

# MENDELISMO

## 1. GUÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

### *Cruzamientos monohíbridos*

En esta relación de problemas estudiaremos los principios de la segregación y de la transmisión independiente de Mendel, aprenderemos a realizar predicciones de los resultados de los cruzamientos genéticos y a comprender la utilidad de la probabilidad como herramienta en el análisis genético. Comenzaremos con los cruzamientos monohíbridos. Los **cruces monohíbridos** son aquellos cruzamientos en los que ambos progenitores difieren en una única característica. El cruzamiento monohíbrido entre dos líneas puras tiene como resultado una descendencia F1 en la que todos los individuos presentan el fenotipo de uno de los parentales (fenotipo dominante) mientras que en la F2, 3/4 de los descendientes presentan dicho fenotipo y 1/4 presentan el fenotipo del segundo parental (fenotipo recesivo). Para un caso hipotético en el que el carácter está controlado por un gen con dos alelos, uno de los cuáles determina fenotipo dominante (color de flor rojo, por ejemplo) y el otro determina el fenotipo recesivo (blanco), tendremos:

#### Rojo (A) > Blanco (a)

<b>P:</b>	Rojo (AA) x Blanco (aa)
<b>F1:</b>	100% Rojo (Aa)
<b>F2:</b>	1/4 Rojo (AA): 1/2 Rojo (Aa): 1/4 Blanco (aa)

La forma que tenemos de discriminar entre individuos de flor roja homocigóticos y heterocigóticos es mediante un cruzamiento prueba entre estos individuos de color de flor rojo y un parental de prueba homocigótico recesivo (aa), dado que el resultado será diferente en cada caso:

a) Rojo x Blanco: 100% Rojo. En este caso, el individuo de fenotipo rojo era homocigótico AA y la descendencia del cruzamiento prueba será Aa.

b) Rojo x Blanco: 50% Rojo, 50% Blanco. En esta caso, el individuo de fenotipo rojo era heterocigótico Aa y la descendencia será 1/2 AA (rojo) y 1/2 aa (blanco).

### *Probabilidad*

La **probabilidad** expresa la posibilidad de que ocurra un determinado suceso. Se calcula como el número de veces que ocurre un evento particular dividido por el número total de resultados posibles.

Para predecir las proporciones de la descendencia producida por cruzamientos genéticos se utilizan dos reglas probabilísticas:

- **Regla de la multiplicación:** esta regla establece que la probabilidad de que dos o más eventos independientes ocurran simultáneamente. Se calcula multiplicando sus probabilidades independientes.

- **Regla de la adición:** esta regla establece que la probabilidad de ocurrencia de uno solo de dos o más eventos mutuamente excluyentes. Se calcula sumando las probabilidades de cada uno de ellos.

Para determinar la **probabilidad de una combinación particular de eventos** es útil usar la siguiente fórmula:

$$P = \frac{n!}{s!t!} p^s q^t$$

Donde  $P$  equivale a la probabilidad total de un suceso  $X$  con la probabilidad  $p$  de ocurrir  $s$  veces y de un evento  $Y$  con probabilidad  $q$  de ocurrir  $t$  veces. Donde:  $s+t = n$ ;  $p+q = 1$ .

### **Cruzamientos dihíbridos y polihíbridos**

Cuando analizamos la herencia simultánea de dos o más caracteres (cruces di-, tri-, polihíbridos) hay que considerar, para cada gen, los mismos principios que en un cruce monohíbrido, es decir: pueden presentar diferentes alternativas alélicas, existen relaciones de dominancia entre ellos y segregan durante la meiosis.

El principio de segregación establece que dos alelos de un locus se separan al formarse los gametos; el principio de transmisión independiente establece que, cuando esos dos alelos se separan, su separación es independiente de la separación de los alelos ubicados en otros loci.

Este principio mendeliano sólo se cumple en el caso de genes situados en cromosomas diferentes (o también, como veremos más adelante, en genes situados en el mismo cromosoma pero lo suficientemente alejados como para que ocurra entrecruzamiento en cada meiosis)

Hay que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- a) Cuando los alelos de dos loci se separan de forma independiente, los cruzamientos dihíbridos pueden analizarse como dos cruzamientos monohíbridos independientes y luego combinar las proporciones.
- b) Puesto que son dos sucesos independientes, estas combinaciones se calculan mediante la regla de la multiplicación.
- c) En el caso de un cruzamiento entre dos dihíbridos, las proporciones esperadas son 9:3:3:1.
- d) Tipos de gametos producidos en el caso de dos genes:

<u>Individuos (Genotipo)</u>	<u>Gametos</u>	<u>Proporción</u>			
AABB	AB	1			
AABb	AB, Ab	1/2	1/2		
AAbb	Ab	1			
AaBB	AB, aB	1/2	1/2		
AaBb	AB, Ab, aB, ab	1/4	1/4	1/4	1/4
Aabb	Ab, ab	1/2	1/2		
aaBB	aB	1			
aaBb	aB, ab	1/2	1/2		
aabb	ab	1			

Se procede de la misma manera en el caso de tres o más genes, teniendo en cuenta la siguiente **regla**: según el principio de la segregación mendeliana, un gameto recibe sólo un alelo de cada gen.

e) Para obtener el resultado del cruzamiento entre individuos que difieren en dos o más caracteres, se puede realizar un cuadro de Punnet o bien un diagrama ramificado (método de bifurcación):

