

TEMA 3. LA HERENCIA GENÉTICA.

1.- LOS INICIOS DE LA GENÉTICA

Desde el Neolítico, el ser humano ha manipulado a animales y plantas por medio de la domesticación y el cultivo respectivamente. Ha modificado la herencia, sin saberlo, al determinar los cruzamientos con el fin de seleccionar las características que le interesaban; por ejemplo, vacas que dan más leche o granos de trigo más grandes.

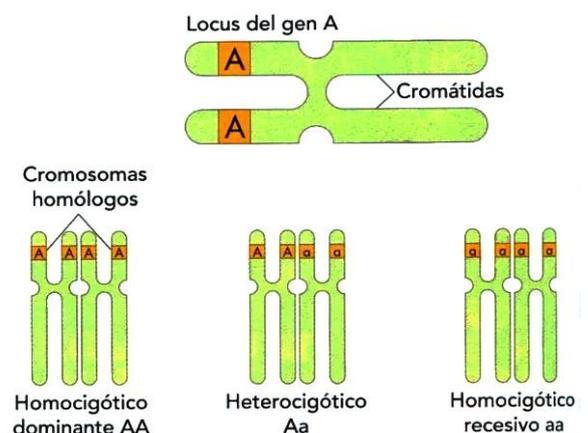
La genética como ciencia comenzó hace unos ciento cincuenta años con Gregor Mendel, que halló unas reglas que explican cómo se transmite la herencia entre progenitores y descendientes. Mendel publicó su modelo en 1865, pero los científicos de la época no le dieron la importancia que tenía. A comienzos del siglo XX se redescubrieron sus trabajos y se definieron los conceptos básicos de la genética formal.

La información que se transmite de generación en generación, es decir, que se hereda, es la **información genética**. Su portador es el ADN, biomolécula formada por nucleótidos. La transmisión de los caracteres que contiene esa información se lleva a cabo durante el proceso de la reproducción; ocurre entre un ser vivo y sus descendientes, y constituye lo que llamamos **herencia biológica**.

La genética estudia todo lo referente a la herencia biológica, los genes y su expresión en los organismos. Mendel realizó un trabajo de extraordinaria calidad científica, hizo un preciso diseño experimental y estableció un modelo para explicar la herencia, que sus descubridores posteriormente llamaron «leyes». Después se definieron un conjunto de conceptos (como gen, genotipo, fenotipo, etcétera) que consolidaron la **genética clásica, formal o mendeliana**. Aunque al comienzo de siglo XX no se sabía de qué sustancia estaban hechos los genes, T. H. Morgan demostró que se localizaban en los **chromosomas**, estructuras del núcleo celular.

2.- TÉRMINOS Y CONCEPTOS BÁSICOS

- **Chromosomas.** Estructuras del núcleo de la célula eucariota que contienen el material genético en forma de cromatina, que está compuesta por ADN y proteínas.
- **Gen.** Unidad funcional de la herencia; son segmentos de ADN que controlan las estructuras y funciones celulares. lo que Mendel denominó factores hereditarios.
- **Locus.** Lugar concreto del cromosoma donde está situado cada gen.
- **Genotipo.** Constitución genética del individuo referida a un carácter o conjunto de genes que viene de sus progenitores. Se representa con letras, por ejemplo: **AA, Aa, aa**.
- **Fenotipo.** Conjunto de caracteres observables de un individuo, o lo que es lo mismo, la expresión externa del genotipo resultado de su interacción con el ambiente. Por ejemplo, puede ser el color de un guisante: amarillo, verde.
- **Alelo.** Variante que puede presentar un gen (carácter) en un determinado locus de cromosomas homólogos. Se representa mediante una letra, por ejemplo, **A** (dominante) o **a** (recesivo).
- **Homocigótico o raza pura.** Célula o individuo que tiene alelos idénticos. Ejemplos: **AA** (homocigótico dominante), **aa** (homocigótico recesivo).
- **Heterocigótico o híbrido.** Célula o individuo que porta alelos diferentes para un cierto carácter. Ejemplo: **Aa**.



3.- LAS LEYES DE MENDEL

Gregor Mendel trabajó con varias características del guisante, a las que llamó caracteres, ya que en su época se desconocía la existencia del ADN y, por tanto, de los genes. Para llevar a cabo los experimentos, eligió la planta del guisante, una especie fácil de manipular y que se autopolinizaba; es decir, que se cruzaba con ella misma. Eligió características que resultaban fácilmente distinguibles, como el aspecto y color de la semilla, el color y la forma de la vaina, el color de la flor, etc.

Mendel realizó siempre el mismo esquema de cruzamientos:

- ✓ Cruzaba dos variedades puras que diferían en uno o varios caracteres a las que llamó generación parental (P).
- ✓ Tras observar las características de las plantas híbridas resultantes, que llamó primera generación filial (F1), dejaba que estas se autofecundaran.
- ✓ Observaba las características de las plantas obtenidas, a las que llamó segunda generación filial (F2).

Contaba minuciosamente los miles de guisantes que obtenía de los cruces que realizaba y encontró una relación matemática que le permitió extraer reglas que podían explicar la transmisión de los caracteres en la herencia.

Las ideas aportadas por Mendel y Morgan han permitido establecer algunas conclusiones:

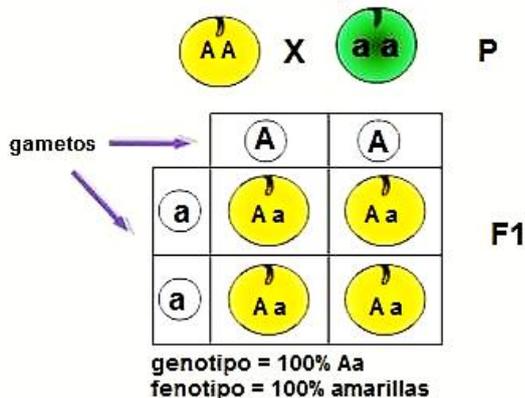
- Un carácter genético está determinado por una pareja de factores: genes.
- Cada progenitor transmite los genes a través de los cromosomas de sus gametos, formados mediante el proceso de división llamado meiosis, en el cual solo uno de los alelos presentes para cada carácter va a cada gameto. Así, un individuo Aa para un carácter formará dos tipos de gametos A y a ; uno AA formará solo gametos A y uno aa formará solo gametos a .
- Durante la fecundación se reúnen los genes de ambos gametos y los descendientes posibles para un carácter serán el resultado de todos los cruces que puedan producirse entre los alelos.
- El sexo está determinado por los genes o los cromosomas en la mayoría de los organismos vivos.

Cada carácter genético se transmite a la descendencia según las denominadas **reglas o leyes de Mendel** y para determinar los genotipos de los descendientes, se emplea un cuadro de Punnett. En uno de los ejes del cuadro de Punnett se representan los gametos de un progenitor con sus alelos; en el otro, los correspondientes al segundo progenitor. A continuación, se combinan los alelos para obtener todos los genotipos posibles. La proporción de genotipos se calcula dividiendo cada genotipo entre el total obtenido.

1ª Ley de Mendel o Principio de uniformidad.

Cuando se cruzan variedades puras que difieren en un único carácter, todos los híbridos formados en la primera generación filial (F1) son idénticos e iguales al progenitor dominante.

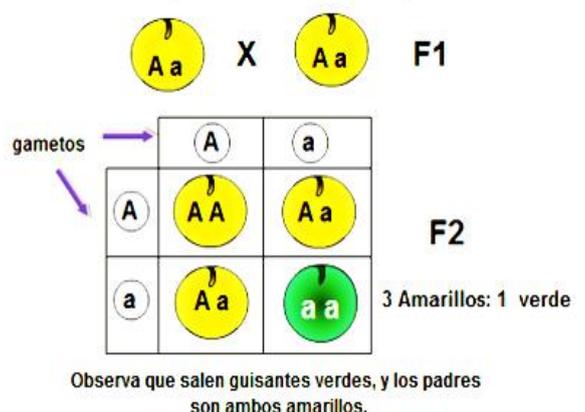
1ª Ley: Los descendientes del cruce entre dos razas puras son todos iguales



2ª Ley de Mendel o Principio de segregación.

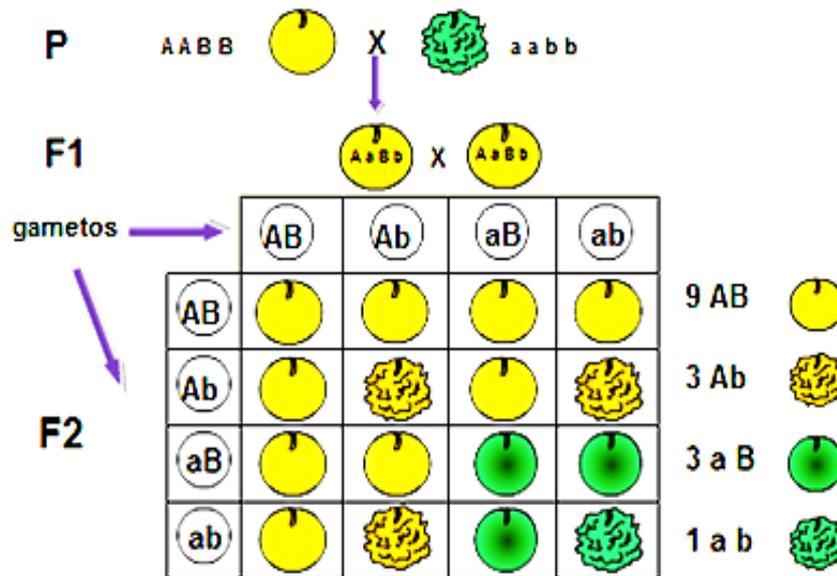
Los caracteres recesivos que no se manifiestan en la primera generación filial o F1 reaparecen en la segunda generación F2, en la proporción de 3:1; es decir, 3 dominantes frente a 1 recesivo

2ª Ley de Mendel: Los factores hereditarios o alelos de un mismo carácter se separan cuando se forman los gametos.



3º Ley de Mendel o Principio de segregación independiente. Cuando se cruzan variedades puras que difieren en más de un carácter, estos segregan independientemente, apareciendo en la F2 todas las combinaciones posibles para esos caracteres.

3ª Ley: Los genes que determinan cada carácter se transmiten independientemente



Observa la F2, han aparecido guisantes con los caracteres de ambos abuelos:

Ejercicios resueltos:

1. En los perros de la raza pastor alemán, las orejas rectas son dominantes frente a las orejas caídas. Representa el cruzamiento de una hembra homocigótica de orejas rectas con un macho homocigótico de orejas caídas.

- 1) Identificamos al carácter dominante (orejas rectas, «O») y al carácter recesivo (orejas caídas, «o»).
- 2) Identificamos al homocigótico dominante (orejas rectas, «OO») y al homocigótico recesivo (orejas caídas, «oo»).
- 3) Representamos el cruzamiento y las probabilidades en los genotipos resultantes en el cuadro de Punnett.

P: HEMBRA OO X MACHO oo

F1: Oo

H	M	O	O
o		Oo (1/4)	Oo (1/4)
o		Oo (1/4)	Oo (1/4)

Todos los individuos de la F1, el 100 %, son heterocigóticos con el carácter dominante «orejas rectas». Este cruzamiento cumple la primera ley de Mendel, ya que de dos razas puras se ha obtenido descendencia uniforme.

2. Además de tener en cuenta el carácter «forma de las orejas» en la raza de perros pastor alemán, vamos a fijarnos en el pelaje, donde es dominante el pelo corto frente al pelo largo. Cruzamos la siguiente pareja: un macho y una hembra, ambos heterocigóticos dominantes de orejas rectas y pelo corto (OoPp), ¿qué probabilidades genotípicas y fenotípicas tendrá su descendencia?

- 1) Identificamos los caracteres dominantes (orejas rectas, «O»; pelo corto, «P») y los caracteres recesivos (orejas caídas, «o»; pelo largo, «p»).
- 2) Identificamos al heterocigótico dominante (orejas rectas, «Oo»; pelo corto, «Pp»).
- 3) Representamos el esquema del cruzamiento y el cuadro de Punnett.

F1: HEMBRA OoPp X MACHO OoPp

F2: OOPP, OOPp, OoPP, ooPP, Oopp, OoPp, ooPp, oopp

H	M	OP	Op	oP	op
OP		OOPP (1/16)	OOPp (1/16)	OoPP (1/16)	OoPp (1/16)
Op		OOPp (1/16)	OOpp (1/16)	OoPp (1/16)	Oopp (1/16)
oP		OoPP (1/16)	OoPp (1/16)	ooPP (1/16)	ooPp (1/16)
op		OoPp (1/16)	Oopp (1/16)	ooPp (1/16)	oopp (1/16)

La probabilidad de cada genotipo será: OOPP, 1/16; OOPp, 1/8; OoPP, 1/8; OoPp, 1/4; OOpp, 1/16; Oopp, 1/8; ooPP, 1/16; oopp, 1/16; ooPp, 1/8. Y de cada fenotipo: 9/16 orejas rectas y pelo corto; 3/16 orejas rectas y pelo largo; 3/16 orejas caídas y pelo corto; y 1/16 orejas caídas y pelo largo.

Ejercicios:

1. Del cruce de dos razas puras de plantas de guisantes, una con flores púrpuras y otra con flores blancas, se obtuvo una descendencia de plantas con flores púrpuras. Tras la autofecundación de las plantas obtenidas en la primera generación, se encontró una descendencia con flores púrpuras y con flores blancas. Indica los genotipos y los fenotipos de todas las plantas (parentales, F1 y F2) y las probabilidades de que surjan flores púrpuras o flores blancas en la segunda generación filial.

2. Imagina que trabajas en un invernadero y, por equivocación, has cruzado una planta homocigótica de tallo normal (TT) con una homocigótica de tallo enano (tt). Sabiendo que el tallo normal es un carácter dominante sobre el tallo enano, contesta a las siguientes preguntas:
 - a) ¿Cómo prevés que sean los genotipos y fenotipos de la generación F1?
 - b) Si vuelves a cruzar los ejemplares de esa F1, ¿cómo serán los genotipos y fenotipos de la F2?
 - c) Representa tus resultados en cuadros de Punnett, indicando los porcentajes y probabilidades de las combinaciones.

3. El carácter relativo al color de piel de una especie de rana está determinado por dos genes alelos, uno dominante para el color verde («A») y uno recesivo para el color gris («a»). ¿Cuáles son los genotipos y fenotipos de la descendencia de los siguientes cruces? Indica en un cuadro de Punnett sus porcentajes y probabilidades.
 - a) Un macho homocigótico verde con una hembra homocigótica gris.
 - b) Un macho homocigótico gris con una hembra homocigótica verde.
 - c) ¿Te parece que el sexo tiene influencia en la transmisión de este carácter?

4. En los humanos, el pelo oscuro («O») es dominante sobre el pelo rojo («o»). Una mujer y un hombre de pelo oscuro tuvieron dos hijos, uno de pelo oscuro y otro de pelo rojo.
 - a) ¿Qué genotipos presentan los progenitores y su descendencia?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad de que la descendencia de la pareja tenga el pelo oscuro o rojo?
 Representa tus resultados en cuadros de Punnett, indicando los porcentajes y probabilidades de las combinaciones. ¡Pide ayuda a las matemáticas!

5. El alelo de ojos oscuros («A») es dominante frente al alelo de ojos claros («a»), que es recesivo. Basándote en las leyes de Mendel, y pensando en una pareja que desea tener un bebé, contesta a las siguientes preguntas:
 - a) ¿Existe la posibilidad de que el bebé tenga los ojos claros si ambos progenitores tienen los ojos oscuros? ¿Qué genotipos deberán presentar sus padres?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad de que el bebé tenga los ojos claros si el padre los tiene oscuros y la madre también claros? ¿Y los ojos oscuros? Representa los porcentajes y probabilidades obtenidas en un cuadro de Punnett. ¡Pide ayuda a las matemáticas!

4.- GENÉTICA POSTMENDELIANA

4.1.- Excepciones a las leyes de Mendel.

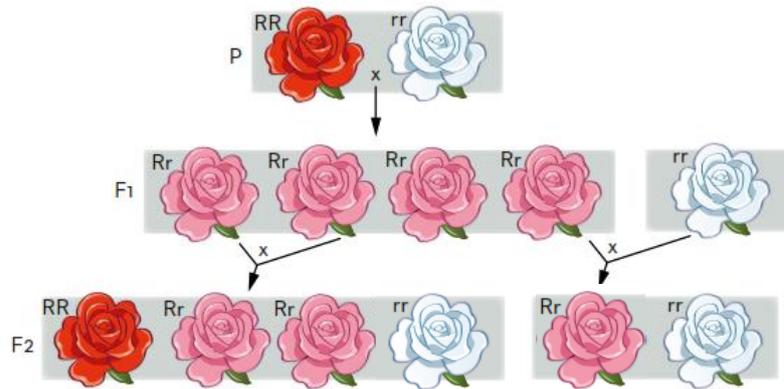
Con el avance del conocimiento genético se han descubierto muchos caracteres cuya herencia no se puede explicar con las leyes de Mendel. Algunas excepciones son:

a) La herencia intermedia

A diferencia de los caracteres estudiados por Mendel, existen genes en los que sus alelos presentan una dominancia incompleta, de manera que no existen alelos dominantes ni recesivos.

En la herencia intermedia los alelos se expresan por igual en el fenotipo. El individuo heterocigótico o híbrido resultante manifiesta un nuevo carácter, que mezcla la información de los dos alelos parentales.

Un ejemplo de este tipo es la herencia intermedia que presenta el color de la flor del don diego de noche. En esta planta, el cruzamiento entre un homocigoto (**RR**) con flores rojas y el homocigoto (**rr**) con flores blancas produce una F1 de plantas heterocigotas (**Rr**) con flores que presentan un fenotipo intermedio, de color rosa.



Ejercicio:

6. Cruzamos plantas de flores rosas con plantas de flores rojas de la especie dondiego de noche. Sabemos que este carácter está determinado por dos alelos, rojo («R») y blanco («r»), con herencia

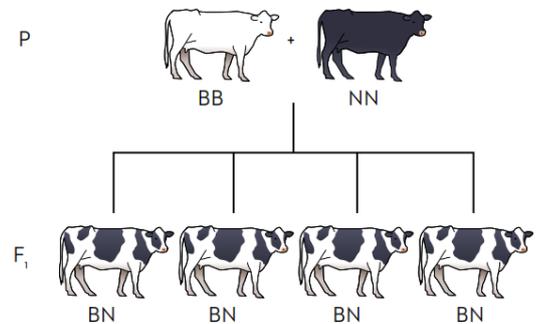
intermedia. ¿Cómo podrán ser las plantas descendientes? Haz el esquema del cruzamiento e indica los porcentajes y probabilidades de los genotipos.

b) La codominancia

En codominancia se expresan a la vez en el fenotipo del individuo ambos alelos, a diferencia de la herencia intermedia, donde se expresa un fenotipo intermedio nuevo.

En este caso los alelos se denominan codominantes.

El individuo heterocigoto resultante manifiesta los caracteres de los dos progenitores a la vez, pero sin combinarse.



Ejercicio resuelto:

5. Una especie de ganado vacuno puede presentar pelaje negro (N), blanco (B), o con manchas negras y blancas (NB). ¿Qué descendencia se obtendrá de cruzar un toro manchado:

- con una vaca manchada
- con una vaca blanca
- con una vaca negra

Razona los tres cruzamientos.

Los individuos manchados son heterocigóticos, manifestando a la vez el carácter los dos caracteres de pelaje negro (M) y blanco (B), que son codominantes.

El cruce entre un toro y una vaca manchados sería el siguiente:

F1 NB	×	NB		
			N	B
	N		NN (1/4)	NB (1/4)
	B		NB (1/4)	BB (1/4)

Se obtiene 1/4 (25%) de terneros negros, 1/2 (50%) de terneros manchados y 1/4 (25%) de terneros blancos.

Y los cruces entre un toro manchado y una vaca negra, y una vaca blanca serían los siguientes:

F2 NB	×	NN		
			N	B
	N		NN (1/2)	NB (1/2)
	B		NB (1/2)	BB (1/2)

En ambos cruces, obtenemos 1/2 (50%) de terneros manchados y 1/2 (50%) de terneros negros y blancos, respectivamente.

Ejercicio:

7. El cruzamiento de un tipo de flores A de color rojo dominante y un tipo de flores B de color blanco dominante produce un tipo de flor AB de color rojo con manchas blancas, presentando ambas características, ya que los dos caracteres codominantes A y B se expresan a la vez. ¿Qué genotipos y fenotipos presentará la descendencia de

los siguientes tres cruzamientos? Representa los cruzamientos e indica las probabilidades y porcentajes de tus resultados.

- Una flor manchada con una flor blanca.
- Una flor manchada con una flor roja.
- Dos flores manchadas.

c) El efecto ambiente

Los genes actúan en colaboración con los factores ambientales. Estos, en muchos casos, influyen en cómo se expresa el genotipo; es decir, pueden condicionar el fenotipo. La influencia del ambiente se observa muy bien en los gemelos, o sea individuos con genes idénticos; si, por ejemplo, uno es deportista (factor ambiental), su musculatura estará más desarrollada que la de su hermano.

d) El ligamiento y la recombinación.

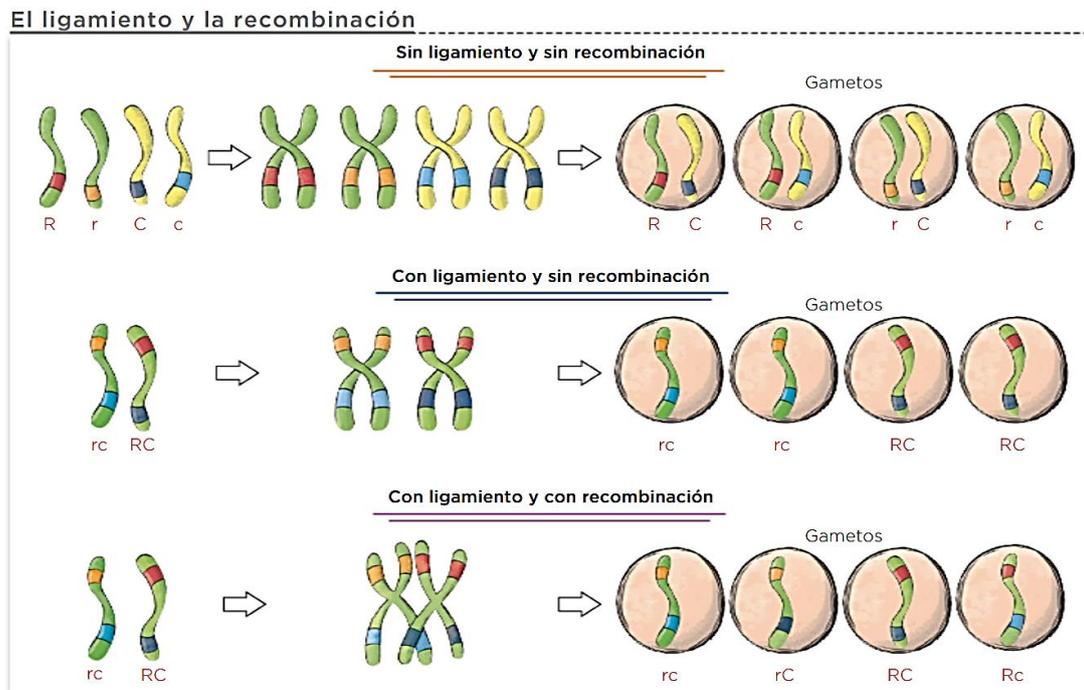
Mendel eligió, sin saberlo, unos caracteres de la planta del guisante que estaban controlados por genes situados en cromosomas diferentes. Este tipo de genes se heredan de forma independiente. Si se estudian genes situados en el mismo cromosoma, se observan excepciones a la tercera ley de Mendel, debido a que estos genes están afectados por dos fenómenos: el ligamiento y la recombinación genética.

-El ligamiento cromosómico

Se dice que los genes que se encuentran en el mismo cromosoma están ligados. Estos genes deben transmitirse en bloque a los descendientes, ya que están en el mismo cromosoma. Por tanto, en este caso, los caracteres no se transmiten de forma independiente.

- La recombinación genética o entrecruzamiento

Como ya sabes, durante la meiosis se producen nuevas combinaciones genéticas debido al entrecruzamiento entre cromosomas homólogos. Este fenómeno hace que, en los cruces, no se obtengan ni las proporciones de una transmisión de genes independiente, ni las esperadas para dos genes ligados.



4.2.- Grupos sanguíneos: alelismo múltiple

Los grupos sanguíneos son un sistema que se creó para poder estudiar y agrupar la sangre de los seres humanos. Estos grupos se categorizan según la presencia (o no) de una serie de moléculas (los antígenos) que encontraremos en la superficie de los glóbulos rojos.

Los dos sistemas más utilizados para categorizar la sangre humana son el sistema AB0 y el sistema Rh. Estos grupos tienen carácter hereditario y siguen un patrón mendeliano de herencia.

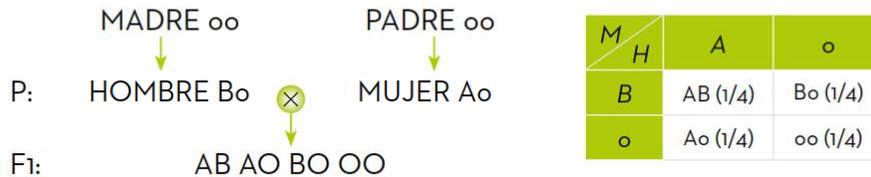
El sistema AB0 fue definido por el biólogo Landsteiner en el año 1901, lo que le hizo merecedor de un Premio Nobel. Es un caso especial de herencia regida por tres alelos: A, B y 0 (que también se suelen representar por I^A , I^B y I^0), que da lugar a cuatro tipos de sangre: A, B, 0 y AB. Esto es debido a que dos de ellos, I^A y el I^B , son codominantes entre sí y ambos son dominantes sobre el tercero I^0 (que por tanto, es recesivo).

Cada persona cuenta con dos alelos, provenientes de su padre y de su madre. Aunque el grupo sanguíneo sólo pueda ser A, B, 0 o AB, tendrá una combinación de genes que podrá ser una de estas opciones: AA, A0, AB, 00, BB y B0. En el momento de la concepción, la nueva vida habrá recibido los alelos que provienen del óvulo y del espermatozoide (es decir, un alelo de su padre y otro de su madre).

Fenotipo	Genotipo
Grupo A	$I^A I^A$ o $I^A I^0$
Grupo B	$I^B I^B$ o $I^B I^0$
Grupo AB	$I^A I^B$
Grupo 0	$I^0 I^0$

Ejercicio resuelto:

6. ¿Cómo podrán ser los hijos de un hombre del grupo B cuya madre era del grupo O, y de una mujer de grupo A cuyo padre era del grupo O?



Las probabilidades y los porcentajes de los genotipos y los fenotipos de su descendencia serán un 1/4 (25 %) del grupo sanguíneo AB (genotipo «AB»), un 1/4 (25 %) del grupo A (genotipo «Ao»), 1/4 (25 %) del grupo B (genotipo «Bo») y 1/4 (25 %) del grupo O (genotipo «oo»).

Años después, el mencionado biólogo descubrió lo que denominó factor Rhesus, que dio lugar al conocido sistema Rh. En este método están involucrados varios antígenos, donde cobra especial importancia el antígeno D. Se trata de un antígeno que la mayoría de las personas (en torno al 85% de los seres humanos) contienen en la sangre, por lo que serán Rh positivas (Rh+). La minoría restante no contiene este antígeno, lo que se denomina Rh negativo (Rh-).

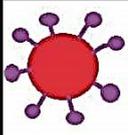
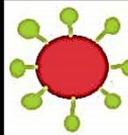
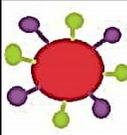
Hoy en día, la sangre de las personas se sigue categorizando en estos dos sistemas combinados y hay que tener cuidado porque no todos los grupos de sangre son compatibles entre sí.

El ejemplo más notable es el de la donación de sangre o la recepción de la misma. Si no atendiésemos a las compatibilidades sanguíneas, nuestro cuerpo reaccionaría contra la sangre recibida, generando anticuerpos para destruir las células sanguíneas del donante. Esto podría tener consecuencias severas para la salud del receptor ya que la reacción inmunitaria que se desencadena causa la rotura de los glóbulos rojos.

El factor Rh se determina genéticamente mediante el alelo **D** para Rh+, que es dominante, y el alelo **d** para Rh-, que es recesivo.

Así, los genotipos y fenotipos posibles para este carácter serán los siguientes:

Genotipo	Fenotipo
DD	Rh+
Dd	Rh+
dd	Rh-

	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO AB	GRUPO O
Glóbulos rojos				
Antígenos en los eritrocitos	Antígeno A	Antígeno B	Antígeno A y B	No hay antígenos
Anticuerpos en el plasma sanguíneo	Anti-B	Anti-A	No hay anticuerpos	Anti-A Anti-B

Grupo sanguíneo	Puede donar a	Puede recibir de
A+	A+, AB+	A+, A-, 0+, 0-
A-	A+, A-, AB+, AB-	A-, 0-
B+	B+, AB+	B+, B-, 0+, 0-
B-	B+, B-, AB+, AB-	B-, 0-
AB+	AB+	Recibe de todos Receptor universal
AB-	AB+, AB-	A-, B-, AB-, 0-
0+	A+, B+, AB+, 0+	0+, 0-
0-	Dona a todos Donante universal	0-

Ejercicios:

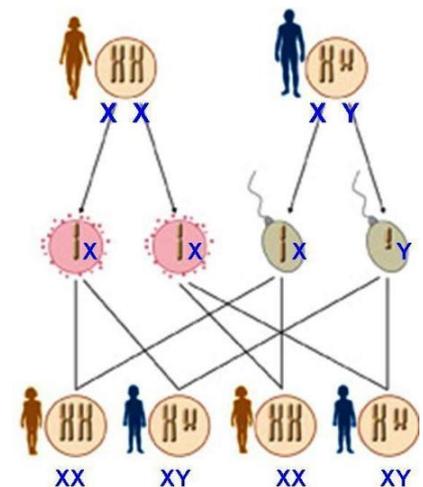
8. ¿Es posible que un hombre del tipo sanguíneo B y una mujer del tipo AB tengan un hijo del tipo O?
9. Los tres hijos de una pareja son de los tipos sanguíneos A, O y AB, ¿cuál es el genotipo de sus padres?
10. Una pareja solo puede tener descendientes del grupo sanguíneo B heterocigóticos o del grupo O. Indica cuál es el genotipo y el fenotipo de la pareja, y la probabilidad de que su descendencia sea del grupo O y del grupo B. Razona las respuestas.
11. Un hombre del grupo sanguíneo B es llevado a juicio por la supuesta paternidad de un niño de grupo sanguíneo O. La madre es del grupo sanguíneo A. Responde a las siguientes preguntas:
 - a) De acuerdo con esos datos, ¿es posible que este hombre sea el padre del niño?
 - b) Si lo fuera, ¿cuáles serían los genotipos de los progenitores?
 - c) ¿Qué genotipo debería tener el hombre para que se descartara su paternidad?
12. Uno de los hijos de una pareja donde la mujer es A+ y el hombre es B+ nace con grupo AB-. El padre no entiende cómo su hijo puede tener un grupo sanguíneo distinto al de él y al de su mujer. ¿Qué le dirías?
13. Otra pareja, con grupos A- (ella) y B+ (él), tienen un hijo. Ella no entiende que su hijo sea B+, igual que su padre, y no tenga nada de su fenotipo. ¿Qué le dirías? ¿Podría alguno de los hijos de la pareja anterior tener descendencia con grupo O-? El 2º hijo de la pareja nace AB-. Ahora es el padre quien se molesta, porque no entiende cómo puede tener su hijo un grupo sanguíneo distinto al suyo y al de su mujer. ¿Qué le dirías?

4.3.- Herencia del sexo

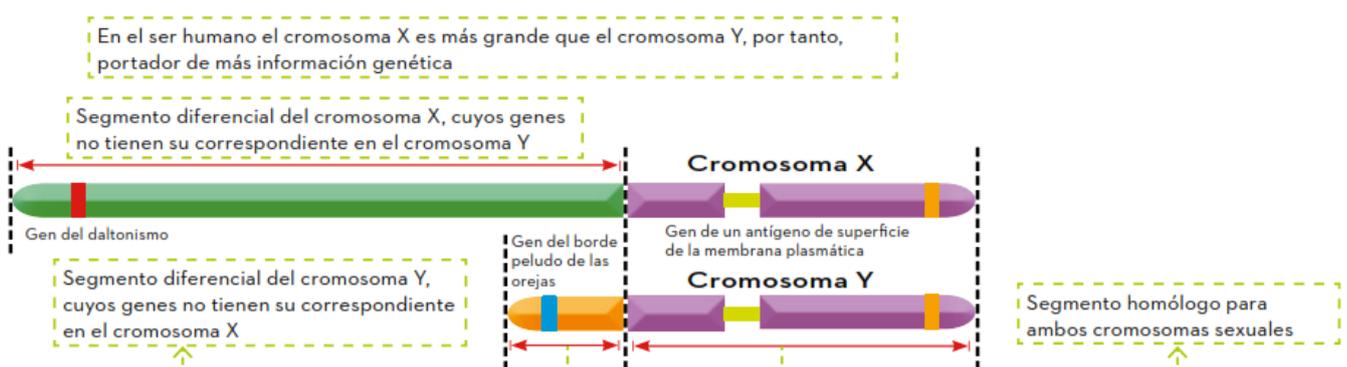
En la mayoría de las especies existen dos series de cromosomas, una pertenece al padre y otra a la madre, estos cromosomas forman parejas llamadas pareja de homólogos. Se ha visto que una pareja de cromosomas homólogos es diferente en el sexo masculino y en el femenino. Estos dos cromosomas se denominan **cromosomas sexuales**.

En mamíferos, el sexo femenino presenta dos cromosomas iguales, a los que se denomina X, y el masculino posee un cromosoma X y otro cromosoma Y. Las hembras son XX, sus gametos (óvulos) son todos iguales. Los machos son XY y pueden formar dos tipos de gametos (espermatozoides) unos X y otros Y.

La probabilidad de tener un hijo varón o hembra es del 50%.

**4.3.- Herencia ligada al sexo**

El cromosoma Y es más pequeño que el X y solo contiene genes que intervienen en el desarrollo del macho. En cambio, el cromosoma X es mayor y contiene más información. Por tanto, el X lleva algunos genes que no tienen alelos en el Y.



La transmisión de estos caracteres se dice que va ligada al cromosoma X o ligada al sexo y siguen una **herencia cruzada**: los individuos masculinos transmiten estos caracteres a sus hijas, que son las que heredan el cromosoma X. Los hijos varones heredan el cromosoma X de la madre. Algunos ejemplos de estos son:

a) Hemofilia:

Es una enfermedad recesiva ligada al cromosoma X. Consiste en un defecto de coagulación de la sangre debido a la falta de algún factor que intervenga en el proceso. De tal manera que el individuo que la padece presenta grandes dificultades para cortar la hemorragia de las heridas que pueda producirse.

Sin embargo, se da la circunstancia que cuando se produce el caso de $X^h X^h$ el efecto es letal. El embrión no llega a término, por esta razón no existen mujeres hemofílicas* sino solamente portadoras, por eso son transmitidas por las hembras y padecidas por varones.

(*Existen determinados tipos de hemofilia en la cual el gen no es recesivo sino dominante y entonces sí pueden existir mujeres hemofílicas si llevan dicho gen en uno solo de sus cromosomas X).

Fenotipo	Genotipo
Mujer normal	XX
Mujer portadora sana	XX^h
Mujer hemofílica	$X^h X^h$ inviable
Hombre normal	XY
Hombre hemofílico	$X^h Y$

b) Daltonismo:

Es un defecto visual por el cual no se distinguen determinados colores, fundamentalmente el rojo y el verde, lo que hace que se confundan entre sí, pues de hecho no se ve ninguno.

Esta enfermedad también se debe a un gen recesivo en el cromosoma X. Los hombres padecen la enfermedad y las mujeres pueden padecerla o bien ser portadoras sanas.

Fenotipo	Genotipo
Mujer normal	XX
Mujer portadora sana	XX^d
Mujer daltónica	$X^d X^d$
Hombre normal	XY
Hombre daltónico	$X^d Y$

Ejercicio resuelto:

7. Un gen recesivo ligado al sexo produce daltonismo en los hombres. Un hombre con visión normal tiene hijos con una mujer heterocigota portadora de daltonismo:

a) ¿Cómo serán los genotipos de los hijos?

El planteamiento del problema es el siguiente:

Genotipo normal: $X^D X^D$ > X^D

Genotipo daltónico: X^d

P: Madre portadora \otimes Padre con visión normal

$X^D X^d$

$X^D Y$

F₁

M \ H	X^D	Y
X^D	$X^D X^D$ (1/4)	$X^D Y$ (1/4)
X^d	$X^D X^d$ (1/4)	$X^d Y$ (1/4)

Los porcentajes y proporciones de los genotipos de la descendencia son los siguientes: 1/4 (25 %) de hijas normales, 1/4 (25 %) de hijas portadoras, 1/4 (25 %) de hijos daltónicos y 1/4 (25 %) de hijos normales.

b) ¿Qué probabilidad hay de que tengan un varón daltónico? 1/4 (25 %).

c) ¿Y de una hija portadora de daltonismo? 1/4 (25 %).

* Herencia influida por el sexo

No se debe confundir con la herencia ligada al sexo.

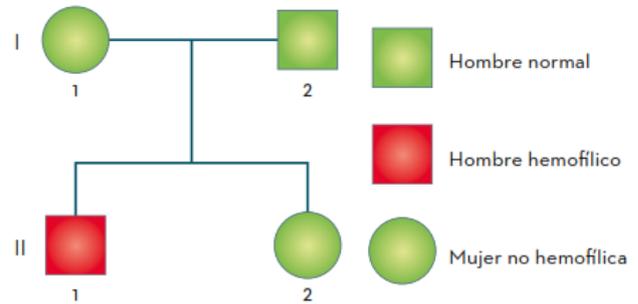
En este tipo de herencia los genes están situados en los autosomas (no en los cromosomas sexuales) pero están influidos por la acción de las hormonas sexuales. Se trata de un tipo de herencia normal, como la de cualquier otro carácter.

Como ejemplos tenemos la calvicie en los humanos o los cuernos en los ovinos.

Ejercicios:

14. Una pareja formada por una mujer y un hombre sanos siente cierta preocupación a la hora de tener hijos, ya que los padres varones de ambos son hemofílicos. ¿Cuál es la probabilidad de que sus descendientes padezcan hemofilia? Representa este emparejamiento con sus porcentajes.
15. ¿Cómo será genotípica y fenotípicamente la posible descendencia de una mujer normal cuyo padre era hemofílico con un hombre hemofílico?
16. ¿Por qué la calvicie es menos frecuente en mujeres que en hombres?
17. ¿Cuál será la probabilidad de que una pareja que ha tenido cinco hijos tenga una hija en un nuevo nacimiento?
18. Una mujer lleva en uno de sus cromosomas X un gen letal recesivo y en el otro el dominante normal. ¿Cuáles serán los genotipos de la descendencia de esta mujer con un hombre normal?
19. A partir del siguiente árbol genealógico, contesta las siguientes preguntas:
- Si el primer hijo de II2 con un hombre normal es hemofílico, ¿cuál es la probabilidad de tener un segundo hijo hemofílico?

Si II1 decide tener descendencia con una mujer normal, no portadora de hemofilia, ¿cuál es la probabilidad de que su primer hijo varón sea hemofílico?



20. Una pareja formada por un hombre (A) daltónico y una mujer (B) portadora del daltonismo tiene tres hijos: un niño normal, un niño daltónico y una niña normal. La mujer (B) tiene dos hermanos varones (uno de ellos daltónico y el otro no) y una hermana que tiene visión normal para los colores. La hermana de la mujer (B) tiene tres hijos: dos niños daltónicos y una niña de visión normal. El padre de estos niños no es daltónico. Ni el padre ni la madre de la mujer (B) son daltónicos.

Construye el árbol genealógico.

Determina el genotipo de cada uno de los individuos que aparecen en el árbol genealógico.

ACTIVIDADES TEÓRICAS:

- A) Establece las diferencias entre:
- a) Gen y alelo.
 - b) Homocigoto y heterocigoto.
 - c) Gen dominante y gen recesivo.
 - d) Codominancia y herencia intermedia
- B) Explica por qué dos organismos con distinto genotipo pueden tener el mismo fenotipo.
- C) Marca con **X** las oraciones verdaderas:
- a) Cuando se cruzan dos variedades puras, una dominante y otra recesiva, para un carácter, todos los descendientes son híbridos e iguales entre sí.
 - b) Para que una planta de guisantes amarillos tenga descendientes con guisantes de color verde debe ser heterocigótica para el gen del color de la semilla.
 - c) Al cruzar dos individuos de razas puras se obtiene una descendencia en la que el 50 % de los descendientes es igual a un progenitor, y el otro 50 %, al otro.
- D) Diferencia entre herencia ligada al sexo y herencia influida por el sexo.

PROBLEMAS

- 1) En la especie humana el frente del pelo en pico depende de un gen dominante («P»), mientras que el gen que determina el pelo recto es recesivo («p»). ¿Cómo podrán ser los hijos y las hijas de un hombre homocigótico de pelo en pico y de una mujer homocigótica de pelo recto? Indica la probabilidad de los genotipos y fenotipos.
- 2) En los carneros, la lana negra se debe a un alelo recesivo, b, y la lana blanca a su alelo dominante, B. Al cruzar un carnero blanco con una oveja negra, en la descendencia apareció un borrego negro. Deduce los genotipos de los parentales y realiza un esquema del cruzamiento.
- 3) En cierto mamífero, el color del pelaje está determinado por un gen con dos alelos, de manera que el alelo del pelaje marrón (M) domina sobre el del pelaje rubio (m).
 - a) Indica los genotipos y los fenotipos de la descendencia de un macho marrón homocigótico y una hembra rubia.
 - b) Haz lo mismo con la descendencia de uno de los machos resultantes del anterior cruce y una hembra rubia.
- 4) Supongamos que en la especie vacuna el pelo colorado domina sobre el berrendo (blanco y negro). Un toro de pelo colorado se cruza con una vaca también colorado, pero cuyo padre era berrendo. Del cruzamiento se obtiene un ternero berrendo y otro colorado. Razonar cómo serán los genotipos del toro, de la vaca y de los dos terneros.
- 5) Cruzando dos moscas grises se obtuvo una descendencia de 153 moscas grises y 49 negras. Indica el genotipo de los progenitores y de las moscas grises de la descendencia.
- 6) Una mujer enana, cuya madre era normal, se casa con un hombre normal. En el supuesto de que este matrimonio tuviera 5 hijos y sabiendo que el enanismo es dominante, indica y razona cuál de las siguientes afirmaciones son correctas:
 - a) Si ninguno de los hermanos mayores es enano, es seguro que el último que nazca lo será.
 - b) Toda la descendencia será enana.

- c) Toda la descendencia será normal.
d) Cada niño que nazca tiene un 50% de probabilidad de ser enano.
- 7) En la especie vacuna, la falta de cuernos F, es dominante sobre la presencia f. Un toro sin cuernos se cruza con tres vacas:
- Con la vaca A, que tiene cuernos, se obtiene un ternero sin cuernos.
- Con la vaca B, también con cuernos, se produce un ternero con cuernos.
- Con la vaca C, que no tiene cuernos, se produce un ternero con cuernos.
Cuáles son los genotipos del toro y de las tres vacas y que descendencia cabría esperar de estos cruzamientos.
- 8) Supongamos que existen plantas con dos variedades para sus frutos: unos dulces y otros amargos, de tal manera que el sabor dulce domina sobre el amargo. Una planta de fruto dulce se cruza con otra de fruto también dulce y la descendencia es toda dulce. Una de estas plantas obtenidas se cruza con otra de fruto amargo y se obtiene la mitad de frutos dulces y la otra mitad amargos. Razonar estos cruzamientos indicando cuales son los genotipos de todas las plantas.
- 9) La cresta en guisante de las gallinas domina sobre la cresta sencilla. Un gallo de cresta en guisante se cruza con dos gallinas. Con una de ellas, que tiene también cresta en guisante, todos los polluelos que nacen presentan cresta en guisante. Con la otra gallina que tiene cresta sencilla, también los polluelos que nacen tienen cresta en guisante. La gallina con cresta en guisante se cruza ahora con un gallo de cresta sencilla y todos los polluelos son también de cresta en guisante. Razona todos los genotipos.
- 10) En relación con un tipo de anemia, se da la situación de que los individuos heterocigóticos la padecen, los homocigóticos dominantes no la presentan y los homocigóticos recesivos no llegan a nacer. ¿Cuáles serían los fenotipos y los genotipos, y sus proporciones, de la F1 de los siguientes cruces?
a) Una pareja de heterocigóticos con anemia.
b) Una persona con anemia con otra que no la padece.
- 11) La calvicie se debe a un gen influido por el sexo, dominante en hombres y recesivo en mujeres. Un hombre calvo, cuyo padre no lo era, se empareja con una mujer con cabello, cuya madre era calva. ¿Qué genotipo tendrá cada individuo citado y qué fenotipo podrán presentar sus hijos e hijas y con qué probabilidad?
- 12) Un varón de ojos azules se casa con una mujer de ojos pardos. La madre de la mujer era de ojos azules, el padre de ojos pardos y tenía un hermano de ojos azules. Del matrimonio nació un hijo con ojos pardos. Razonar cómo será el genotipo de todos ellos, sabiendo que el color pardo domina sobre el azul.
- 13) Si cruzamos flores de color rojo con otras de color blanco, se obtienen flores de color rosa. Si cruzamos dos plantas rosas ¿qué proporción de fenotipos y genotipos cabría esperar?
- 14) En una especie de aves donde hay codominancia para el color de las plumas, el alelo N produce plumas de color negro; el M, plumas de color marrón, y cuando se dan los dos juntos, plumas de color blanco. Explica cómo será el cruce de:
a) Un ave de color negro y una de color marrón.
b) Un ave de color negro y una de color blanco.
c) Dos aves de color blanco.
- 15) Se cruzan dos plantas de flores de color naranja y se obtiene una descendencia formada por 30 plantas de flores rojas, 60 de flores naranjas y 30 de flores amarillas. ¿Qué descendencia se obtendrá al cruzar las plantas de flores naranjas obtenidas con las de flores rojas?. ¿Y al cruzar las naranjas y las amarillas?

- 16) La forma de los rábanos puede ser alargada, redondeada y ovalada. Cruzando plantas alargadas con redondeadas se obtienen plantas ovales. Cruzando alargadas con ovales se obtienen 159 plantas alargadas y 159 plantas ovales. Cruzando ovales con redondas se obtuvieron 203 ovales y 203 redondas. Razonar los tres cruzamientos indicando cómo son los genotipos de todas las plantas.
- 17) Realiza un cuadro de Punnett para los siguientes cruces: $AABb \times aaBb$ y $CcDd \times CcDd$.
- 18) En el cobaya el pelo rizado domina sobre el pelo liso, y el pelo negro sobre el blanco. Si cruzamos un cobaya rizado-negro, con otro blanco-liso homocigotos para los dos caracteres, indicar cuáles serán los genotipos de la F_1 y F_2 y qué proporción de individuos rizados-negros cabe esperar que aparezcan en la F_2 .
- 19) En humanos, el gen que determina el color oscuro del pelo es dominante («P») frente al pelirrojo («p»), y el gen que determina el color pardo de los ojos («A») es dominante sobre el de los ojos azules («a»). Un hombre de ojos pardos y pelo oscuro y una mujer también de pelo oscuro, pero de ojos azules, tuvieron dos hijos, uno de ellos pelirrojo y con los ojos pardos, y el otro de pelo oscuro con los ojos azules. Representa este cruzamiento, indicando los genotipos y los fenotipos, así como las probabilidades de los genotipos de su descendencia.
- 20) En cierta especie animal, el pelo gris es dominante sobre el pelo blanco y el pelo rizado sobre el liso. Se cruza un individuo de pelo blanco y liso con otro de pelo gris y rizado, cuyo padre tenía el pelo blanco y cuya madre era de pelo liso. ¿Pueden tener descendencia de pelo gris y liso? ¿Y de pelo blanco y rizado? Si es así, ¿en qué porcentaje?
- 21) Una planta de jardín presenta dos variedades: una de flores rojas y hojas alargadas y otra de flores blancas y hojas pequeñas. El carácter color de las flores se transmite por herencia intermedia, y el carácter tamaño de la hoja presenta dominancia del carácter alargado. Si se cruzan variedades homocigóticas de ambas, ¿qué probabilidades genotípicas y fenotípicas aparecerán en la F_2 ? ¿Qué probabilidad de las plantas con flores rojas y hojas alargadas de la F_2 será homocigóticas?. ¿Qué probabilidad hay de obtener plantas de hojas pequeñas?. ¿Y de obtener plantas con flores rosas?.
- 22) La aniridia (ceguera) en el hombre se debe a un factor dominante (A). La jaqueca es debido a otro gen también dominante (J). Un hombre normal para la jaqueca, que padecía de aniridia y cuya madre no era ciega, se casó con una mujer normal para la ceguera que sufría jaqueca, pero cuyo padre no la sufría. ¿Qué proporción de sus hijos sufrirán ambos males?
- 23) Justifica si los hijos de una pareja con grupo 0 y grupo AB pueden o no tener descendencia de los siguientes grupos: a) Grupo A b) Grupo B c) Grupo AB d) Grupo 0
- 24) En una clínica se mezclan por error cuatro recién nacidos cuyos grupos sanguíneos son 0, A, B, AB. Los grupos sanguíneos de las cuatro parejas de padres son: a) AB y 0; b) A y 0; c) A y AB; d) 0 y 0. Indica qué niño corresponde a cada pareja.
- 25) Un matrimonio ha tenido un hijo del grupo sanguíneo cero, el padre dice que la mujer es una adúltera pues él es del grupo B heterocigoto y su mujer del grupo A también heterocigótica. ¿Tiene razón el padre?
- 26) Una mujer de grupo sanguíneo desconocido de la que se sabe es heterocigota, se casó con un hombre de tipo A. Tuvieron una hija del grupo A homocigota. Pasados unos años tuvo un hijo del grupo sanguíneo 0. El marido piensa que puede ser una adúltera y por lo tanto no reconoce la paternidad de hijo. ¿Sería el grupo sanguíneo un buen método para resolver el problema?. Justifica la respuesta.
- 27) ¿Puede un hombre Rh+ tener un hijo Rh- con una mujer que sea Rh+?. Justifícalo.

- 28) Una mujer Rh+ es hija de un padre Rh+ y una madre Rh-. ¿Puede tener un hijo Rh- si su pareja es Rh-?. Justifícalo.
- 29) La atrofia óptica es una enfermedad determinada por un gen («a») ligado al cromosoma X. Una pareja en la que ambos tienen visión normal tiene una descendencia en la que el 50 % de los hijos varones padecen atrofia óptica.
- ¿Cuál es el genotipo de los progenitores?
 - ¿Por qué no nacen hijas con atrofia óptica?
- 30) La ceguera para los colores (daltonismo) depende de un gen recesivo situado en el cromosoma X. Una muchacha de visión normal, cuyo padre era ciego para los colores se casa con un varón de visión normal cuyo padre también era daltónico. ¿Qué tipo de visión cabe esperar en la descendencia?
- 31) El daltonismo depende de un gen recesivo situado en el cromosoma X. La abuela materna de un varón tiene visión normal; su abuelo materno era daltónico; su madre es daltónica y su padre de visión normal. Razonar que tipo de visión tendrá este varón. Si se casara con una mujer genotípicamente igual a sus hermanas, ¿qué tipo de visión debería esperarse en la descendencia?
- 32) El daltonismo depende de un gen recesivo ligado al cromosoma X. Un hombre y una mujer ambos de visión normal tienen:
- Un hijo daltónico que tiene una hija de visión normal.
 - Una hija de visión normal que tiene un hijo daltónico y el otro normal.
 - Otra hija de visión normal que tiene hijos todos normales.
- ¿Cuáles son los genotipos de los abuelos, hijos y nietos?
- 33) La genética clínica se dedica a la atención de personas y familias con enfermedades hereditarias. Contesta a las siguientes cuestiones sobre el asesoramiento o consejo genético que podría recibir una pareja formada por una mujer portadora, pero no afectada, de una enfermedad ligada al cromosoma X, y un varón sano.
- ¿Sufrirán las hijas de esta pareja la enfermedad? ¿Y los hijos?
 - Si alguna de las hijas de esta pareja tuviera descendencia con un varón que padeciera la enfermedad, podrían tener algún hijo o hija con esta enfermedad?
 - Explica qué pasaría si fuera el hombre el que tuviera en su cromosoma el gen de esta enfermedad y la mujer no tuviese ese gen. Representa el cruce.
 - Representa el cruce y explica qué pasaría si fuera una enfermedad asociada al cromosoma Y.
- 34) La hemofilia depende de un gen recesivo situado en el cromosoma X. Realiza el cruce entre estos genotipos: X^hX^h y XY. Explica cómo podría ser la descendencia y quiénes están enfermos, quiénes sanos y quiénes son portadores de la hemofilia.
- 35) La hemofilia depende de un gen recesivo situado en el cromosoma X. Una mujer y un hombre sanos se casan y en su descendencia aparece un varón hemofílico. ¿Cuál es el genotipo de los padres y el de los hijos? ¿Cómo explicaríamos el genotipo de toda la familia si ninguno de los hijos fuese hemofílico?
- 36) La hemofilia va ligada al cromosoma X, mientras que el pelo rubio es recesivo frente al moreno. ¿Qué hijos tendrá una mujer sana y rubia cuyo padre era hemofílico, si se casa con un varón también sano y moreno cuyo padre era rubio?.
- 37) Indica los genotipos probables de una pareja sana, uno de cuyos hijos varones padece daltonismo y el otro hemofilia.

PROBLEMAS DE REPASO

- 1.- En el guisante (*Pisum sativum*), el tallo largo (planta alta) es dominante sobre el tallo corto (planta enana). Si una planta homocigótica para el carácter dominante se cruza con una planta enana.
 - a) Indique los genotipos, fenotipos y proporciones de la descendencia del cruce de una planta de la F1 con el progenitor de tallo largo.
 - b) Indique los genotipos, fenotipos y proporciones de la descendencia del cruce de una planta de la F1 con una planta enana.

- 2.- Una cobaya de pelo blanco, cuyos padres son negros, se cruza con otra cobaya de pelo negro, nacida de un padre de pelo negro y una madre de pelo blanco. ¿Cómo serán los genotipos de las cobayas que se cruzan y de su descendencia?

- 3.- Un tipo de sordomudez hereditaria se produce por la existencia de un gen recesivo (s). Si un hombre y una mujer con oído normal, cuyas respectivas madres son ambas sordas, tienen un hijo ¿qué probabilidades existen de que sea sordomudo?

- 4.- ¿Cómo podrán ser los hijos de un hombre de grupo AB y de una mujer de grupo AB? Haz un esquema de cruzamiento que lo aclare.

- 5.- ¿Cómo podrán ser los hijos de un hombre de grupo A, cuya madre era del grupo 0, y de una mujer de grupo B, cuyo padre era del grupo 0? Haz un esquema de cruzamiento bien hecho.

- 6.- En los guisantes, el gen que determina el color de la piel tiene dos alelos: amarillo (A) y verde (a). El gen que determina la textura de la piel tiene otros dos: piel lisa (B) y rugosa (b). Se cruzan plantas de guisantes amarillos lisos (Aa,Bb) con plantas de guisantes amarillos lisos (Aa,Bb). Realiza un esquema del cruzamiento y da las proporciones fenotípicas de la descendencia.

- 7.- Una planta que tiene hojas compuestas y aserradas se cruza con otra planta que tiene hojas simples y lobuladas. Cada progenitor es homocigótico para una de las características dominantes y para una de las características recesivas. ¿Cuál es el genotipo de la generación F1?. ¿Cuál es su fenotipo?. Si se cruzan individuos de la F1 entre sí, ¿qué fenotipos tendrá la generación F2 y en qué proporción?. (Utilice los símbolos C: compuestas, c: simple, A: lobuladas; a: aserrada).

- 8.- La aniridia (dificultades en la visión) en el hombre se debe a un factor dominante (A). La jaqueca es debida a otro gen también dominante (B). Un hombre que padecía de aniridia y cuya madre no, se casó con una mujer que sufría jaqueca, pero cuyo padre no la sufría. Ni el hombre tenía jaqueca, ni la mujer aniridia. ¿Qué proporción de sus hijos sufrirán ambos males?

- 9.- El daltonismo está determinado por un gen recesivo (d) ligado al cromosoma X. ¿Cómo podrán ser los descendientes de un hombre daltónico y una mujer no daltónica, hija de un hombre daltónico?

- 10.- Una mujer no hemofílica, cuyo padre sí lo era, se emparejó con un hombre no hemofílico .
 - a) ¿Cuál es la probabilidad de que tengan un hijo varón hemofílico?
 - b) ¿Cuál es la probabilidad de que tengan una hija hemofílica?
 - c) ¿Cuál es el genotipo de la descendencia?

MÁS PROBLEMAS RESUELTOS EN:

https://biologia-geologia.com/BG4/35_problemas_de_genetica.html

Cómo resolver los problemas de genética

- Primero deberemos leer atentamente el problema y analizar todos los datos que nos dan. Anotaremos los genotipos y fenotipos de progenitores y descendientes que conozcamos.
- Tenemos que señalar cómo hemos denominado a los alelos, reconociendo cuál es el alelo dominante y cuál es el recesivo. Representaremos el carácter dominante con una letra mayúscula, y el carácter recesivo con la misma letra, pero minúscula. Por ejemplo, si el color negro es dominante sobre el blanco, podremos llamar **N** al color negro y **n** al color blanco.
- El cruce entre los dos progenitores se representa poniendo el genotipo de los padres (los dos alelos, primero el dominante si se trata de un individuo heterocigótico), y entre ellos una x. Por ejemplo, $Aa \times Aa$, indica el cruce entre dos individuos heterocigóticos para ese carácter.
- Indicamos los posibles gametos (siempre haploides) que puede aportar cada progenitor a sus descendientes. En el ejemplo, cada progenitor aportará gametos con **A** y otros, con **a**.
- Habrá que observar las posibles uniones que se pueden producir entre los gametos de cada uno de los progenitores. Cuando el problema es complicado, es aconsejable hacer un cuadro de Punnet en el que veamos todas las posibles uniones entre los gametos aportados por los progenitores.
- En el cuadro de Punnet, se puede observar todos los genotipos y fenotipos posibles resultante del cruce que estamos analizando. En la solución del problema habrá que indicar siempre los genotipos y fenotipos obtenidos, a no ser que pregunten otras cosas.