

# EXTENSIONES DEL MENDELISMO

## 1. GUÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

### ***Genes ligados al sexo***

Estos genes están situados en el segmento diferencial del cromosoma X y muestran diferentes proporciones fenotípicas en cruces recíprocos. El padre los transmite a sus hijos y la madre a sus hijos e hijas.

¿Cómo distinguir si un carácter es debido a una mutación recesiva ligada al sexo?

- a) Los machos presentan el carácter más frecuentemente que las hembras.
- b) La mitad de los hijos de mujeres portadoras presentan el carácter y ninguna de sus hijas (si el padre no presenta el carácter).
- c) Si la madre es homocigota normal, los hijos de machos con el carácter no presentan el carácter y las hijas son portadoras.

¿Cómo distinguir si la mutación es dominante ligada al sexo?

- a) Todas las hijas de un varón afectado poseen el carácter
- b) La mitad de las hijas y de los hijos de una mujer heterocigota tendrán el carácter

### ***Genes holándricos***

Estos genes están situados en el segmento diferencial del cromosoma Y; son exclusivos de los machos de las especies con determinismo del sexo XX/XY. En las especies con determinismo del sexo ZZ/ZW, los genes del segmento diferencial del cromosoma W son equivalentes a los holándricos y, en este caso, se denominan holoautosómicos.

### ***Genes influidos por el sexo***

Son genes autosómicos pero las relaciones de dominancia entre los alelos es diferente en machos y hembras. Los homocigotos tanto hembras como machos tienen el mismo fenotipo, pero los heterocigotos poseerán un fenotipo u otro dependiendo del sexo. En estos casos, aunque son autosómicos, no hay que olvidar el sexo de los individuos al establecer su fenotipo.

### ***Genes limitados a un sexo***

Suelen ser genes autosómicos, que se transmiten a través de ambos sexos, pero que se expresan sólo en un sexo, es decir, lo presentan sólo los machos, o bien sólo las hembras. Un ejemplo de este tipo de caracteres es la presencia de plumaje vistoso en el caso de los pájaros machos, mientras que las hembras poseen coloraciones miméticas.

### **Dominancia incompleta y codominancia**

A diferencia de la dominancia completa, cuando hay dominancia incompleta, las proporciones fenotípicas coinciden con las genotípicas. En los cruces monohíbridos estas proporciones son: 1/4, 1/2, 1/4. En el caso de dominancia intermedia, el fenotipo del heterocigoto (proporción 1/2) es intermedio al de los homocigotos, mientras que en el caso de codominancia, el heterocigoto presenta ambos fenotipos.

### **Alelismo múltiple**

Los genes con más de dos alelos también tienen segregación mendeliana. Cada individuo diploide sólo presenta dos alelos aunque en la población haya muchos alelos diferentes de ese gen. Se pueden distinguir porque en la población se observan más de dos fenotipos diferentes para ese carácter. La prueba de alelismo o de complementación es la que nos permite saber si dos fenotipos mutantes son debidos a alelos del mismo gen, o bien si las mutaciones están en genes diferentes.

### **Letales**

Los alelos letales son alelos que provocan la muerte del organismo que los porta. En sentido evolutivo, alelos letales son alelos que conllevan la “muerte genética”, es decir la incapacidad de reproducirse de los individuos que los poseen. En esos términos, un alelo mutante letal, que por ejemplo impida el desarrollo del cigoto, y otro alelo mutante letal que conlleve esterilidad son en términos genéticos iguales ya que ambos hacen, que los individuos que los portan no contribuyan a la generación siguiente.

Hay que distinguir entre recesivos letales y letales dominantes con efecto letal recesivo. Por ejemplo en la fenilcetonuria, el alelo mutante responsable de una actividad enzimática defectuosa es recesivo. Los individuos con ambas copias del gen mutadas tienen fenotipo fenilcetonúrico y en la práctica no se reproducen. El alelo es recesivo para el fenotipo “fenilcetonúrico” y recesivo para el carácter “letalidad” (aunque los individuos sean viables en la práctica se entienden que no dejan descendencia). Los hijos afectados de parejas de portadores serán 1 de cada 4.

Si el alelo es dominante para el carácter “letalidad”, una sola copia conlleva la incapacidad de reproducirse (o la muerte) en cuyo caso el alelo se pierde en esa generación y no pasa a la siguiente.

El alelo para el color amarillo de la cola de los ratones es dominante sobre el agutí que es recesivo. Pero en dosis doble el alelo para el color amarillo de la cola provoca letalidad, con lo cual el gen que controla el carácter “color de la cola” en ratones es un gen con efectos pleiotrópicos ya que influye sobre el carácter “color de la cola” y sobre el carácter “viabilidad del individuo” o “letalidad”. Para el carácter “color de la cola” es dominante y para el carácter “letalidad” es recesivo, con lo cual el alelo es **dominante con efecto letal recesivo**.

Al cruzar los ratones de fenotipo dominante, con cola amarilla, estos alelos dominantes con efecto letal recesivo distorsionan las proporciones fenotípicas mendelianas de 3/4 de la descendencia con fenotipo dominante y 1/4 con fenotipo recesivo y se obtienen proporciones de 2/3 :1/3 amarillos:agutí.

Otra consecuencia de este fenómeno es que por definición los ratones con cola amarilla son heterocigotos y por tanto no se pueden obtener líneas puras de individuos con cola amarilla. La consecuencia es que al cruzar individuos de cola amarilla entre sí, siempre aparecerán individuos de fenotipo recesivo (agutís) en la descendencia, y en proporciones predecibles de 1 de cada 2.

### **Interacción génica y Epistasis**

Cuando dos genes están implicados en la determinación de un mismo carácter se dice que hay un fenómeno de interacción génica. Lo primero que hay que distinguir es si los dos genes que controlan el carácter lo hacen de manera independiente (genes que actúan en rutas metabólicas separadas) en cuyo caso la **INTERACCIÓN GÉNICA ES NO EPISTÁTICA**. En este tipo de interacción si son dos genes los implicados y cada uno de ellos tiene dos alelos con dominancia completa del uno sobre el otro, entonces surgen cuatro fenotipos posibles (dos por cada gen).

Si los genes actúan en la misma ruta y el producto de un gen es el sustrato del siguiente (a través de los enzimas codificados por los genes lógicamente) entonces la **INTERACCIÓN GÉNICA ES EPISTÁTICA**.

Si el alelo dominante de uno de los dos genes implicados determina el fenotipo, se dice que la epistasis es **simple dominante**.

Si el alelo recesivo (en dosis doble) de uno de los genes implicados determina el fenotipo la epistasis es **simple recesiva**

Si los alelos recesivos de los dos genes (en dosis doble ambos, aa\_\_ ó \_\_bb) dan el mismo fenotipo entonces la epistasis es **doble recesiva**.

Si cada uno de los dos alelos dominantes de cada uno de los dos genes (A\_ ó B\_) dan el mismo fenotipo entonces la epistasis es **doble dominante**.

Si el alelo dominante de uno de los genes y el recesivo del otro (A\_ y \_\_bb) dan el mismo fenotipo, entonces la epistasis es doble dominante y recesiva.

**AL CRUZAR DOS DIHETEROCIGOTOS (y solo si se cruzan dos diheterocigotos)** aparece una proporción 9:3:3:1 **que en el caso de las epistasis se modifica de la siguiente manera:**

Una epistasis es **simple dominante** si al cruzar dos diheterocigotos en vez de 9:3:3:1 la proporción que se obtiene es 12:3:1. (tres fenotipos)

La epistasis es **simple recesiva** si al cruzar dos diheterocigotos las proporciones fenotípicas que se observan son 9:3:4. (tres fenotipos)

En la epistasis es **doble recesiva**, al cruzar dos diheterocigotos en vez de 9:3:3:1 aparecen unas proporciones 9:7 (dos fenotipos)

En la epistasis **doble dominante** al cruzar dos diheterocigotos en vez de 9:3:3:1 aparecen unas proporciones de 15:1 (dos fenotipos)

En la epistasis **doble dominante y recesiva** al cruzar dos diheterocigotos, en vez de 9:3:3:1 aparecen unas proporciones de 13:3 (dos fenotipos).

Es importante identificar la interacción génica que mantienen dos genes **por cómo determinan estos los fenotipos y no aprendiendo las proporciones que aparecen al cruzar dos diheterocigotos**. Las relaciones epistáticas que mantienen dos genes son las mismas si se cruzan dos diheterocigotos que si se cruzan otros dos cualesquiera genotipos y las proporciones mencionadas se dan solo cuando se cruzan dos diheterocigotos.

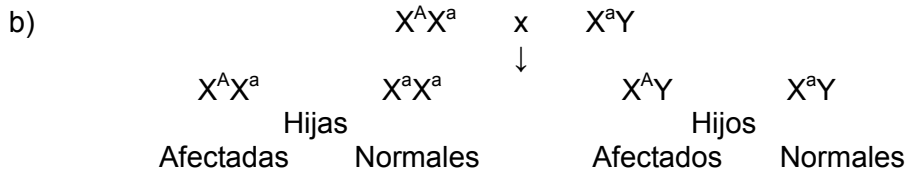
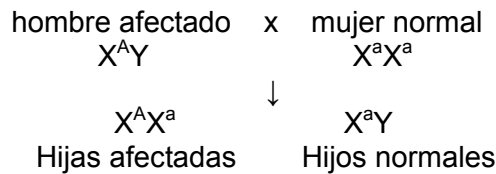
## 2. PROBLEMAS RESUELTOS

**Problema 1.** La hipofosfatemia provoca un tipo de raquitismo en el que los pacientes no responden a dosis normales de vitamina D. Este desorden es causado por un alelo dominante ligado al sexo. ¿Qué fenotipos se esperarán entre los hijos e hijas de los siguientes matrimonios?

- a) hombre afectado y mujer normal  
 b) mujer afectada hija del matrimonio anterior y hombre normal.

*Respuesta*

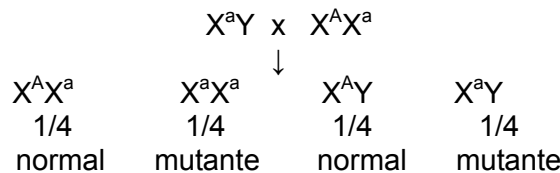
- a) Si llamamos "A" al alelo productor del raquitismo y "a" al alelo normal,



**Problema 2.** Se cruzan un macho hemicigótico para una mutación recesiva ligada al sexo y una hembra heterocigótica.

- a) ¿cuál es la probabilidad de que tengan un hijo con fenotipo mutante?  
 Si esta pareja tiene 10 hijos,  
 b) ¿cuál es la probabilidad de que una de sus hijas escogida al azar tenga el fenotipo mutante?  
 c) ¿cuál es la probabilidad de que 7 sean machos mutantes y los otros 3 sean hembras normales?

*Respuesta*

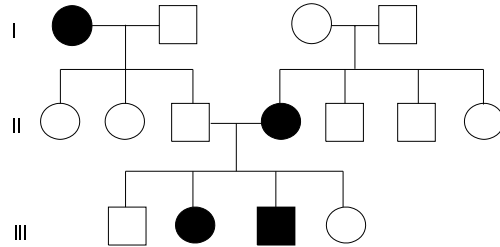


- a) 1/4.  
 b) 1/2, ya que sabemos que es hembra, es decir, la mitad de las hembras.  
 c) Puesto que la probabilidad de que nazca un macho mutante es 1/4, y de una hembra normal también es 1/4, la probabilidad total, será:  

$$P = \frac{10!}{7! 3!} (1/4)^7 (1/4)^3$$

**Problema 3.** En el siguiente pedigrí se muestra la herencia de una pequeña mancha dorsal en cierta variedad de perdiz silvestre. Sabiendo que el alelo que la provoca es ligado al sexo y recesivo, determinar:

- a) la probabilidad de que un macho descendiente del cruce entre III-1 y III-2 lleve la mancha;  
 b) la probabilidad de que el cruce entre II-4 y II-5 nazcan tres descendientes sin mancha y dos con ella.



**Respuesta**

Al tratarse de un ave, el sexo heterogamético es el femenino, y el homogamético el masculino:

hembra ZW/ macho ZZ

Así, los genotipos posibles serán:

- Hembra con mancha:  $Z^aW$   
 Hembra sin mancha:  $Z^AW$   
 Macho con mancha:  $Z^aZ^a$   
 Macho sin mancha:  $Z^AZ^A$  o  $Z^AZ^a$

En la genealogía:

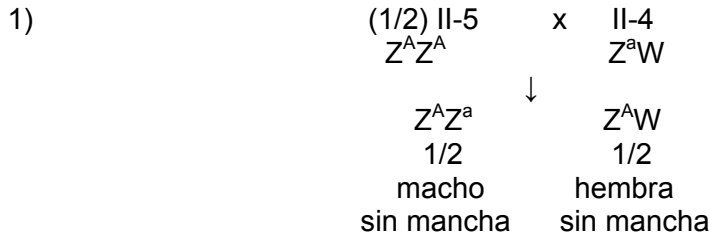
- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| I-1, $Z^aW$     | I-2, $Z^AZ^-$  |
| I-3, $Z^AW$     | I-4, $Z^AZ^a$  |
| II-1, $Z^AW$    | II-2, $Z^AW$   |
| II-3, $Z^AZ^a$  | II-4, $Z^aW$   |
| II-5, $Z^AZ^-$  | II-6, $Z^AZ^-$ |
| II-7, $Z^AW$    |                |
| III-1, $Z^AZ^a$ | III-2, $Z^aW$  |
| III-3, $Z^aZ^a$ | III-4, $Z^AW$  |

a) El cruce será:

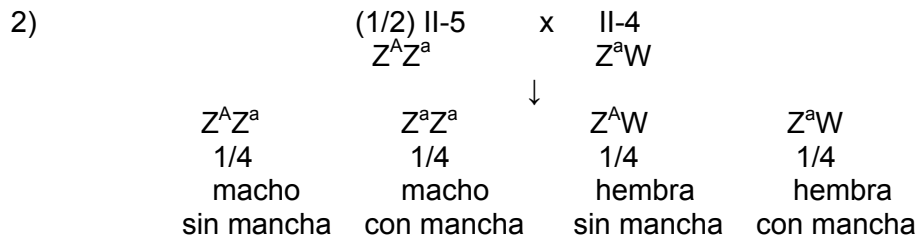
	III-1	x	III-2	
	$Z^AZ^a$		$Z^aW$	
		↓		
$Z^AZ^a$	$Z^aZ^a$	$Z^AW$	$Z^aW$	
1/4	1/4	1/4	1/4	
macho	macho	hembra	hembra	
sin mancha	con mancha	sin mancha	con mancha	

La probabilidad de que un macho lleve la mancha será 1/2 (la mitad de los machos).

b) Como II-5 puede ser  $Z^AZ^A$  ( $P = 1/2$ ) o  $Z^AZ^a$  ( $P = 1/2$ ), habrá dos cruces posibles:



Como este cruce no produce descendientes con macha, no se puede considerar (recordemos que nos pregunta la probabilidad de que nazcan 3 descendientes sin mancha y dos con ella)



La probabilidad de un descendiente con mancha será:

$$P = 1/2$$

Y la probabilidad de un descendiente sin mancha:

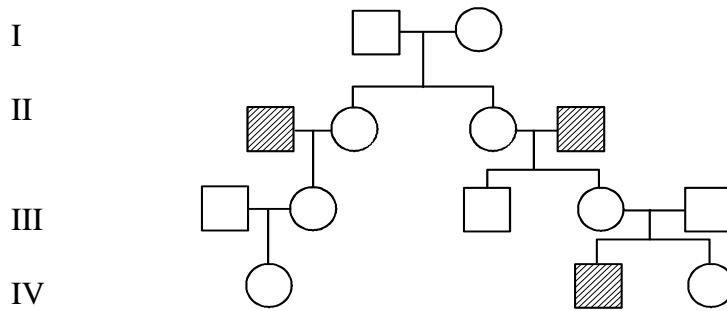
$$P = 1/2$$

Por tanto, la probabilidad que nos piden será:

$$P_T = \frac{5!}{3! 2!} (1/2)^3 (1/2)^2 = 10 (1/2)^3 (1/2)^2$$

**Problema 4.** El siguiente pedigrí ilustra la herencia del carácter “oreja aplastada” en úrsidos, mostrándose en negro los individuos afectados.

- a) Determinar el tipo de herencia, considerando las siguientes posibilidades: gen holándrico, gen ligado al sexo (alelo para el rasgo dominante o recesivo).
- b) ¿Cuál es la probabilidad de que IV-1 y IV-2 tengan un descendiente (de cualquiera de los dos sexos) afectado?
- c) ¿Cuál es la probabilidad de que una de sus hijas sea normal?
- d) ¿Cuál es la probabilidad de que tengan una hija normal?
- e) Si tienen seis hijos, ¿cuál es la probabilidad de que dos de ellos sean machos afectados, uno hembra normal, dos machos normales y uno hembra afectada?
- f) ¿Cuál es la probabilidad de que los dos primeros sean machos afectados, el tercero hembra normal, los dos siguientes machos normales y el último, una hembra afectada?



*Respuesta*

**a) Gen holándrico:** No es posible, ya que tendría que pasar indefectiblemente de padres (machos) a hijos (también machos). II-1, por ejemplo, manifiesta el rasgo, pero no lo manifiesta su padre, y II-4 posee el carácter pero no su hijo.

**Alelo dominante de un gen ligado al sexo:** Tampoco es posible, ya que las hijas de los machos afectados (que reciben de ellos el X) y las madres de dichos machos (que les han pasado su X) deberían manifestar el rasgo. II-1, por ejemplo, que presenta el rasgo, tiene una hija que no lo manifiesta.

**Alelo recesivo de un gen ligado al sexo:** Puede ser, ya que los machos afectados reciben el X de su madre y lo transmiten a sus hijas, pero en ninguna de estas hembras se manifiesta el rasgo, por ser heterocigóticas. De acuerdo con esto, si designamos como  $X^A$  al alelo para el aspecto normal y como  $X^a$  al alelo para el rasgo (individuos afectados), siendo  $X^A > X^a$ , los genotipos de los diferentes individuos de la genealogía serán:

I-1, $X^A Y$	I-2, $X^A X^-$
II-1, $X^a Y$	II-2, $X^A X^-$
II-3, $X^A X^-$	II-4, $X^a Y$
III-1, $X^A Y$	III-2, $X^A X^a$
III-3, $X^A Y$	III-4, $X^A X^a$
III-5, $X^A Y$	
IV-1, $X^A X^-$	IV-2, $X^a Y$
IV-3, $X^A X^-$	

**b) El cruce propuesto es:**

IV-1      x      IV-2  
 $X^A X^-$        $X^a Y$

Para saber cómo puede ser realmente IV-1 y con qué probabilidades observamos el cruce de sus padres:

III-1      x      III-2  
 $X^A Y$        $X^A X^a$   
 ↓  
 $X^A X^A$        $X^A X^a$        $X^A Y$        $X^a Y$   
 1/2      1/2 (sabemos que es hembra)

Habrán dos cruces posibles:

$(1/2) \text{ IV-1}$ $X^A X^A$ $\downarrow$	x	$\text{IV-2}$ $X^a Y$		$(1/2) \text{ IV-1}$ $X^A X^a$ $\downarrow$	x	$\text{IV-2}$ $X^a Y$		$X^A X^a$ $1/4$ normales	$X^a X^a$ $1/4$ afectados	$X^A Y$ $1/4$ normales	$X^a Y$ $1/4$ afectados
$X^A X^a$ $1/2$ todos normales		$X^A Y$ $1/2$									

Por tanto, la probabilidad que nos piden será:

$$\begin{aligned}
 P &= P(\text{IV-1} \times \text{IV-2} \rightarrow \text{afectado}) = \\
 &= P(\text{IV-1 } X^A X^A) \times P(\text{IV-2 } X^a Y) \times P(X^A X^A \times X^a Y \rightarrow \text{afectado}) + \\
 &+ P(\text{IV-1 } X^A X^a) \times P(\text{IV-2 } X^a Y) \times P(X^A X^a \times X^a Y \rightarrow \text{afectado}) = \\
 &= 1/2 \times 1 \times 0 + 1/2 \times 1 \times 1/2 = 1/4
 \end{aligned}$$

c) Si IV-1 es  $X^A X^A$ , todas sus hijas serán normales. Si es  $X^A X^a$ , la mitad de sus hijas lo serán:

$$P = 1/2 \times 1 + 1/2 \times 1/2 = 1/2 + 1/4 = 3/4$$

d) En el primer caso, la mitad de los descendientes serán hijas normales, y en el segundo lo serán una cuarta parte de los descendientes:

$$P = 1/2 \times 1/2 + 1/2 \times 1/4 = 1/4 + 1/8 = 3/8$$

$$e) P_T = \frac{6!}{2! 1! 2! 1!} \times (P_1)^2 \times (P_2)^1 \times (P_3)^2 \times (P_4)^1$$

Siendo:  $P_1$  = Prob. tener un macho afectado  
 $P_2$  = Prob. tener una hembra normal  
 $P_3$  = Prob. tener un macho normal  
 $P_4$  = Prob. tener una hembra afectada

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 1/2 \times 0 + 1/2 \times 1/4 = 1/8 \\
 P_2 &= 1/2 \times 1/2 + 1/2 \times 1/4 = 1/4 + 1/8 = 3/8 \\
 P_3 &= 1/2 \times 1/2 + 1/2 \times 1/4 = 1/4 + 1/8 = 3/8 \\
 P_4 &= 1/2 \times 0 + 1/2 \times 1/4 = 1/8
 \end{aligned}$$

$$P_T = \frac{6!}{2! 1! 2! 1!} \times (1/8)^2 \times (3/8)^1 \times (3/8)^2 \times (1/8)^1 = 180 \times 27 \times (1/8)^6 = 4.860 \times (1/8)^6 = 0.02$$

$$f) P = (1/8)^2 \times (3/8)^1 \times (3/8)^2 \times (1/8)^1 = 27 \times (1/8)^6 = 0.0001$$

**Problema 5.** Las cabras de orejas largas que se aparean con cabras de orejas cortas producen crías con un tamaño mediano de orejas en la generación  $F_1$ ; en la  $F_2$  tendrán 1/4 orejas largas, 1/2 medianas y 1/4 cortas, tanto en machos como en hembras. Las cabras machos imberbes apareadas con cabras hembras barbadas producen progenie



masculina barbada y hembras imberbes. Los machos  $F_2$  tienen una proporción  $3/4$  barbados y  $1/4$  imberbes, en tanto que las hembras  $F_2$  tienen una proporción  $3/4$  imberbes y  $1/4$  barbadas.

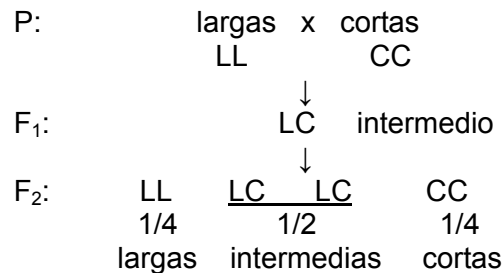
¿Cuál es el modo de herencia de estos dos caracteres?

*Respuesta*

a) El carácter tamaño de las orejas está determinado por un gen autosómico con dos alelos que presentan herencia intermedia. Esto se deduce, en primer lugar, al observar que las proporciones coinciden en machos y hembras y, en segundo lugar, porque en la  $F_1$  aparece un fenotipo intermedio, que es la clase más frecuente en la  $F_2$ , y que correspondería a los heterocigotos. Asignando símbolos arbitrarios podemos identificar cada fenotipo con su correspondiente genotipo:

LL = larga  
 CC = corta  
 LC = intermedia

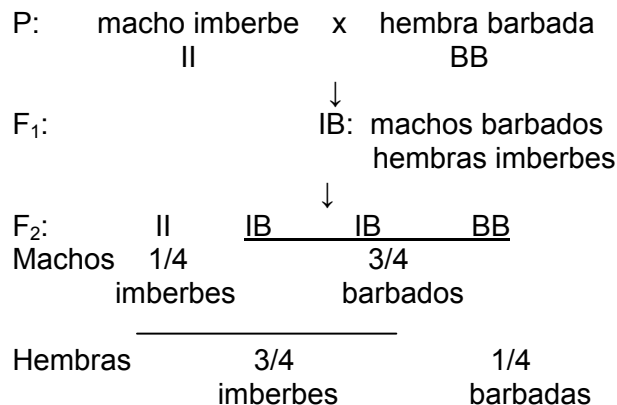
El cruce habrá sido:



La presencia o ausencia de barba parece ser, por su parte, un carácter mendeliano autosómico influido por el sexo. La condición barbada sería dominante en machos y recesiva en hembras, mientras que la manifestación imberbe sería dominante en hembras y recesiva en machos. Ello se desprende de la observación de la  $F_2$ , en que las proporciones se invierten de machos a hembras. Asignando símbolos alfabéticos:

B = barbado  
 I = imberbe  
 B > I en machos  
 B < I en hembras

El cruce del ejemplo habrá sido, por tanto:



**Problema 6.** Una mujer de fenotipo AMRh+ tiene una hija AMRh-.

- a) ¿Qué genotipos te permitirían descartar como posible padre a un individuo?  
 b) ¿Qué fenotipos?

*Respuesta*

El sistema que determina el grupo sanguíneo MN tiene dos alelos principales,  $L^M$  y  $L^N$ , codominantes entre sí. Por su parte, el grupo ABO está determinado por la serie alélica  $I^A = I^B > i$ , y el grupo Rh más comúnmente caracterizado se debe a la acción de un gen autosómico con dos alelos: D, que produce el fenotipo Rh+, y d, que da lugar al fenotipo Rh-, siendo D dominante sobre d.

La mujer de este problema es AM+ y su hija AM-. Sus genotipos, por tanto, serán:

Madre:  $I^A\_L^M L^M Dd$                       Hija:  $I^A\_L^M L^M dd$

En consecuencia, descartaríamos como posible padre a cualquier individuo que tuviera los posibles genotipos/fenotipos:

*Grupo ABO:* Genotipo  $I^B I^B$ , porque le hubiera pasado a la hija el alelo  $I^B$ , y ella hubiera debido manifestarlo. No podríamos descartar en principio a ningún individuo de genotipo  $I^A I^A$ ,  $I^A i$ ,  $I^A I^B$ ,  $I^B i$ , o  $ii$ . En cuanto a los fenotipos, no podríamos descartar ninguno de ellos, porque entre los genotipos posibles se encuentran combinaciones correspondientes a cada uno de los cuatro fenotipos posibles (A, B, AB y O).

*Grupo MN:* Genotipo  $L^N L^N$  (fenotipo N), porque el verdadero padre debiera poder pasarle un alelo  $L^M$ . No podrían descartarse los individuos de genotipo  $L^M L^M$  (grupo M) o  $L^M L^N$  (grupo MN).

*Grupo Rh:* **DD**, porque su padre le tuvo que pasar un alelo **d**. Como no podrían descartarse los individuos de genotipo **Dd** (grupo Rh+) o **dd** (Rh-), no podríamos en principio descartar ningún fenotipo.

**Problema 7.** En humanos, los grupos sanguíneos MN están controlados por un gen con dos alelos codominantes, M y N, de forma que el genotipo MM da lugar al grupo M, el genotipo MN al grupo MN y la combinación NN al grupo N. Un hombre, cuyos padres eran uno de grupo M y el otro de grupo N, se casa con una mujer de fenotipo desconocido y tienen un hijo de grupo M.

- a) ¿Qué se puede afirmar sobre el genotipo de la madre?  
 b) Si además se sabe que el abuelo materno era de grupo N, ¿cuál es la probabilidad de que el siguiente hijo de esta pareja sea de diferente grupo que su hermano?  
 c) Sabiendo que los dos miembros de la pareja son heterocigóticos para un gen que en homocigosis recesiva provoca determinada enfermedad de la piel, ¿cuál es la probabilidad de que, si tienen 3 hijos, uno de ellos sea de grupo MN y manifieste la enfermedad y los otros dos sean de un grupo diferente al MN y no manifiesten la enfermedad?

*Respuesta*

- a) El niño, al ser de grupo M, tiene un genotipo MM. Su padre es heterocigótico MN, y de su madre no puede saberse más que tiene un alelo M que le ha transmitido.

b) Si el abuelo materno era de grupo N, su genotipo era NN y, por tanto, la mujer deberá ser MN. La probabilidad de que la pareja de heterocigotos tenga un hijo que no sea M (que sea MN o N) será 3/4:

$$\begin{array}{c}
 \text{MN} \times \text{MN} \\
 \downarrow \\
 \frac{\text{MM}}{1/4} \quad \frac{\text{MN}}{1/2} \quad \frac{\text{NN}}{1/4}
 \end{array}$$

c) El cruce será del tipo MNAa x MNAa, y la probabilidad que nos piden:

$$P = \frac{3!}{1! 2!} (P_1)^1 (P_2)^2$$

$$P_1 = P(\text{grupo MN y enfermo}) = 1/2 \times 1/4 = 1/8$$

$$P_2 = P(\text{grupo MN y no enfermo}) = 1/2 \times 3/4 = 3/8$$

$$\text{Sustituyendo, } P = (3/8)^3$$

**Problema 8.** Indicar si dos personas de fenotipo AB, Rh+ podrían tener los siguientes descendientes, consignando los posibles genotipos, en su caso:

- a) A Rh+
- b) A Rh-
- c) 0 Rh+
- d) 0 Rh-

*Respuesta*

El cruce propuesto será del tipo:

$$\begin{array}{c}
 \text{AB Rh+} \times \text{AB Rh+} \\
 \text{I}^{\text{A}}\text{I}^{\text{B}}\text{D}_- \quad \text{I}^{\text{A}}\text{I}^{\text{B}}\text{D}_-
 \end{array}$$

a) Sí, genotipo I<sup>A</sup>I<sup>A</sup>D<sub>-</sub>

b) Sí, genotipo I<sup>A</sup>I<sup>A</sup>dd

c) y d) Es imposible, ya que para pertenecer al grupo 0 el descendiente tendría que ser ii.

**Problema 9.** En las cobayas se pueden encontrar distintos tipos de coloración del pelaje, como son el negro, albino, crema y sepia. Determinar los genotipos más probables de los padres en los siguientes cruzamientos.

	Cruce	negro	sepia	crema	albino
1	negro x negro	227			
2	negro x albino	10	9		
3	crema x crema			34	11
4	sepia x crema		24	11	12
5	negro x albino	13		12	
6	negro x crema	19	20		
7	negro x sepia	18	20		
8	sepia x sepia		26	9	
9	crema x albino			15	7

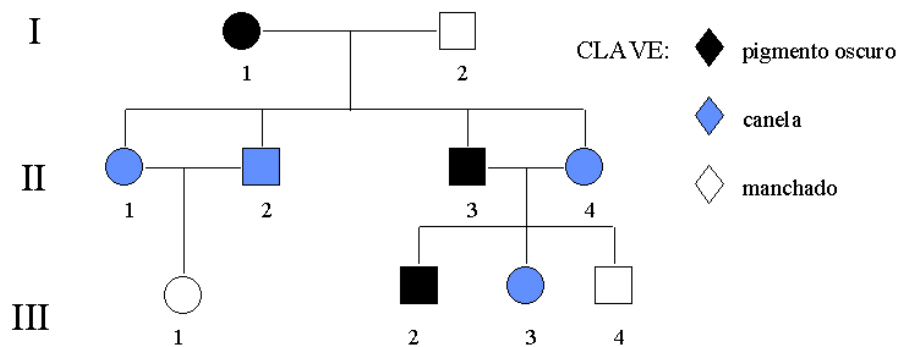
Respuesta

El hecho de que aparezcan diferentes fenotipos para el mismo carácter, puede llevar a creer que pudiera haber más de un locus implicado en la determinación del carácter. Para resolver esta cuestión debemos tener en cuenta que de todos los cruces realizados ninguno presenta más de tres tipos de descendientes diferentes, lo que sí sucedería con alguno de ellos si hubiese dos genes implicados. La prueba de complementación o de alélismo, resolvería esta cuestión.

Como se puede ver, hay cuatro fenotipos posibles que posiblemente se deben a cuatro alelos diferentes. De esta manera, de acuerdo con los resultados de los cruzamientos que se nos dan podemos decir que el negro ( $C$ ) domina sobre todos, el sepia ( $c^s$ ) sobre el crema y el albino y el crema ( $c^c$ ) sobre el albino ( $c$ ) (negro > sepia > crema > albino). De acuerdo con esto, los genotipos son:

- 1.-  $Cc \times Cc$
- 2.-  $Cc^s \times cc$
- 3.-  $c^c c \times c^c c$
- 4.-  $c^s c \times c^c c$
- 5.-  $Cc^c \times cc$
- 6.-  $Cc^s \times c^c c^c$  o  $c^c c$
- 7.-  $Cc^s \times c^s c^s$ ,  $c^s c^c$  o  $c^s c$
- 8.-  $c^s c^c \times c^s c^c$
- 9.-  $c^c c \times cc$

**Problema 10.** Una serie de alelos múltiples determina en los perros la distribución de los pigmentos del pelaje. El alelo  $A^s$  produce una distribución uniforme del pigmento oscuro sobre el cuerpo; el alelo  $a^y$  reduce la intensidad de la pigmentación y da lugar a los perros color canela; el alelo  $a^t$  produce pelajes manchados como canela y blanco, canela y café, etc. La jerarquía de dominancia es  $A^s > a^y > a^t$ . Dado el siguiente pedigrí:



- a) Determinar los genotipos de todos los individuos hasta donde sea posible.
- b) Calcule las probabilidades de que se produzcan descendientes manchados del apareamiento de III-1 y III-2.
- c) De los descendientes de pigmento oscuro, procedentes del cruce entre I-1 y II-3, ¿qué proporción serán heterocigotos?

*Respuesta*

a)

I-1:  $A^s a^y$  I-2:  $a^t a^t$

II-1:  $a^y a^t$  II-2:  $a^y a^t$  II-3:  $A^s a^t$  II-4:  $a^y a^t$

III-1:  $a^t a^t$  III-2:  $A^s \_$  III-3:  $a^y a^t$  III-4:  $a^t a^t$

b) El individuo III-2 puede ser  $A^s a^t$  o  $A^s a^y$  con una probabilidad de 1/2 en cada caso. Solo se pueden producir descendientes manchados de ese cruce, si III-2 fuese  $A^s a^t$ . Por tanto, el cruce será:

$$\begin{array}{c} (1/2) A^s a^t \times a^t a^t \\ \downarrow \\ 1/2 A^s a^t, 1/2 a^t a^t \end{array}$$

$P = 1/2 \times 1/2 = 1/4$

c) El cruce es:

$$\begin{array}{c} A^s a^y \times A^s a^t \\ \downarrow \\ A^s A^s \quad A^s a^y \quad A^s a^t \quad a^t a^t \\ \hline \text{Pigmento oscuro} \end{array}$$

2/3 son heterocigóticos del 75% con pigmento oscuro

**Problema 11.** En una cepa de ratones surgió un mutante de cola corta. Al cruzar éste mutante de cola corta con ratones normales de cola larga, la F1 estuvo compuesta por 6 ratones de cola corta y 5 de cola larga. Se seleccionaron dos de los ratones de cola corta de la F1 y se cruzaron obteniéndose una F2 compuesta por 8 ratones de cola corta y 4 de cola larga.

- a) ¿Qué hipótesis propondrías para explicar ese tipo de herencia?
- b) ¿Qué proporciones fenotípicas esperarías al cruzar los ratones de cola corta y larga de la última descendencia?

*Respuesta*

a) Este tipo de herencia se explica si la mutación cola corta es dominante para la longitud de la cola y recesiva para la letalidad con lo cual nunca habrá homocigotos viables para la cola corta y todos los individuos de cola corta serán heterocigotos. Llamamos  $C\_$  al alelo de cola corta y  $cc$  al genotipo para la cola larga ya que al cruzar ratones de cola corta y cola larga aparecen ratones de cola corta y cola larga en proporciones de 2:1.

b) Los genotipos de los individuos de la F2 son :  $Cc$  (cola corta) y  $cc$  (cola larga) y por tanto la descendencia de ese cruce será 1/2  $Cc$  (cola corta) y 1/2  $cc$  (cola larga)

**Problema 12.** En el zorro los dos alelos de un gen,  $P$  y  $p$ , dan lugar a pelaje de color platino y plateado respectivamente. Al cruzar entre sí zorros de color platino siempre se obtienen zorros de color platinos y plateados por lo que no se han conseguido líneas puras de color platino.

- a) ¿Cómo explicarías esos resultados?  
b) ¿Qué proporciones fenotípicas esperarías de un cruce entre individuos de color platino y color plateados?  
c) ¿Qué proporciones fenotípicas esperarías del cruce entre individuos de color platino?

*Respuesta*

a) Ya que en la descendencia del cruce entre zorros de color platino siempre aparecen zorros de color plateado, y por tanto no se obtienen líneas puras de color platino (no aparecen individuos PP) la interpretación que mejor explica esos resultados es que el alelo para el color platino del pelo ( $P_{-}$ ) es dominante sobre el color plateado ( $pp$ ) y para el carácter letalidad, dicho alelo  $P$  es recesivo.

b) El cruce es entre genotipos  $Pp$  (platinos) y  $pp$  (plateados) y por tanto la descendencia tendrá la mitad de los individuos  $Pp$  (platinos) y la mitad plateados ( $pp$ )

c) El cruce es entre individuos de genotipo  $Pp$  y portanto los genotipos de la descendencia serán:  $1/4 PP$ ,  $2/4 Pp$  y  $1/4 pp$  pero como los  $PP$  no son viables la descendencia tendrá una composición fenotípica de  $2/3$  platinos y  $1/3$  plateados

**Problema 13.** Cuatro formas de cresta en las gallinas están determinadas por la interacción entre 2 genes:  $R,r$  y  $P,p$ , de forma que:

$R_{-}pp$  produce cresta en forma de ROSETA  
 $rrP_{-}$  produce cresta en forma de GUISANTE  
 $R_{-}P_{-}$  produce cresta en forma de NUEZ  
 $rrpp$  produce cresta en forma SENCILLA

Apareamientos entre aves de cresta en "nuez" y de cresta en "roseta" produjeron en la F1: 4 de cresta sencilla, 5 en "guisante", 13 en "roseta" y 12 en "nuez".

¿Cuáles son los genotipos más probables de los progenitores?

*Respuesta*

Al aparecer 4 fenotipos, la interacción génica que mantienen esos dos genes es no epistática. Al aparecer en la descendencia individuos con cresta sencilla, los individuos con cresta en nuez tienen necesariamente que ser diheterocigotos ( $RrPp$ ), y al aparecer individuos con cresta en roseta y guisante los individuos con cresta en roseta tienen que ser heterocigotos para el primer gen ( $Rrpp$ )

**Problema 14.** En *Drosophila* el ojo silvestre es de color rojo y éste se debe a la presencia de dos pigmentos: drosopterina y xantomatina, sintetizados en rutas metabólicas separadas. Cuando se cruzan mutantes autosómicos recesivos *brown* (sin drosopterina y con xantomatina) y *scarlet* (sin xantomatina y con drosopterina) la F1 tiene los ojos rojos y la F2 presenta las siguientes proporciones fenotípicas

9 rojos: 3 escarlata: 3 *brown*: 1 blanco

- a) ¿Qué tipo de interacción génica mantienen esos dos genes?  
b) Cuales son los genotipos de los individuos que se utilizado en ese cruce?

*Respuesta*

a) Al sintetizarse los dos pigmentos en rutas metabólicas separadas, caben 4 fenotipos posibles como dice el problema, que el individuo tenga los dos pigmentos (xantomatina y drosóptera, color rojo), que tenga solo drosóptera (*scarlet*, rojo brillante) que tenga solo xantomatina (*brown*, marrón) o que no tenga ninguno (ojos blancos). Por tanto son dos genes con dos alelos con dominancia completa de un alelo sobre el otro en cada uno de los dos genes y los dos intervienen en el carácter color del ojo. Al intervenir en rutas metabólicas separadas el tipo de interacción génica es no epistática.

b) Generación parental:  $bw^+bw^+st^+st^+$  (brown) x  $bw^+bw^+st\ st$  (scarlet)

F1:  $bw^+bw^+st^+st$  (ojos rojos)

F2: 9 rojos: 3 escarlata: 3 marrón: 1 blanco

**Problema 15.** Brewbaker encontró que las plantas consanguíneas de la F1 que procedían de cruzamientos entre dos cepas de tréboles de flores blancas (*Trifolium repens*) daban lugar a una F2 formada por 5 rojas:75 blancas. No se indicó letalidad alguna.

a) Utilizando la explicación más sencilla, ¿cuántos genes se hallan implicados en dichos cruzamientos?

b) Empleando símbolos, definir los alelos implicados y dar el genotipo de las plantas rojas de la F2.

*Respuesta*

Generación parental: AAbb x aaBB

F1: AaBb

F2: 9 A\_B\_(blancas) 3 A\_bb (blancas) 3 aaB\_(blancas) 1 aabb (rojas)

15 blancas: 1 roja

75 blancas/5 rojas es una relación de 15:1 que es la proporción fenotípica que se observa cuando los genes mantienen una relación de epistasis doble dominante y se cruzan dos diheterocigotos (los alelos dominantes de cada uno de los dos genes dan el mismo fenotipo).

**Problema 16.** El apareamiento entre ratas de genotipo idéntico produjo la siguiente descendencia: 14 color crema: 47 color negro: 19 albinas.

a) ¿A qué proporción se aproxima la descendencia?

b) ¿A qué tipo de epistasis se debe?

c) ¿Cuáles son los genotipos de los progenitores y de los descendientes?

*Respuesta*

a) Si se parte de una hipótesis de que son dos genes con dos alelos, se calcula sobre un total de 16 y nos da: 9,4, 3,8 y 2,8 es decir se aproxima a una proporción de 9:4:3

b) Los genes mantienen una relación de epistasis simple recesiva ya que la proporción 9:3:4 es la que se obtiene al cruzar dos diheterocigotos y los genes mantienen ese tipo de epistasis.

c) Las ratas de genotipo idéntico son diheterocigotas (AaBb) y la descendencia es

9 A\_B\_(negras) 3 A\_bb (crema) 3 aaB\_(albinas) 1 aabb (albinas)

**Problema 17.** El alelo dominante (B) de un gen determina el color blanco del fruto de la calabaza y el alelo recesivo (b) el fruto con color. El fruto amarillo está regido por el alelo dominante (V) de un gen hipostático de distribución independiente y el fruto verde por su alelo recesivo (v). Cuando se cruzan plantas dihíbridas la descendencia aparece en una proporción de 12 blancas : 3 amarillas : 1 verde.

- a) ¿Qué tipo de epistasis mantienen esos dos genes?
- b) Qué proporción de color de fruto se espera en los cruces:
  - b1) Bbv v x Bbv v?
  - b2) Bbv v x bbVv?
- c) Si dos plantas son cruzadas produciendo 1/2 de la descendencia amarilla y el otro 1/2 de la descendencia verde, ¿cuáles son los genotipos y fenotipos de los progenitores?

*Respuesta*

a) Si está presente el alelo B los frutos son blancos y si no está presente tienen color, luego se trata de una epistasis simple dominante.

b1) Bbv v x Bbv v: 1/4 BBvv (blancos), 2/4 Bbv v (blancos) y 1/4 bbvv (verde) luego aparecen 3/4 blancos y 1/4 verdes.

b2) El individuo Bbv v forma dos tipos de gametos: Bv y bv y el individuo bbVv forma también dos tipos de gametos: bV y bv. Luego:

	1/2 Bv	1/2 bv
1/2 bV	1/4 BbVv	1/4 bbVv
1/2 bv	1/4 Bbv v	1/4 bbvv

Por tanto 2/4 de la descendencia son de fruto blanco, 1/4 de fruto amarillo y 1/4 de fruto verde

c) Ya que para tener color hace falta el genotipo bb y nos dice que la descendencia es toda con color (mitad amarilla, mitad verde) los individuos que se cruzan tienen que ser bb y como rinden verdes y amarillos en igual proporción en el segundo gen serán Vv y vv. Por tanto los genotipos que dan esas proporciones fenotípicas son bbVv y bbvv

**Problema 18.** Dos plantas de guisantes con flores blancas se cruzaron entre sí dando una F1 de flores púrpura. Un cruzamiento al azar entre dos plantas de la F1 produjo una descendencia de 96 plantas, de las cuales 53 eran púrpura y 43 blancas.

- a) ¿Qué razón fenotípica se espera aproximadamente en la F2?
- b) ¿Cuáles fueron los genotipos probables de los padres?

*Respuesta*

a) Se espera una proporción de 9 púrpura: 7 blancas que es a la proporción a la que se aproximan las frecuencias que se observan (53:47). Se trata de una epistasis doble recesiva

b) Las plantas blancas son AAbb y aaBB, la F1 es diheterocigota: AaBb que es púrpura y la F2 será **9 A\_B\_**(púrpuras) **3 A\_bb** (blancas) **3 aaB\_**(blancas) **1aabb** (blancas)



**Problema 19.** El color rojo del trigo se debe al genotipo R\_B\_ y el blanco al recesivo rbb. Los genotipos rrB\_ y R\_bb producen color pardo. Se cruza una variedad roja homocigota con otra blanca.

- a) ¿Qué composición fenotípica se esperan en la F1? ¿y en la F2?  
 b) Si la F2 parda se cruza artificialmente al azar ¿qué proporciones fenotípicas se esperan en la descendencia?

*Respuesta*

a) Ya que dice que son homocigotas, el cruce es RRBB x rbb y por tanto la F1 será de genotípicamente diheterocigota (RrBb) y de fenotipo rojo.

La F2, obtenida por el cruce de individuos de la F1 (RrBb x RrBb) tendrá los siguientes fenotipos y las siguientes frecuencias:

9 rojos (R\_B\_)    6 pardos (3 R\_bb    3 rrB\_)    1 blanco (rrbb)

b) Los individuos pardos de la F2 tienen los siguientes genotipos y las siguientes frecuencias:

1 RR bb, 2 Rrbb, 1 rrBB y 2 rrBb. El “pool” de gametos que formarán esos individuos será el siguiente:

1 RRbb dará 1 Rb  
 2 Rrbb darán 1 Rb y 1 rb  
 1 rrBB dará 1 rB

2 rrBb dará 1 rB y 1rb

Por tanto, sumamos:

Gametos Rb: 1+1 (sobre un total de “6 gametos”)= 2/6 = 1/3 Rb  
 Gametos rB: 1+1 (sobre un total de “6 gametos”)= 2/6 = 1/3 rB  
 Gametos rb: 1+1 (sobre un total de “6 gametos”)= 2/6 = 1/3 rb

Entonces, el cruce será:

	1/3 Rb	1/3 rB	1/3 rb
1/3 Rb	1/9 RRbb (pardos)	1/9 RrBb (Rojos)	1/9 Rrbb (pardos)
1/3 rB	1/9 RrBb (rojos)	1/9 rrBB(pardos)	1/9 rrBb (pardos)
1/3 rb	1/9 Rrbb (pardos)	1/9 rrBb (pardos)	1/9 rrbb (blancos)

6/9 Pardos; 2/9 rojos y 1/9 blancos

### 3. PROBLEMAS PARA RESOLVER

**Problema 1.** Una pareja, cuyos dos miembros tienen visión normal, tienen un hijo daltónico.

- ¿Cuáles son los genotipos de los padres?
- ¿Cuál es el sexo y el genotipo del niño?

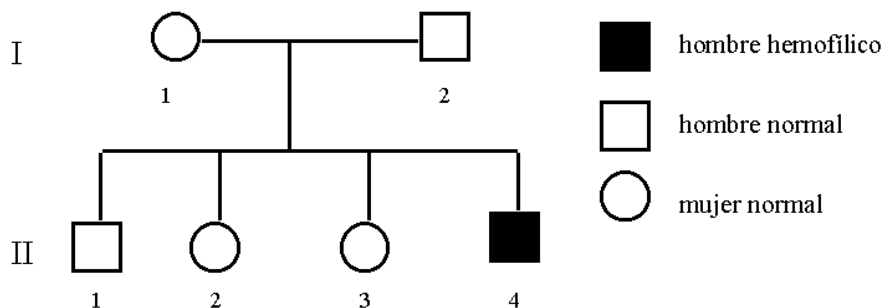
**Problema 2.** Una mujer de visión normal cuyo padre es daltónico se casa con un hombre cuya madre era daltónica ¿Que genotipos tendrá la descendencia de esta pareja si,

- son varones
- son mujeres

**Problema 3.** Supongamos un carácter ligado al sexo en aves exóticas tal que su alelo recesivo a determina plumas de la cola blancas y A plumas coloreadas. Si se cruza un macho heterocigótico con una hembra de plumas blancas y se obtienen ocho descendientes, ¿cuál es la probabilidad de que seis de ellos tengan las plumas de la cola coloreadas?

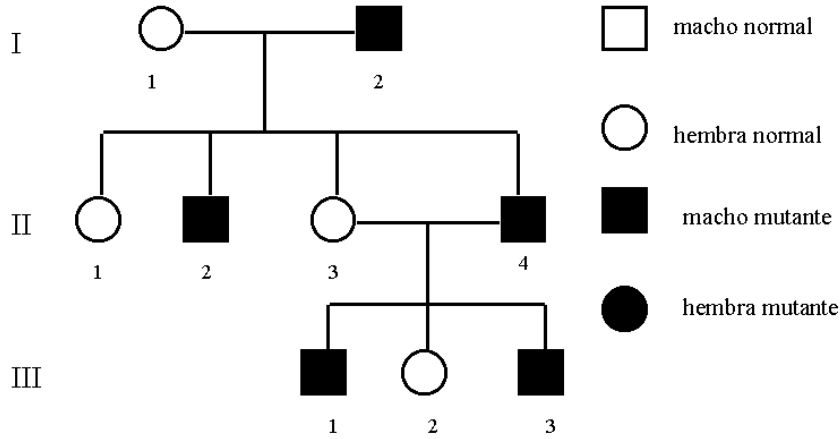
**Problema 4.** El siguiente pedigrí muestra un caso de hemofilia A, enfermedad debida al alelo recesivo de un gen ligado al sexo.

- Si II-2 se casa con un hombre normal, ¿cuál es la probabilidad de que su primer hijo sea un varón hemofílico?
- Suponiendo que su primer hijo es hemofílico, ¿cuál es la posibilidad de que su segundo hijo sea un varón hemofílico?
- Si II-3 se casa con un hombre hemofílico, ¿cuál es la probabilidad que su primer descendiente sea normal?
- Si la madre de I-1 era fenotípicamente normal, ¿qué genotipo tenía su padre?
- Si la madre de I-1 era hemofílica, ¿cuál era el fenotipo del padre de I-1?



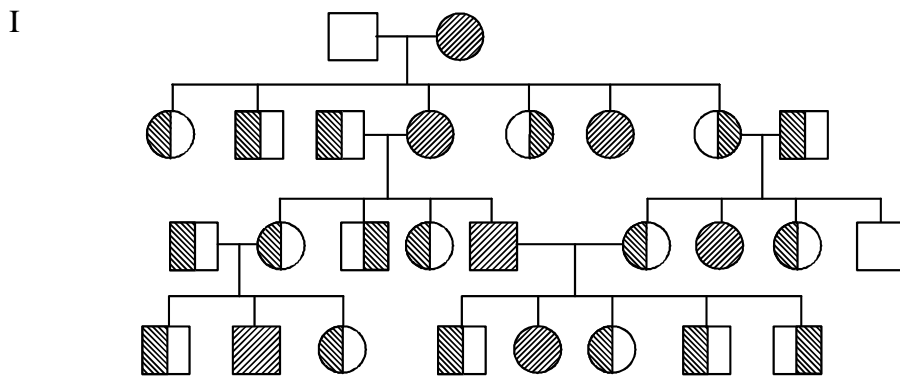
**Problema 5.** Observar el siguiente pedigrí,

- ¿Es compatible con la presencia de un gen holándrico?
- ¿Y con la de un alelo recesivo ligado al sexo?
- Si el apareamiento entre III2 y III3 produce una hembra mutante, ¿cuál de las dos hipótesis anteriores es aplicable? Usando símbolos apropiados asigne genotipo a cada uno de los individuos del pedigrí.



**Problema 6.** En el siguiente pedigrí se muestra la transmisión de dos caracteres humanos en una familia. Los individuos sombreados en la parte izquierda presentan asimetría nasal, y aquellos sombreados en el lado derecho muestran deformación del pabellón auditivo.

- ¿Qué tipo de herencia se halla implicado en cada uno de los caracteres?
- Determinar hasta donde sea posible los genotipos de todos los individuos de la genealogía.
- ¿Cuál es la probabilidad de que del cruzamiento IV-1 x IV-6 nazca una hija con asimetría nasal y pabellón auditivo normal?



**Problema 7.** Una pareja está formada por una mujer no calva (cuya madre sí lo era), y un hombre calvo pero cuyo padre no lo era. a) ¿Cuál será el genotipo de todos estos individuos?; b) ¿qué proporción de individuos calvos y no calvos esperaríamos en los descendientes de esta pareja?

---

**Problema 8.-** En el ganado, el color blanco está determinado por un alelo  $C^C$  dominante en los machos y recesivo en las hembras. El alelo para el color rojo  $C^R$  actúa como dominante en las hembras y recesivo en los machos. Del cruce de un macho rojo y una hembra blanca homocigótica,

- ¿Qué proporciones fenotípicas y genotípicas esperarías en la  $F_1$  y la  $F_2$ ?
- Si una vaca blanca homocigótica tiene un becerro rojo, ¿qué sexo tendrá el becerro?
- ¿Cuál es el genotipo que no es posible del progenitor masculino del apartado b)?

**Problema 9.** Las flores de ciertas plantas pueden ser rojas, rosas o blancas. Las flores rojas cruzadas con las blancas sólo producen rosas. Cuando plantas con flores rosas fueron cruzadas, produjeron 113 rojas, 129 blancas y 242 rosas. La hipótesis es que estos colores son producidos por un locus génico único con alelos que presentan herencia intermedia. Probar esta hipótesis mediante la prueba de  $\chi^2$ .

**Problema 10.** Un alelo dominante (L) determina el pelo corto en el conejillo de Indias, y el recesivo (l) el pelo largo. Alelos con herencia intermedia en un locus independiente determinan el color, siendo:  $c^Yc^Y$  = amarillo;  $c^Yc^W$  = crema;  $c^Wc^W$  = blanco. Del cruzamiento de dos conejillos dihíbridos de pelo corto y color crema, predecir la frecuencia fenotípica esperada en la descendencia.

**Problema 11.** Los rábanos pueden ser: largos, redondos u ovalados en cuanto a su forma. El color puede ser rojo, azul y púrpura. Una variedad larga y azul es cruzada con otra variedad redonda y roja, produciendo una  $F_1$  oval y púrpura. La  $F_2$  obtenida fue: 9 larga, roja; 15 larga, púrpura, 19 oval, roja; 32 oval, púrpura; 8 larga, azul; 16 redonda, púrpura; 8 redonda, azul; 16 oval, azul; 9 redonda, roja.

- ¿Cuántas parejas alélicas están involucradas en la determinación de la forma y del color?
- ¿Qué fenotipos esperarían en cruzamientos entre la  $F_1$  y cada uno de sus parentales?
- Si los rábanos oval-púrpura fueran preferidos comercialmente, ¿qué líneas de rábanos deberían ser mantenidas para producir mayor cantidad de esos rábanos y por qué?

**Problema 12.** Un hombre con grupo sanguíneo A tiene un hijo de grupo sanguíneo O con una mujer de grupo sanguíneo B. a) ¿Cuáles son los genotipos de estas tres personas? b) ¿Qué otros genotipos, y con qué frecuencias, se pueden esperar en los hijos de esta pareja?

**Problema 13.** Un hombre AB- y una mujer O+ tienen un hijo B+.

- Determinar los genotipos posibles de cada uno de los individuos.
- Explique si alguno de los padres podría donarle sangre al hijo.

**Problema 14.** Las siguientes cinco madres, desde a) hasta e), con los fenotipos dados, tuvieron cada una un hijo del que se describe el fenotipo. Seleccionar los posibles padres de cada uno de esos niños de entre los cinco hombres de los que se dan los genotipos.

Madre	Fenotipo materno	Fenotipo del hijo	Genotipo de cada hombre
a	A M Rh+	O M Rh+	1. $I^A i L^M L^N rr$
b	B N rh-	B N rh-	2. $I^B i L^M L^N RR$
c	O M rh-	A MN Rh+	3. $ii L^N L^N rr$
d	A N Rh+	AB MN Rh+	4. $ii L^M L^M rr$
e	AB MN rh-	AB M rh-	5. $I^A I^A L^M L^N RR$

**Problema 15.** En un caso de paternidad discutida, el fenotipo del grupo sanguíneo de la madre es A MN rh- y el fenotipo del hijo es B N Rh+. Anótense todos los posibles fenotipos del grupo sanguíneo que puede presentar el padre.

**Problema 16.** Una mujer se casa con un hombre y tiene cuatro hijos legítimos con los siguientes genotipos:  $ii RR L^M L^N$ ;  $I^A i Rr L^N L^N$ ;  $ii RR L^N L^N$ ;  $I^B i rr L^M L^M$ . ¿Cuáles son los genotipos de los progenitores?

**Problema 17.** La herencia del color de la piel en las reses está determinada por una serie de alelos múltiples con la jerarquía de dominancia siguiente:  $S > s^h > s^c > s$ . El alelo "S" pone una banda de color blanco alrededor de la mitad del animal que se denomina cinturón holandés; el alelo " $s^h$ " produce las manchas tipo Hereford; el color sólido es el resultado del alelo " $s^c$ ", y las manchas de tipo Holstein se deben al alelo "s". Los machos con cinturón holandés homocigóticos son cruzados con hembras con manchas tipo Holstein. Las hembras  $F_1$  son cruzadas con machos manchados tipo Hereford con genotipo  $s^h s^c$ .

Predecir las frecuencias genotípicas en la descendencia.

**Problema 18.** Se cruzan entre sí ratones amarillos de cola curvada. Los descendientes dan una proporción de 6 amarillos con colas curvadas: 2 amarillos con colas normales: 3 agutí con colas curvadas: 1 agutí con cola normal.

- ¿Cuál de los dos caracteres está asociado con un alelo letal?
- ¿Está determinada la cola curvada por un gen dominante o recesivo?
- ¿Cuál es el genotipo de los ratones amarillos con la cola curvada?
- ¿Cuáles son los genotipos de las cuatro clases fenotípicas?

**Problema 19.** Un carácter mutante ligado al sexo y denominado "muesca" (M) es letal en *Drosophila* cuando se presenta en los machos hemicigóticos (no puede haber hembras homocigóticas MM ya que tendrían que heredar el dominante del padre). Las hembras heterocigóticas (Mm) tienen pequeñas muescas en las puntas de sus alas. Las hembras homocigóticas recesivas (mm) y los machos hemicigóticos (m) tienen alas normales (tipo común).

- Calcular las proporciones fenotípicas viables esperadas en  $F_1$  y  $F_2$  sin considerar el sexo, cuando se cruzan machos de tipo común con hembras con muescas.
- ¿Cuál es la proporción de machos viables / hembras viables en  $F_1$  y  $F_2$ ?
- ¿Cuál es la proporción de animales viables con muescas / tipo común en  $F_1$  y  $F_2$ ?

**Problema 20.** Al cruzar perros calvos mejicanos entre sí, se obtiene una descendencia formada por perros calvos y perros normales en proporción 2:1. Al cruzar perros calvos mejicanos y perros normales, la descendencia presenta una razón fenotípica de 1:1 de "calvos mejicanos" y "normales".

- a) ¿Crees que sería posible obtener una raza pura de perros calvos? ¿Por qué?
- b) ¿Qué proporciones fenotípicas se esperan de un cruce entre los individuos “calvos mejicanos” y “normales” obtenidos en proporción 2:1 del enunciado del problema?

**Problema 21.** En la “serpiente del maíz” la coloración de la piel está controlada por dos genes con dos alelos cada uno de ellos con dominancia completa ( $A,a$  y  $B,b$ ). Cada gen a través de los enzimas codificados por él, controla la síntesis de un pigmento distinto en rutas metabólicas separadas. Uno de esos dos genes produce un pigmento naranja ( $A_$  presencia de pigmento naranja y  $aa$  ausencia del mismo) y el otro gen produce un pigmento negro ( $B_$  presencia de pigmento y  $bb$  ausencia de pigmento negro). Esos dos genes se transmiten independientemente.

- a) ¿Qué tipo interacción mantienen esos dos genes?
- b) Una serpiente de tipo silvestre (con los dos pigmentos) se cruza con una albina (sin pigmentos) y la F1 es toda de color silvestre. ¿Qué composición fenotípica tendrá la F2?
- c) Si se cruzan al azar los individuos naranjas con los negros de la F2 ¿qué composición fenotípica tendrá la descendencia resultante de dicho cruce?

**Problema 22.** En la campanilla, el color silvestre de las flores es azul. Todos los intermediarios de la ruta que llega al pigmento antocianina (azul) son incoloros. Se dispone de dos cepas mutantes blancas, al cruzar plantas con flores blancas de esas dos cepas, las flores de la F1 son todas de color azul. Al cruzar estas plantas de la F1 entre sí, la F2 está compuesta por plantas con flores azules y plantas con flores blancas en proporción 9 azules: 7 blancas.

- a) ¿Qué tipo de herencia explicaría esos resultados?
- b) ¿Qué genotipos tienen las plantas de flores blancas utilizadas en el cruzamiento?
- c) ¿Qué genotipos tienen las plantas de la F1?
- d) ¿Qué genotipos tendrían que tener dos plantas de la F2 para que al cruzarlas se obtengan plantas con flores azules y blancas en proporción 1 azul: 3 blancas?

**Problema 23.** En una ruta metabólica que conduce a la síntesis de un pigmento azul, se parte de un precursor incoloro que por la acción de un primer gen se transforma en un intermediario de color magenta ( $A_$  transforma y  $aa$  no transforma). Este intermediario por la acción de un segundo gen se transforma en un pigmento azul ( $B_$  transforma y  $bb$  no transforma).

- a) Identificar el tipo de interacción génica que mantienen esos dos genes.
- b) Al cruzar un individuo con flores de color magenta con un individuo de flores blancas (incoloro), la descendencia tiene flores de color magenta y al cruzar éstas entre sí,  $\frac{3}{4}$  de la descendencia es de color magenta y  $\frac{1}{4}$  incoloras. Determinar los genotipos de esas plantas.
- c) ¿Qué genotipos tendrían que tener dos plantas azules para que la descendencia obtenida al cruzarlas sea  $\frac{3}{4}$  azules y  $\frac{1}{4}$  magenta?

**Problema 24.** En el perro Labrador, el color del pelo está controlado por la acción de dos genes con dos alelos cada uno de ellos ( $B,b$  y  $E,e$ ). Los individuos con genotipos  $B_$  presentan color negro mientras los individuos  $bb$  tienen color marrón. El segundo gen ( $E,e$ ) hace que el pigmento negro o marrón producido por el primer gen se deposite en el pelo, de manera que en los individuos  $E_$  el pigmento se deposita en el pelo mientras que en los individuos  $ee$  el pigmento no se deposita en el pelo y éstos presentan entonces color dorado .

- a) Identificar el tipo de interacción génica que mantienen esos dos genes.
- b) Individuos de color negro se cruzaron con razas puras de color dorado y la descendencia presentó una composición fenotípica 1 negro: 1 marrón: 2 dorados. ¿Qué genotipos tenían los parentales?
- c) Qué composición fenotípica se espera al cruzar los individuos negros de la F1 anterior?

**Problema 25.** La síntesis de un determinado pigmento en una ruta metabólica es un proceso en dos pasos controlado por dos genes con dos alelos cada uno ( $A,a$  y  $B,b$ ). La enzima codificada por el primer gen necesita dosis doble ( $aa$ ) para poder transformar un precursor incoloro en una sustancia intermedia también incolora. Sobre esta sustancia intermedia actúa el enzima codificado por el segundo gen que también se necesita en dosis doble ( $bb$ ) para poder transformar la sustancia intermedia en un pigmento de color rojo.

- a) ¿Qué tipo de interacción mantienen esos dos genes?
- b) ¿Qué proporciones fenotípicas se esperan de un cruce entre una planta diheterocigota para esos dos genes y una planta con flores rojas?
- c) ¿Qué proporciones fenotípicas se esperan de un cruce entre dos plantas diheterocigotas?

**Problema 26.** Un gen con dos alelos codifica un enzima que transforma un precursor incoloro en una sustancia intermedia que es también incolora. Se necesita al menos un alelo funcional ( $A\_$ ) de ese primer gen para que se pueda llevar a cabo la reacción. Un segundo gen, transforma la sustancia intermedia en pigmento. Este segundo gen tiene dos alelos:  $B$  (pigmento rojo) y  $b$  (pigmento amarillo).

- a) ¿Qué tipo de interacción génica mantienen esos dos genes?
- b) Al cruzar dos líneas, una de flores rojas y la otra de flores blancas se obtiene una F1 compuesta por flores rojas, amarillas y blancas en proporción 1:1:2. ¿Qué genotipos tienen las dos líneas parentales?

**Problema 27.** Un gen con dos alelos codifica un enzima que transforma un precursor incoloro en una sustancia intermedia que es también incolora. Se necesitan los dos alelos funcionales de ese primer gen para que se pueda llevar a cabo la reacción ( $A\_$  no transforma y  $aa$  transforma). Un segundo gen transforma la sustancia intermedia en pigmento verde. Este segundo gen tiene también dos alelos:  $B\_$  que no transforma la sustancia intermedia en pigmento y  $bb$  que transforma la sustancia intermedia en pigmento verde)

- a) ¿Qué tipo de interacción génica mantienen esos dos genes? ¿Por qué?
- b) Al cruzar una líneas de flores blancas con una de flores verdes se obtiene una F1 con flores blancas y verdes en proporción 3/4 blancas y 1/4 verdes. ¿Qué genotipos tienen esas dos líneas?

**Problema 28.** En *Drosophila*, el color morado de los ojos se debe al alelo recesivo de un gen ( $pd$ ). El alelo recesivo ( $s$ ) de otro gen no ligado, suprime el fenotipo mutante "ojos de color morado" ( $pdpd$ ). De esta forma un individuo de genotipo  $pdpdss$  tiene ojos rojos (fenotipo silvestre en *Drosophila* en cuanto al color de ojos se refiere).

- a) ¿Qué interacción génica mantienen esos dos genes?
- b) Si se cruza una mosca de ojos morados y no portadora del alelo supresor con una

---

---

mosca homocigótica de ojos rojos y homocigótica para el supresor, ¿qué composición fenotípica tendrá la descendencia?

- c) ¿Qué genotipos tendrán dos moscas cuya descendencia es 3/4 rojos, 1/4 morados?  
d) ¿Qué genotipos tendrán dos moscas cuya descendencia es 13 rojos:3 morados.

**Problema 29.** Las hojas de las piñas pueden presentar tres fenotipos: “espinosas”, “de punta espinosa” y “sin espinas”. Al cruzar líneas puras de individuos con “punta espinosa” con individuos “espinosas” toda la F1 presentó “punta espinosa” y la F2 una razón fenotípica de 3 “punta espinosa”:1 “espinosa”. Al cruzar líneas puras de individuos “sin espinas” con individuos de “punta espinosa”, la F1 era toda “sin espinas” y la F2 “sin espinas”/”punta espinosa” en relación 3:1. Por último se cruzaron líneas puras de individuos sin espinas con individuos espinosas, la F1 fue sin espinas y la F2 12 “sin espinas”: 3 ”punta espinosa” y 1 “espinosa”.

- a) ¿Cuántos genes están implicados en el carácter “forma de las hojas de la piña”?  
b) Asignar símbolos a esos genes  
c) ¿Mantienen algún tipo de interacción esos genes?  
d) Determinar las proporciones fenotípicas que se esperan al cruzar entre sí los individuos “sin espinas” del último cruce del enunciado

## 4. SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS

### Problema 1.

- a) madre  $X^+ X^d$ ; padre  $X^+ Y$ ;  
b) hijo: niño  $X^d Y$

### Problema 2.

- a) varones: 50% daltónicos, 50% visión normal  
b) mujeres: 50% daltónicas, 50% visión normal (pero portadoras)

### Problema 3.

$$P = \frac{8!}{6!2!} (1/2)^6 (1/2)^2 = 28 (1/2)^8$$

### Problema 4.

- a) 1/8  
b) 1/4  
c) 3/4  
d) puede ser normal o hemofílico  
e) normal

### Problema 5

- a) Sí  
b) Sí  
c) La segunda hipótesis



**Problema 6.**

a) Carácter Asimetría: ligado al sexo dominante  
 Carácter Deformación del pabellón: autosómico recesivo

b)

I-1, X<sup>a</sup>YDd      I-2, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>dd

II-1, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd      II-2, X<sup>A</sup>YDd

II-3, X<sup>A</sup>YDd      II-4, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>dd

II-5, X<sup>a</sup>X<sup>a</sup>dd      II-6, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>dd

II-7, X<sup>a</sup>X<sup>a</sup>dd      II-8, X<sup>A</sup>YDd

III-1, X<sup>A</sup>YDd      III-2, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd

III-3, X<sup>a</sup>Ydd      III-4, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd

III-5, X<sup>A</sup>Ydd      III-6, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd

III-7, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>dd      III-8, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd

III-9, X<sup>a</sup>YDd

IV-1, X<sup>A</sup>YD\_      IV-2, X<sup>A</sup>Ydd

IV-3, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>D\_      IV-4, X<sup>A</sup>YDd

IV-5, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>dd      IV-6, X<sup>A</sup>X<sup>a</sup>Dd

IV-7, X<sup>a</sup>YDd      IV-8, X<sup>a</sup>Ydd

c) 5/12

**Problema 7.**

a) Mujer no calva (C<sub>1</sub> C<sub>2</sub>), la madre calva (C<sub>1</sub> C<sub>1</sub>), el hombre calvo (C<sub>1</sub> C<sub>2</sub>), su padre no calvo (C<sub>2</sub> C<sub>2</sub>)

b) 3/4 de los varones serán calvos y 1/4 de las hijas serán calvas.

**Problema 8.**

a) F1: hembras rojas, machos blancos

F2: Hembras: 25% blancas, 75% rojas

Machos: 25% rojos, 75% blancos

b) Hembra

c) No podría ser C<sup>c</sup>C<sup>c</sup>

**Problema 9.**

$\chi^2_{\text{experimental}} = 1.057 < \chi^2_{\text{teórica}}$  Herencia intermedia

**Problema 10.**

Pelo corto amarillo: 3/16

Pelo corto crema: 6/16

Pelo corto blanco: 3/16

Pelo largo amarillo: 1/16

Pelo largo crema: 2/16

Pelo largo blanco: 1/16

**Problema 11.**

a) 2 parejas alélicas FL/FR CB/CR

b) FLFR CBCR x FLFL CBCB

1/4 larga azul; 1/4 larga púrpura; 1/4 oval azul; 1/4 oval púrpura

FLFR CBCR x FRFR CRCR

1/4 redonda roja; 1/4 oval púrpura; 1/4 oval roja; 1/4 redonda púrpura

c) Se mantendrán las líneas homocigotos parentales, ya que toda su descendencia será de la variedad preferida comercialmente.

**Problema 12.**

- a) Hombre:  $I^A i$ . Mujer:  $I^B i$ . Hijo:  $ii$   
b) Genotipo  $I^A I^B$   $I^A i$   $I^B i$   $ii$   
Fenotipo AB A B 0  
Frecuencia  $1/4$   $1/4$   $1/4$   $1/4$

**Problema 13.**

- a) Padre AB-:  $I^A I^B dd$   
Madre 0+:  $ii DD$  o  $ii Dd$   
Hijo B+:  $I^B i Dd$   
b) El padre no, la madre, sí.

**Problema 14.**

- a) padres 1, 2 y 4  
b) padres 1 y 3  
c) padre 5  
d) padre 2  
e) padre 1

**Problema 15.**

Hay 12 posibles padres:  $I^B \_ L^N \_ R \_$

**Problema 16.**

$I^A i L^M L^N Rr$  x  $I^B i L^M L^N Rr$

**Problema 17.**

50% Cinturón holandes:  $Ss^h Ss^c$   
25% Hereford  $s^h s$   
25% color sólido  $s^c s$

**Problema 18.**

- a) El color del pelo amarillo es dominante para el carácter "color del pelo" y recesivo para el carácter "letalidad".  
b) La cola curvada es dominante  
c)  $AaCc$   
d)  $AA$  letal;  $Aa$  amarillo;  $aa$  agutí.  $C \_$  cola curvada;  $cc$  cola normal

**Problema 19.**

- a) F1: 2/3 normales, 1/3 muescas; F2: 6/7 normales, 1/7 con muescas  
b) F1: 2 hembras:1 macho; F2: 3 machos: 4 hembras  
c) F1: 1:2; F2: 1:6;

**Problema 20.**

- a) No sería posible porque el alelo dominante "calvo" es recesivo para la letalidad. Los "calvos" son heterocigotos  
b) 1 normal: 1 calvo

**Problema 21.**

- a) Interacción génica no epistática
- b) 9 silvestres: 3 naranjas : 3 negros :1 albino
- c) 4/9 silvestres, 2/9 naranjas, 2/9 negros, 1/9 albinos

**Problema 22.**

- a) Epistasis doble recesiva
- b) AAbb y aaBB
- c) AaBb
- d) AaBb y aabb o también Aabb y aa Bb

**Problema 23.**

- a) Epistasis simple recesiva
- b) AAbb y aabb
- c) AABb y AaBb

**Problema 24.**

- a) Epistasis simple recesiva
- b) BbEe y bbee
- c) 9 negros: 4 dorados: 3 marrones

**Problema 25.**

- a) Epistasis doble dominante
- b) 3/4 blancas y 1/4 rojas
- c) 15/16 blancas, 1/16 rojas

**Problema 26.**

- a) Epistasis simple recesiva
- b) AaBb y aabb

**Problema 27.**

- a) Epistasis doble dominante
- b) AaBb y aabb

**Problema 28.**

- a) Epistasis doble dominante y recesiva
- b) Todos de ojos rojos
- c) PdpdSs y pdpdss (ambas de ojos rojos)
- d) PdpdSs y PdpdSs

**Problema 29.**

- a) Dos genes con dos alelos con dominancia completa de un alelo sobre el otro
- b) A\_ sin espinas, B\_ punta espinosa y bb espinosa.
- c) El gen A epistático sobre el B. Al estar el alelo A ya el fenotipo será "sin espinas" independientemente del genotipo del segundo gen, luego la interacción génica que mantienen esos dos genes es epistasis simple dominante.
- d) 32/36 "sin espinas", 3/36 "punta espinosa" y 1/36 "espinosa"