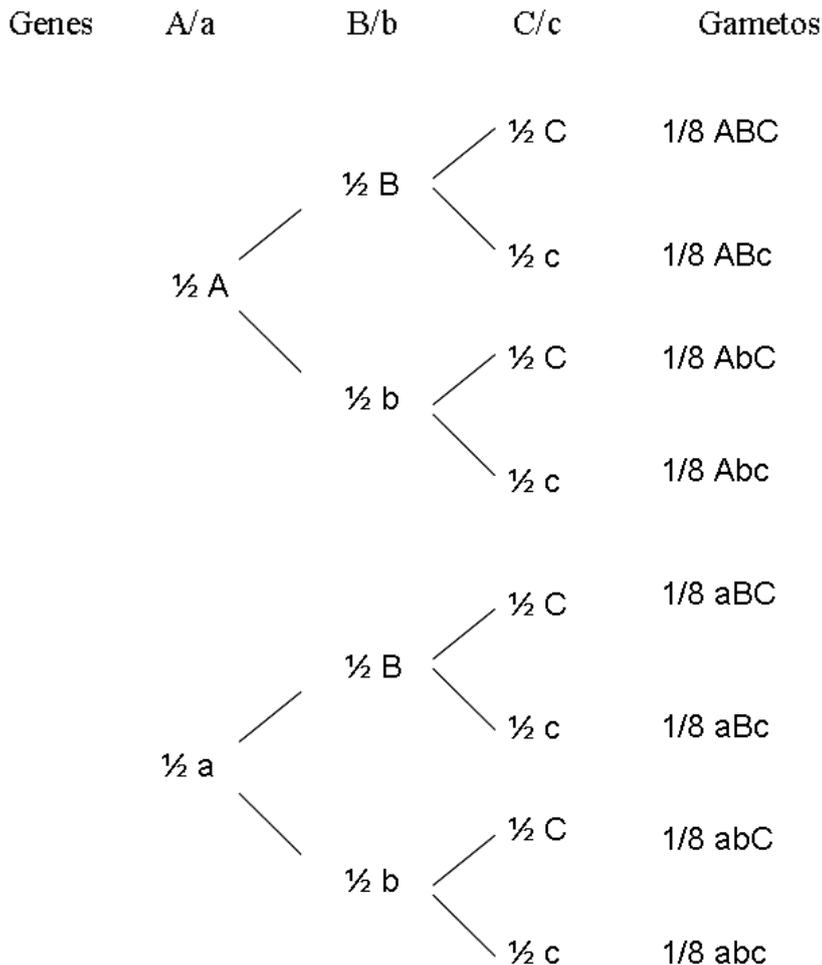
**El cuadro de Punnet** nos permite analizar las proporciones genotípicas y fenotípicas de la descendencia. Por ejemplo, en un cruce de prueba dihíbrido:

Parentales: AaBb x aabb

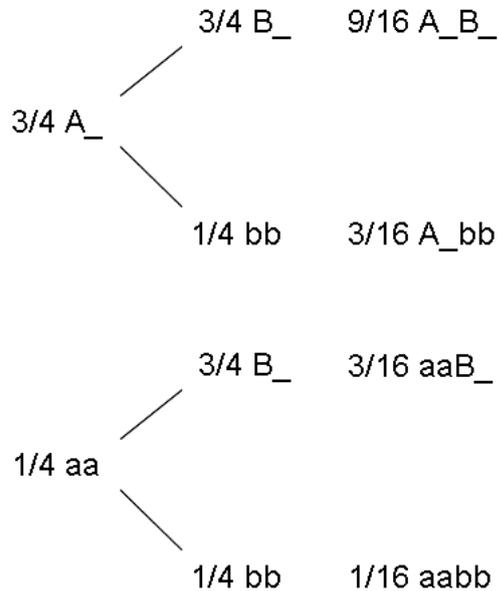
Gametos/Proporción	AB (1/4)	Ab (1/4)	aB (1/4)	ab (1/4)
ab (1)	AaBb (1/4)	Aabb (1/4)	aaBb (1/4)	aabb (1/4)

Se puede observar que el cruzamiento de prueba en el caso de dos genes, da como resultado las proporciones 1:1:1:1. Para tres genes es 1:1:1:1:1:1:1:1, etc.

**El diagrama ramificado (método de bifurcación)** permite analizar de forma rápida, las frecuencias de gametos o las frecuencias fenotípicas de la descendencia. Es útil en el caso de más de dos genes. Ejemplo: la proporción y tipos de gametos que produce un individuo trihíbrido será la siguiente.



De la misma forma se puede aplicar para determinar las frecuencias de las clases fenotípicas esperadas en la F2 de un cruzamiento polihíbrido. En el caso de un cruzamiento dihíbrido (AaBb x AaBb):



f) Cálculo de probabilidades en polihíbridos

Se calculan aplicando el término general de un polinomio. Por ejemplo, en el caso de cruces entre heterocigotos:

- Cálculo de las frecuencias genotípicas: las probabilidades de obtener un descendiente homocigoto dominante, heterocigoto u homocigoto recesivo en el cruce de un monohíbrido son 1/4, 1/2 y 1/4, respectivamente. Generalizando este caso, para  $n$  loci, la probabilidad de obtener un individuo cuyo genotipo sea dominante para  $d$  loci, heterocigoto para  $h$  loci y recesivo para de  $r$  loci será:

$$\frac{n!}{d!h!r!} (1/4)^d (1/2)^h (1/4)^r$$

Donde:  $d+h+r = n$

- Cálculo de las frecuencias fenotípicas: las probabilidades de obtener un descendiente de fenotipo dominante o de fenotipo recesivo de un cruce monohíbrido son 3/4 y 1/4, respectivamente. Generalizando este caso, para  $n$  loci, la probabilidad de obtener un individuo cuyo fenotipo sea dominante para  $d$  loci, y recesivo para de  $r$  loci será:

$$\frac{n!}{d!r!} (3/4)^d (1/4)^r$$

Donde:  $d+ r = n$

### Prueba de la bondad del ajuste de chi-cuadrado

La **prueba de la bondad del ajuste de chi-cuadrado** es una prueba estadística que nos indica cuán correctamente se ajustan los valores observados a los valores esperados en un experimento. Esta prueba no sirve para conocer si un cruzamiento genético se ha realizado de forma correcta, si los resultados son correctos o si hemos elegido la explicación que más se ajusta a nuestros datos. En cambio, sí indica la probabilidad de que la diferencia entre los valores observados y los esperados se deba al azar. Se calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\chi^2_{\text{exp}} = \sum \frac{(\text{Observados} - \text{Esperados})^2}{\text{Esperados}}$$

Donde los valores observados y esperados se consideran en valores absolutos.

A continuación se compara el valor calculado de  $\chi^2$  con los valores teóricos que poseen los mismos grados de libertad en una tabla de  $\chi^2$ . Los grados de libertad representan el número de formas en las cuales las clases esperadas son libres para variar. En la prueba de  $\chi^2$  los grados de libertad equivalen a  $n-1$ , donde  $n$  es el número de clases fenotípicas existentes.

En la tabla, los grados de libertad están indicados en la columna de la izquierda, mientras que la columna superior indica probabilidad. Normalmente se utiliza un nivel de probabilidad de 0.05, que indica que si la probabilidad de que el azar sea el responsable de la desviación observada es igual o mayor de 0.05, las diferencias observadas se deben al azar. Cuando esta probabilidad es menor de 0.05, el azar no es responsable de la desviación y existe una diferencia significativa entre los valores observados y los esperados. Así, si el valor experimental de  $\chi^2$  es menor que el valor teórico para un nivel de significación de 0.05 y un número de grados de libertad de  $n-1$ , no rechazamos la hipótesis que habíamos establecido *a priori* para explicarlos y asumimos que los valores observados se ajustan a los esperados. En caso contrario, rechazaríamos dicha hipótesis.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

Grados de libertad	Probabilidad											
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001	
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83	
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82	
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27	
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47	
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52	
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46	
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32	
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12	
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88	
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59	
	No significativo								Significativo			

## Análisis de pedigrís

Un **pedigrí** es una representación gráfica de la historia familiar que muestra la herencia de una o más características o enfermedades (fenotipos en general). El propósito es facilitar el análisis genético de un fenotipo concreto examinando su patrón de herencia en una familia en particular.

Los símbolos que se pueden encontrar comúnmente son:

**Hembra:**



**Macho:**



**Sexo desconocido o no especificado:**



**Presencia del rasgo:**



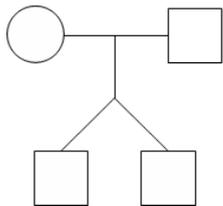
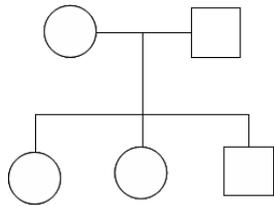
**Ausencia del rasgo:**



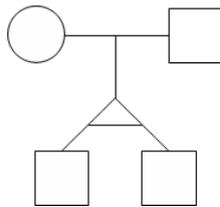
**Representación de dos caracteres:**



**Familia:**



**Gemelos dicigóticos**



**Gemelos monocigóticos**

Las generaciones se suelen identificar con números romanos (I, II, III, IV, V,...) y dentro de cada generación se identifican los individuos con números arábigos (1, 2, 3, 4, 5,...).

## 2. PROBLEMAS RESUELTOS

**Problema 1.** Se cruzaron dos plantas de raza pura, una de tallo largo con otra de tallo corto. En la F2 se obtuvieron los siguientes fenotipos: 3/4 tallo largo y 1/4 tallo corto. El carácter tallo largo es dominante sobre el corto. ¿Cómo será el genotipo de los parentales, de los individuos de la F1 y los de la F2?

*Respuesta*

Denominemos T al alelo dominante que produce tallo largo y t al alelo recesivo.

Tallo largo > tallo corto

T > t (indica que T es dominante sobre t)

Los parentales son dos plantas de raza pura, una de tallo largo y otra de tallo corto. Por tanto, el genotipo de los individuos de este cruce será:

P tallo largo x tallo corto

TT x tt

F1 Todos los descendientes serán de fenotipo tallo largo y heterocigóticos (Tt).

Mediante autofecundación se obtiene la F2.

F2 Tt x Tt

$$\begin{array}{ccc} \text{TT} & \text{Tt} & \text{tt} \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \\ 3/4 \text{ tallo largo} & & 1/4 \text{ tallo corto} \end{array}$$

Como dice el enunciado del problema, en la F2 se obtienen los siguientes fenotipos: 3/4 tallo largo y 1/4 tallo corto, que corresponden a los genotipos TT y Tt (tallo largo) y tt (tallo corto).

**Problema 2.** En la planta de guisante la posición axial de las flores es dominante sobre la posición terminal, representando por “A” el alelo para la posición axial y “a” para la terminal. Se obtienen 400 individuos del cruce de dos plantas heterocigóticas, ¿cuántas tendrán posición axial y cuántas tendrán posición terminal?

*Respuesta*

Posición axial > posición terminal

A > a

El cruce de dos plantas heterocigóticas será: Aa x Aa

Clases genotípicas y proporción en la descendencia: AA (1/4); Aa (1/2); aa (1/4)

Clases fenotípicas y proporción en la descendencia: 3/4 posición axial (AA + Aa); 1/4 posición terminal (aa)

Del total de 400 individuos: 300 tendrán flores en posición axial y 100 tendrán flores en posición terminal.

**Problema 3.** Se cruzaron plantas de pimiento picante con plantas de pimiento dulce. La F1 fue de frutos picantes y en la F2 se obtuvieron 32 plantas de pimientos picantes y 10 de pimientos dulces.

- a) ¿Cuántas de las plantas picantes se espera que sean homocigóticas y cuantas heterocigóticas?  
b) ¿Cómo averiguar cuáles de las 32 plantas picantes son heterocigóticas?

*Respuesta*

**P** picante x dulce  
**F1** picantes (autofecundación para producir la F2)  
**F2** 32 picantes, 10 dulces

El carácter picante es dominante sobre el dulce, ya que del cruce de los parentales (P) se obtiene una descendencia de fenotipo 100% picante:

Picante > dulce  
A > a

Además, los parentales tienen que ser líneas puras:

**P** picante x dulce  
AA x aa el 100% de la F1 serán plantas heterocigóticas, de fenotipo picante:

**F1** picantes  
Aa la autofecundación de la F1 produce plantas picantes y dulces en proporción 3:1,

**F2** AA (1/4) Aa (1/2) aa (1/4)

3/4 picantes (AA + Aa) y 1/4 dulces (aa)

El número de plantas que se obtiene en la F2 son 32 picantes y 10 dulces, valores que se ajustan a las proporciones 3:1 esperadas.

Entre las plantas picantes, 1/3 son homocigóticas y 2/3 heterocigóticas. De esta forma, las 32 plantas de fenotipo picante pueden ser de genotipo AA (homocigóticas) o Aa (heterocigóticas), mientras que las de fenotipo dulce son aa.

a) Hay dos posibilidades genotípicas para las plantas picantes: homocigóticas AA (1/3) y heterocigóticas Aa (2/3). Como se obtenían 32 plantas picantes en la F2: aproximadamente 11 plantas serán AA y 21 plantas serán Aa.

b) Para saber qué plantas picantes de la F2 son heterocigóticas, realizamos un cruzamiento prueba con plantas dulces (aa). En la descendencia obtendremos sólo plantas de pimiento picantes si el parental utilizado era homocigótico AA, mientras que si era heterocigótico Aa, 1/2 de los descendientes serán picantes y 1/2 serán dulces:

Picante x dulce	Picante x dulce
AA x aa	Aa x aa
↓	↓
Todas las plantas de la F1 serían picantes	1/2 picantes (Aa), 1/2 dulces (aa)

**Problema 4.** El albinismo (falta de pigmentación en la piel) en el hombre se debe a un alelo autosómico recesivo (a) mientras que la pigmentación normal es la consecuencia de un alelo dominante (A).

Dos progenitores normales tienen un hijo albino. Determinar la probabilidad de que:

- El siguiente hijo sea albino.
- Los dos hijos inmediatos sean albinos.
- Si los padres tienen dos hijos, que uno sea albino y el otro normal.

*Respuesta*

Pigmentación normal > falta de pigmentación o albinismo  
(A>a)

Si dos progenitores con pigmentación normal tienen un hijo albino, es porque ambos padres tienen que ser heterocigóticos: Aa x Aa

Las proporciones genotípicas y fenotípicas de este cruce (Aa x Aa) serían:

Clases genotípicas y proporción en la descendencia: AA (1/4), Aa (2/4) y aa (1/4).

Clases fenotípicas y proporción en la descendencia: 3/4 pigmentación normal (AA +Aa) y 1/4 albinos (aa).

a) La respuesta al primer apartado sería 1/4, ya que “la probabilidad de que el siguiente hijo sea albino” es un suceso independiente, no influye que ya hayan tenido un hijo albino anteriormente.

b) En este caso los dos hijos inmediatos son albinos, por lo que hay que tener en cuenta la probabilidad de que uno sea albino “y” que el siguiente sea albino también (ambos sucesos son independientes).

Probabilidad de tener un hijo albino (1/4) “y” probabilidad de que el siguiente sea albino (1/4). Recordar la regla de la multiplicación (la probabilidad de que dos o más eventos independientes ocurran simultáneamente se calcula multiplicando sus probabilidades individuales).

Así que el resultado final será:  $1/4 \times 1/4 = 1/16$ .

c) Ahora tenemos que calcular la probabilidad de dos hijos, uno normal “y” otro albino.

Probabilidad de tener un hijo normal (3/4) x probabilidad de uno albino (1/4)

Pero en este caso hay que tener en cuenta otra alternativa: que el primer hijo sea albino y el segundo normal [probabilidad de tener un hijo albino (1/4) x probabilidad de uno normal (3/4)].

Es decir, como el problema no establece el orden de nacimiento de los hijos, hay que tener en cuenta todas las posibilidades:

normal y albino "o" albino y normal

Aplicamos en este ejercicio la regla de la adición (la probabilidad de que ocurra uno solo de dos o más eventos mutuamente excluyentes se calcula sumando las probabilidades de cada uno de ellos). Por tanto, el resultado final sería:

$$(3/4) \times (1/4) + (1/4) \times (3/4) = 6/16 = 3/8$$

**Problema 5.** La polidactilia en la especie humana se debe a un alelo autosómico dominante. Dos primos hermanos polidactílicos y cuyos abuelos comunes eran normales, desean tener siete hijos. Se desea saber las probabilidades siguientes:

- Que ningún hijo sea polidactílico.
- Que los dos mayores sean polidactílicos y los cinco siguientes sean normales.
- Que tres sean polidactílicos y cuatro no.
- Si los tres primeros fuesen normales, ¿cuál es la probabilidad de que el cuarto también lo sea? ¿y de que el quinto sea polidactílico?

*Respuesta*

Al ser la polidactilia un rasgo dominante y ambos miembros de la pareja ser polidactílicos pero sus abuelos comunes normales, ambos deben ser heterocigóticos Aa. Así el cruce es Aa x Aa y la probabilidad de tener un descendiente polidactílico (A\_) será de 3/4 mientras que de ser normal será 1/4 (aa).

a) La probabilidad de que un hijo sea normal es 1/4. La probabilidad de que los siete sean normales será el producto de sus probabilidades individuales:  $(1/4)^7 = 6,1 \times 10^{-5}$

b)  $(3/4) \times (3/4) \times (1/4) \times (1/4) \times (1/4) \times (1/4) \times (1/4) = 5,5 \times 10^{-4}$

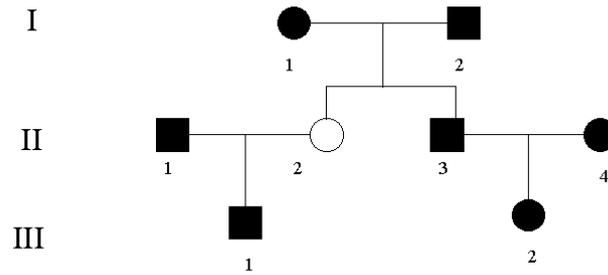
c) En este caso, al contrario de lo que ocurre en el apartado b en el que el orden de los descendientes estaba establecido, ahora existen diferentes posibilidades, tantas como combinaciones posibles de casos cumplan la condición de que tres de los descendientes sean polidactílicos y cuatro sean normales. Así:

$$P = \frac{n!}{s!t!} p^s q^t = \frac{7!}{3!4!} (3/4)^3 (1/4)^4 = 1,65 \times 10^{-3}$$

Donde P equivale a la probabilidad total de un suceso X (nacer con polidactilia) con la probabilidad p (3/4) de ocurrir s veces (3 descendientes polidactílicos) y de un evento Y (normal) con probabilidad q (1/4) de ocurrir t veces (4 descendientes normales).

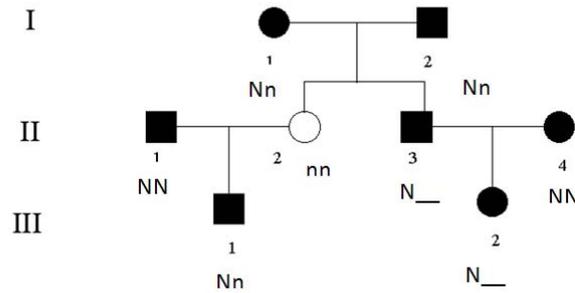
d) Son sucesos independientes uno de otro. Por tanto la probabilidad de que una pareja de heterocigotos tenga un hijo polidactílico es 3/4 y la de que tenga un hijo normal es 1/4, independientemente de la descendencia que haya tenido previamente.

**Problema 6.** El pelo negro de los cobayas está determinado por un alelo dominante N y el blanco por su alelo recesivo n. En el siguiente pedigrí, a menos que haya evidencias de lo contrario, asumir que los individuos II-1 y II-4 no llevan el alelo recesivo y calcular las probabilidades de que un descendiente III-1 x III-2 tenga pelo blanco (los símbolos sólidos representan pelo negro).



*Respuesta*

Los genotipos de cada individuo del pedigrí serán:



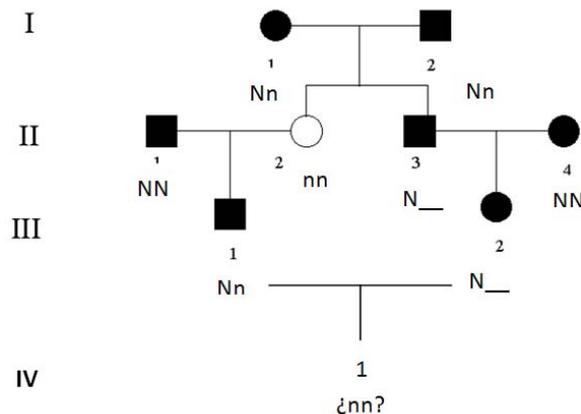
Los individuos I-1 y I-2 tienen que ser los dos heterocigotos porque tienen un descendiente (el individuo II-2) de pelo blanco.

Los individuos II-1 y II-4 son homocigotos dominantes para el carácter tal y como dice el enunciado del problema porque no hay evidencias de lo contrario.

El genotipo del individuo II-3 puede ser NN o Nn, en ambos casos su fenotipo es de pelo negro, pero tendríamos dos alternativas para el genotipo.

Lo mismo ocurre con el individuo III-2 dado que su genotipo puede ser NN o Nn, algo que dependerá del genotipo de su parental II-3 (que éste sea homocigótico dominante o heterocigoto).

El problema nos pide que calculemos las probabilidades de que un descendiente del cruce III-1 x III-2 tenga pelo blanco:



Para que el individuo IV-1 tenga el pelo blanco, el parental III-2 tiene que ser heterocigótico (así ambos parentales transmitirían al descendiente IV-1 el alelo "n").

Pero para que el individuo III-2 sea heterocigótico, el individuo II-3 también tiene que ser heterocigótico.

Vamos a calcular las probabilidades de que los ambos individuos (III-2 y II-3) tengan esos genotipos.

Cruce I-1 x I-2:

$$\begin{array}{c}
 \text{Nn} \times \text{Nn} \\
 \downarrow \\
 \text{NN} \quad \text{Nn} \quad \text{nn} \\
 \underbrace{\hspace{2cm}} \\
 \text{Pelo negro}
 \end{array}$$

Entre los descendientes de pelo negro, tendremos 1/3 de homocigóticos (AA) y 2/3 de heterocigóticos (Aa). Estos valores se corresponden con la relación 1:2 (1/4:2/4) entre homocigóticos y heterocigóticos del total de 3/4 de descendientes de pelo negro resultantes de un cruzamiento entre dos heterocigotos.

Así, la probabilidad de que el individuo II-3 sea heterocigótico será de 2/3.

Cruce II-3 x II-4:

$$\begin{array}{c}
 \text{Nn} \times \text{NN} \\
 \downarrow \\
 \text{NN} \quad \text{Nn} \\
 \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} \\
 \underbrace{\hspace{2cm}} \\
 \text{Pelo negro}
 \end{array}$$

De este cruce obtendríamos el 100% de los descendientes con el pelo negro, pero la mitad serían homocigóticos dominantes y la otra mitad heterocigóticos. Así, la probabilidad de que el individuo III-2 sea heterocigótico es de 1/2.

Cruce III-1 x III-2:

$$\begin{array}{c}
 \text{Nn} \times \text{Nn} \\
 \downarrow \\
 \underbrace{\text{NN} \quad \text{Nn}}_{\frac{3}{4} \text{ Pelo negro}} \quad \underbrace{\text{nn}}_{\frac{1}{4} \text{ pelo blanco}}
 \end{array}$$

La probabilidad de obtener descendientes de pelo blanco de este cruce es de 1/4.

Así, la probabilidad total será:  $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{2}{24} = \frac{1}{12}$

**Problema 7.** Un caballo negro de antepasados desconocidos fue apareado con cierto número de yeguas de color rojo de raza pura. Estos apareamientos dieron 20 descendientes de color rojo y 25 descendientes negros.

- a) ¿Cuál de dichos caracteres fenotípicos es más probable que esté causado por un homocigoto recesivo?  
 b) Según su hipótesis, ¿cuántos individuos de cada clase habría esperado?  
 c) Probar la hipótesis por el método de la  $\chi^2$  e indicar si, basándose en dicha prueba, se aceptaría o se rechazaría la hipótesis.

*Respuesta*

a) Las hembras son de raza pura, así que serán homocigóticas para este carácter. Si fueran homocigóticas dominantes, toda la descendencia debería ser de color rojo. Así que asumimos que el color en los caballos está determinado por un locus con los alelos A (Negro) > a (Rojo) y que el carácter rojo se debe seguramente a la presencia en homocigosis del alelo recesivo a.

b) Los genotipos de los progenitores y de la F1 deben ser los siguientes:

**P:** Caballo Negro Aa x Yegua Roja aa

↓

**F1:** 1/2 Negros Aa      1/2 Rojos aa

c) El número de individuos observados es:

Negros Aa: 25

Rojos aa: 20

Total: 45

El número de individuos esperados según nuestra hipótesis es:

Negros Aa: 22,5 (1/2 de 45)

Rojos aa: 22,5 (1/2 de 45)

Total: 45

Realizamos la prueba de  $\chi^2$  para ver si los datos observados se ajustan a los esperados:

$$\chi_{\text{exp}}^2 = \sum \frac{(\text{Observados} - \text{Esperados})^2}{\text{Esperados}} = (20-22,5)^2/22,5 + (25-22,5)^2/22,5 = 0,545$$

El valor de la  $\chi^2$  teórica para 1 grado de libertad (número de clases fenotípicas menos uno) y un nivel de significación de 0.05 es de 3.841. Dado que la  $\chi^2$  experimental es menor que la  $\chi^2$  teórica, no rechazamos la hipótesis propuesta y asumimos que los valores observados se ajustan a los esperados ( $0.3 < p < 0.5$ ).

**Problema 8.** En el guisante de jardín (*Pisum sativum*) el color de las semillas se debe a dos alelos de un gen: el alelo A determina el color amarillo y es dominante sobre a que determina el color verde. Por otro lado, el alelo L es responsable de la formación de semillas lisas y domina sobre l que determina las semillas rugosas. Al cruzar una planta de semillas verdes y lisas con otra de semillas amarillas y lisas se ha obtenido una descendencia formada por unas plantas con semillas amarillas y lisas y otras con semillas amarillas y rugosas. Determinar los genotipos de los progenitores.

*Respuesta*

- Parental 1. Fenotipo: semillas verdes y lisas. Genotipo: al ser el color verde recesivo, la planta debe ser aa. Sin embargo, el carácter liso es dominante, por lo que debe tener al menos un alelo L\_. Como su descendencia es tanto lisa (L\_), como rugosa (ll), este parental debe ser heterocigoto (Ll). Por tanto, su genotipo será: aaLl

- Parental 2. Fenotipo: semillas amarillas y lisas. Genotipo: al presentar los dos caracteres dominantes, debe tener al menos un alelo dominante de cada gen: A\_L\_, pero podemos saber su genotipo si nos fijamos en la F1: todos los descendientes tienen semillas amarillas y puesto que el otro progenitor era de semillas verdes (aa), éste tiene que ser AA. En cuanto al otro carácter, puesto que en la F1 encontramos tanto individuos con semillas lisas como rugosas, el progenitor debe ser heterocigoto (Ll). Por tanto, su genotipo será: AaLl

**Problema 9.** En los cobayas el pelaje negro (B) es dominante sobre albino (b), y la piel rugosa (R) es dominante sobre la piel lisa (r). Un cobaya negro y rugoso se cruza con otro albino y rugoso y produce la siguiente progenie: 13 negros rugosos, 16 albinos rugosos, 6 negros lisos y 5 albinos lisos. Identificar los genotipos de los padres, usando el método de  $\chi^2$  para probar la hipótesis.

*Respuesta*

El cruzamiento: negro-rugoso (B\_R\_) x albino-rugoso (bbR\_). El hecho de que en la progenie haya individuos albinos-lisos (bbrr) nos indica que el genotipo de los padres debe ser: BbRr y bbRr.

Si nuestra hipótesis es correcta, en la descendencia del cruce BbRr x bbRr, esperaríamos:

Gametos/Proporción	bR (1/2)	br (1/2)
BR (1/4)	BbRR (1/8)	BbRr (1/8)
Br (1/4)	BbRr (1/8)	Bbrr (1/8)
bR (1/4)	bbRR (1/8)	bbRr (1/8)
br (1/4)	bbRr (1/8)	bbrr (1/8)

Es decir:

Negro-rugoso (B\_R\_): 3/8

Negro-liso (B\_rr): 1/8

Albino-rugoso (bbR\_): 3/8

Albino-liso (bbrr): 1/8

Aplicamos el test de  $\chi^2$  para probar nuestra hipótesis:

Los resultados observados son:

Los resultados esperados son:

Negros-rugosos: 13

$$40 \times 3/8 = 15$$

Negros-lisos: 6

$$40 \times 1/8 = 5$$

Albinos-rugosos: 16

$$40 \times 3/8 = 15$$

Albinos-lisos: 5

$$40 \times 1/8 = 5$$

Total: 40

Puesto que hay cuatro clases fenotípicas, el número de grados de libertad es:  $4-1=3$ .

$$\chi^2_{\text{exp}} = \sum \frac{(\text{Observados} - \text{Esperados})^2}{\text{Esperados}} = 0.53; \quad (0.9 < p < 0.95)$$

$$\chi^2_{\text{teórica}} (3; 0,05) = 7,815$$

No se rechaza la hipótesis, por lo que podemos concluir que el genotipo de los padres es: BbRr x bbRr

**Problema 10.** Dos condiciones anormales en el hombre, las cataratas y la fragilidad de huesos, son debidas a alelos dominantes de dos genes diferentes. Una pareja formada por un hombre con cataratas y huesos normales (cuyo padre tenía ojos normales) y una mujer sin cataratas pero con huesos frágiles (cuyo padre tenía huesos normales), desean tener hijos. Indicar la probabilidad de que tengan:

- a) Un descendiente normal
- b) Un descendiente con cataratas y huesos normales
- c) Un descendiente con ojos normales y huesos frágiles
- d) Un descendiente que padezca ambas enfermedades

*Respuesta*

Si denominamos C/c y H/h a los alelos de los genes implicados, siendo C/c los alelos dominante y recesivo del gen implicado en el desarrollo de cataratas y H/h los del gen implicado en la fragilidad de los huesos, el genotipo del hombre es Cchh. Al tener su padre los ojos normales, lo que quiere decir que es homocigoto para este carácter, el hombre tiene que ser portador de un alelo recesivo para este carácter. El genotipo de la mujer es ccHh. Al igual que en el hombre, su padre era homocigoto recesivo para el carácter de huesos y, por tanto, debe portar un alelo recesivo.

Los gametos que produce cada uno de ellos son:

Hombre: Ch y ch

Mujer: cH y ch

El resultado del cruzamiento entre ambos sería:

<b>Gametos/Proporción</b>	<b>cH (1/2)</b>	<b>ch (1/2)</b>
<b>Ch (1/2)</b>	<b>CcHh (1/4)</b>	<b>Cchh (1/4)</b>
<b>ch (1/2)</b>	<b>ccHh (1/4)</b>	<b>cchh (1/4)</b>

Así:

a) La probabilidad de que tengan un descendiente normal, es decir que sea doble homocigoto recesivo (cchh), es de 1/4.

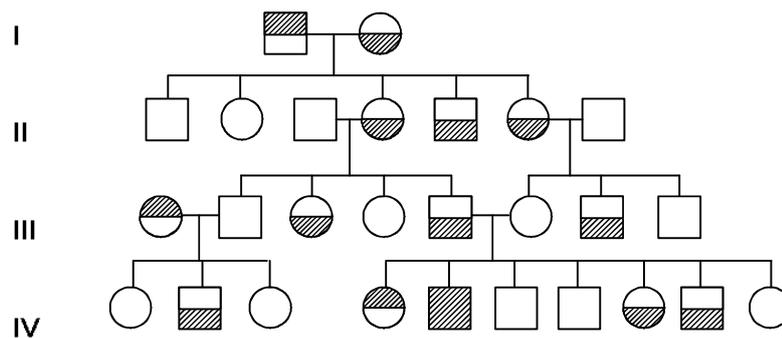
b) En este caso se nos pide la probabilidad de un descendiente con cataratas y huesos normales, por tanto el genotipo es Cc o CC para las cataratas y hh para huesos normales. Como se puede ver en la cuadro de Punnet, sólo uno de los cuatro posibles descendientes (Cchh) cumple las condiciones, por lo que la frecuencia es 1/4.

c) Un descendiente con ojos normales y huesos frágiles tiene como genotipos posibles  $ccHh$  o  $ccHH$ . Si observamos la tabla, vemos que, en este cruce, sólo se obtiene el genotipo  $ccHh$ , con una probabilidad de  $1/4$ .

d) Por último, se nos pide la probabilidad de que nazca un individuo con ambas enfermedades. Esto quiere decir que el individuo puede tener como genotipos posibles  $CCHH$ ,  $CCHh$ ,  $CcHH$  o  $CcHh$ . Sólo uno de estos genotipos ( $CcHh$ ) puede producirse en este cruzamiento. La probabilidad de obtenerlo es de  $1/4$ .

**Problema 11.** En el siguiente pedigrí se presenta la transmisión de dos caracteres en una sola familia. El carácter 1 se indica sombreando la mitad superior del símbolo y el carácter 2 se indica sombreando la mitad inferior. Utilizando símbolos alfabéticos para los genes implicados (por ejemplo  $A/a$  para el carácter 1 y  $B/b$  para el carácter 2) responder a las siguientes preguntas:

- ¿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
- ¿Qué genotipos y fenotipos y qué proporciones se esperarían en el apareamiento entre los individuos IV-3 y IV-5?



*Respuesta*

a) Carácter 1: Dos individuos que no presentan el rasgo en sombreado (III-5 y III-6) tienen una hija (IV-4) y un hijo (IV-5) que lo presentan, por lo que debe ser recesivo.

Carácter 2: Dos individuos sin el rasgo en sombreado (III-1 x III-2) tienen un hijo que sí lo manifiesta (IV-2). Igualmente, debe ser recesivo.

En ambos casos, sólo hay dos fenotipos y la genealogía puede interpretarse considerando que en la herencia de ambos caracteres los rasgos (fenotipos) que aparecen en sombreado están determinados por alelos recesivos de sendos genes autosómicos  $A/a$  y  $B/b$ .

b) Los genotipos de los individuos serán:

I-1,  $aaBb$

I-2,  $A\_bb$

II-1,  $AaBb$

II-2,  $AaBb$

II-3,  $A\_Bb$

II-4,  $Aabb$

II-5,  $Aabb$

II-6,  $Aabb$

II-7,  $A\_Bb$

III-1, aaBb	III-2, A_Bb	III-3, A_bb
III-4, A_Bb	III-5, Aabb	III-6, AaBb
III-7, A_bb	III-8, A_Bb	
IV-1, AaB_	IV-2, Aabb	IV-3, AaB_
IV-4, aaBb	IV-5, aabb	IV-6, A_Bb
IV-7, A_Bb	IV-8, A_bb	IV-9, A_bb
IV-10, A_Bb		

c) IV-3 es de genotipo AaBB ó AaBb. La probabilidad de cada una de estas combinaciones dependerá de la constitución genotípica de sus padres:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{III-1} & \times & \text{III-2} \\
 \text{aaBb} & & \text{A\_Bb} \\
 \downarrow & & \\
 \text{IV-3 AaB\_} & & 
 \end{array}$$

Como sabemos que IV-3 es de fenotipo dominante, será AaBB con probabilidad 1/3 y AaBb con probabilidad 2/3. No importa cómo sean sus padres para el locus A,a, ni que no se sepa con exactitud cuál es el genotipo de su madre para este locus, ya que sabemos que IV-3 es Aa con probabilidad 1.

Por tanto, y dado que IV-5 es aabb, los dos cruces posibles serán:

$$\begin{array}{ccc}
 (1/3) \text{ AaBB} \times \text{aabb} & & (2/3) \text{ AaBb} \times \text{aabb} \\
 \downarrow & & \\
 \begin{array}{l} 1/2 \text{ AaBb} \\ 1/2 \text{ aaBb} \end{array} & & \begin{array}{l} 1/4 \text{ AaBb} \\ 1/4 \text{ aaBb} \\ 1/4 \text{ Aabb} \\ 1/4 \text{ aabb} \end{array}
 \end{array}$$

El primer cruce tiene una probabilidad de 1/3 y el segundo de 2/3, Combinándolos, obtendremos la solución a la pregunta:

Genotipos	Proporciones	Fenotipos
AaBb	$1/2 \times 1/3 + 1/4 \times 2/3 = 1/3$	Dominante para A y B (AB)
aaBb	$1/2 \times 1/3 + 1/4 \times 2/3 = 1/3$	Dominante para B (aB)
Aabb	$1/4 \times 2/3 = 1/6$	Dominante para A (Ab)
aabb	$1/4 \times 2/3 = 1/6$	Recesivo para A y B (ab)

**Problema 12.** En los gallos y gallinas, el rasgo patas plumosas (F) es dominante sobre el rasgo patas limpias (f) y la cresta en guisante (P) sobre la cresta sencilla (p). Dos gallos A y B se cruzan con dos gallinas C y D. Las cuatro aves tienen patas plumosas y la cresta en guisante. El gallo A tiene con ambas gallinas descendencia toda plumosa y con cresta en guisante. El gallo B con la gallina C tiene descendientes con las patas plumosas o limpias, pero todos con la cresta en guisante. El gallo B con la gallina D tiene todos los descendientes plumosos, pero parte con la cresta en guisante y parte con la cresta sencilla. ¿Cuáles son los genotipos de las cuatro aves progenitoras y de los descendientes de cada cruce?

---

---

*Respuesta*

Los individuos progenitores, A, B, C y D, por tener patas plumosas y cresta en guisante, serán  $F\_P\_$ . Habrá que averiguar cómo son los otros dos alelos estudiando cada cruce:

*Cruces A x C y A x D ( $F\_P\_ \times F\_P\_$ )*

Toda la descendencia es plumosa con la cresta en guisante:  $F\_P\_$ . El que no aparezcan individuos con patas limpias (ff) nos indica que es altamente improbable que ambos progenitores porten el alelo f (sin embargo, sí podría llevarlo uno de ellos en cada cruce). Por la misma razón, al no aparecer individuos con cresta sencilla (pp) debemos pensar que el alelo p será portado por un progenitor como máximo en cada cruce.

Por el momento no pueden extraerse más conclusiones de estos cruces.

*Cruce B x C ( $F\_P\_ \times F\_P\_$ )*

Los descendientes son de dos tipos: de patas plumosas y cresta en guisante ( $F\_P\_$ ) y de patas limpias y cresta en guisante ( $ffP\_$ ).

Ello nos lleva a afirmar que B y C son heterocigotos para el gen F (Ff), ya que en su descendencia se encuentra la combinación ff. Respecto al segundo locus, como en los cruces anteriores, resultará muy improbable que ambos progenitores lleven el alelo recesivo, aunque uno de ellos podría ser portador del mismo.

*Cruce B x D ( $FfP\_ \times F\_P\_$ )*

Los descendientes son: plumosos con cresta en guisante ( $F\_P\_$ ) o plumosos con cresta sencilla ( $F\_pp$ ).

Se deduce, por un razonamiento similar al anterior, que B y D son portadores del alelo p, y que sólo uno de ellos llevará el alelo f, en este caso, B. Por tanto, el genotipo de B es, sin género de dudas, FfPp y el de la hembra D es FFPP.

Revisando el cruce B x C, ahora que sabemos el genotipo de B podemos afirmar que el de la hembra C es FfPP.

Volviendo ahora a los cruces A x C y A x D, dado que C porta el alelo f, A no lo llevará probablemente, ni tampoco el p, ya que lo lleva D. Así, el genotipo de A será, por tanto, FFPP.

De este modo, los cruzamientos habrán sido:

A x C:            FFPP x FfPP  
                          ↓  
                          FFPP Todos plumosos con  
                          FfPP cresta en guisante

A x D:            FFPP x FFPP  
                          ↓  
                          FFPP Todos plumosos con  
                          FFPp cresta en guisante

B x C: FfPp x FfPP  
 ↓  
 FFPP Plumosos con cresta  
 FFPp en guisante  
 FfPP  
 FfPp  
  
 ffPP De patas limpias y  
 ffPp cresta en guisante

B x D: FfPp x FFPP  
 ↓  
 FFPP Plumosos con cresta  
 FfPP en guisante  
 FFPp  
 FfPp  
  
 Ffpp Plumosos con cresta  
 Ffpp sencilla

**Problema 13.** Si se autofecunda un individuo heterocigótico para cinco loci independientes (AaBbCcDdEe):

- a) ¿Cuántos gametos genéticamente distintos puede producir?
- b) ¿Qué número de genotipos diferentes aparecerán en la descendencia?
- c) ¿Cuál es la frecuencia esperada de individuos heterocigóticos para tres loci y homocigóticos dominantes para los dos restantes?
- d) ¿Cuál es la frecuencia esperada de descendientes AaBbCcDDEE?

*Respuesta*

a) El individuo es un pentaheterocigoto, es decir, heterocigoto para cinco loci. Como los genes son independientes, la segregación de cada uno de ellos es un suceso independiente de los demás. Hagamos el siguiente razonamiento: Si tenemos en cuenta, por ejemplo, solamente el gen A,a, podemos concluir que un individuo heterocigoto producirá dos tipos diferentes de gametos, uno con el alelo A y otro con el alelo a. El mismo resultado obtendremos si lo hacemos con el resto de los genes ya que el individuo es heterocigoto para los 5 genes. El resultado, puesto que son sucesos independientes, será:  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ , es decir,  $2^5 = 32$ .

b) La descendencia de un cruce pentahíbrido, se ajusta, para cada gen, a las proporciones genotípicas mendelianas: 1/4: 1/2: 1/4. Por ejemplo, para el gen A,a, son 1/4 AA, 1/2 Aa, 1/4 aa, vemos que hay 3 clases genotípicas. Lo mismo ocurre para el resto de los genes y como los cinco genes son independientes, el número de genotipos diferentes es:  $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^5 = 243$

c) Puesto que la pregunta no concreta qué genes deben ser los heterocigotos y cuales los homocigotos, podemos calcular las frecuencias genotípicas utilizando la función de probabilidad de la distribución binomial:

$$\text{Probabilidad} \left[ \begin{array}{l} d \text{ loci homocigóticos } XX \\ h \text{ loci heterocigóticos } