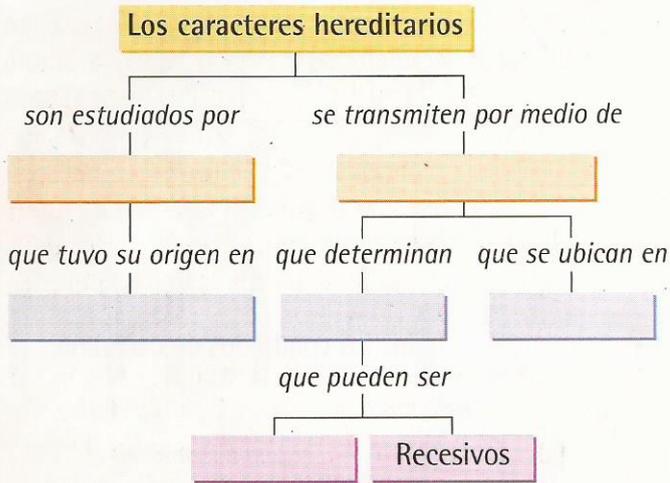
1. ¿Por qué el hecho de realizar un cruce entre individuos heterocigotos de la F_1 se puede comparar con el hecho de sacar parejas de una bolsa con el mismo número de cartulinas de cada color? ¿Qué representa cada pareja? ¿Por qué, si para dar origen a un organismo se requieren dos padres, en este caso se utiliza una sola bolsa?

¿Qué relación encuentras entre los promedios obtenidos en el juego y los resultados esperados en una F_2 real?

2. Demuestra con los resultados logrados y tus conocimientos de álgebra que este cruce de Mendel entre heterocigotos cumple la expresión algebraica $(A + a)^2$.

CONSTRUCCIÓN DE CONCEPTOS

1 Completa el siguiente mapa conceptual.



2 Explica las diferencias que hay entre:

- Codominancia y dominancia incompleta.
- Genotipo y fenotipo.

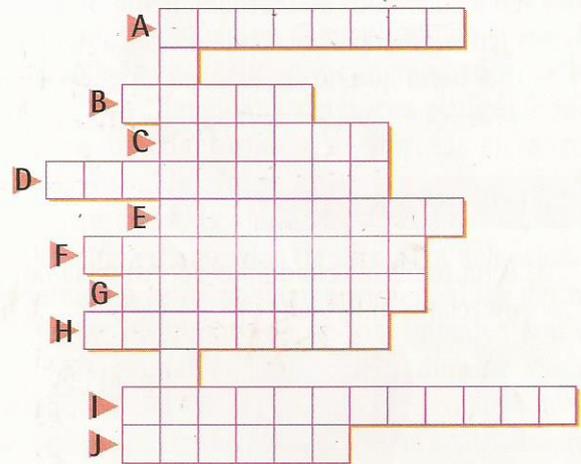
3 Observa el cuadro y responde:

Cruces	Plantas F ₁
Flores axiales y terminales	Todas axiales
Flor púrpura y flor blanca	Todas púrpura
Semilla lisa y semilla rugosa	Todas lisas
Semilla amarilla y semilla verde	Todas amarillas
Vaina lisa y vaina rugosa	Todas lisas
Vaina verde y vaina amarilla	Todas verdes
Tallos altos y tallos enanos	Todos altos

a) ¿Cuál de las leyes de Mendel se comprueba con los resultados observados en el cuadro?

- Para cada caso, ¿cuál es el carácter dominante y cuál es el carácter recesivo?
- ¿Qué se puede esperar si se cruzan entre sí los descendientes de "todas lisas" con los descendientes de "todas altas"?
- ¿Cuál sería la representación del genotipo para "todas púrpura" y "todas axiales"?

4 Resuelve el siguiente palabragrama.



- Rama de la biología que estudia la transmisión y la descendencia de los caracteres hereditarios.
- Segmentos de ADN que poseen la información para producir una proteína que cumple funciones específicas en el organismo.
- Célula sexual que contiene la mitad de la información hereditaria de los padres.
- Pareja de cromosomas con igual información hereditaria.
- Carácter, factor o característica de un individuo que se manifiesta o se expresa en menor proporción en la F₂.
- Carácter, factor o característica de un individuo que se manifiesta o se expresa en mayor proporción en la F₂.
- Manifestación externa de los caracteres hereditarios.
- Conjunto de todos los genes de un organismo.
- Genotipo que posee un gen dominante y otro recesivo en el par alelo.
- Segmento de ADN dispuesto en serie lineal y ordenado en un cromosoma.

CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES

5 Responde:

- a) ¿Cuál es el significado de la segunda ley de Mendel o ley de la segregación?
- b) ¿En qué casos no se cumple la tercera ley de Mendel? Justifica tu respuesta.
- c) ¿Cómo influye la meiosis en la diversidad de los gametos y por tanto en la herencia de caracteres?

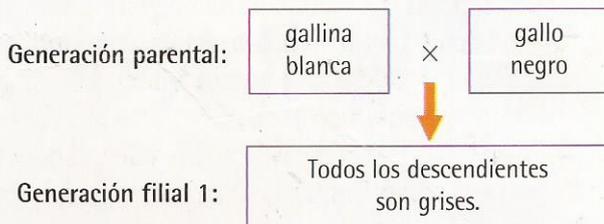
6 Un genetista está estudiando el gen que determina la presencia de una enzima llamada A2 en plantas de trigo. Los resultados obtenidos al realizar tres cruces distintos se resumen en la siguiente tabla:

	Enzima A2	
	Presencia	Ausencia
Cruce 1	434	160
Cruce 2	54	50
Cruce 3	132	33

A partir de los datos obtenidos, responde:

- a) ¿Dirías que el gen que produce la enzima A2 es dominante o recesivo?
- b) ¿Cuáles serían los genotipos de los progenitores en cada cruzamiento?

7 Explica y justifica el resultado del siguiente cruce:



8 Justifica las siguientes afirmaciones.

- a) Gracias a la meiosis podemos decir que somos únicos en el mundo.
- b) Entre más separados estén los dos genes en el cromosoma, más posiblemente ocurrirá recombinación génica entre ellos.

CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES Y PREDICCIONES

9 Resuelve y esquematiza las siguientes situaciones problemáticas:

- a) Si A es dominante sobre a, ¿qué proporciones fenotípicas presentaría la descendencia de los siguientes cruces: $Aa \times aa$; $Aa \times Aa$; $AA \times Aa$?
- b) Si tienes un organismo que expresa el fenotipo dominante, A, pero no sabes si es homocigoto o heterocigoto, ¿qué cruce podrías hacer para aseverarlo? ¿Cuáles serían las proporciones obtenidas del cruce?

10 En ciertos animales, los genes que determinan el largo y el color del pelo son independientes y están situados en distintos cromosomas. El pelo corto y el color negro son alelos dominantes, mientras que el pelo largo y el color café son alelos recesivos. Un animal macho de pelo largo y de color negro, cuyo padre tenía el pelo de color café, se cruzó con una hembra de pelo corto de color café, el padre de ella tenía pelo largo.

- a) ¿Cuál es la probabilidad (%) de que el primer hijo sea de pelo corto y color negro?
- b) ¿Cuál es la probabilidad (%) de que los hijos sean de pelo largo y color café?
- c) ¿Existe la posibilidad de tener hijos con las características recesivas, tanto para el color como para el tamaño del pelaje? Justifica tu respuesta.

11 En busca de obtener una mejor cosecha, un agrónomo cruzó guisantes que tienen la vaina de color verde, con otros guisantes productores de vainas amarillas. De un total de 8.440 vainas obtenidas en la F_2 , 5.970 fueron verdes y 2.850, amarillas. Utiliza los símbolos B y b para representar los genes alelos correspondientes.

- a) Escribe el genotipo de la generación paterna (P).
- b) Representa un cruce entre dos plantas paternas para obtener la primera generación (F_1) y describe la proporción genotípica y fenotípica.
- c) Representa un cruce entre dos plantas de la primera generación filial (F_1), o la autofecundación de una de ellas y resume los resultados esperados en términos de proporción genotípica y fenotípica.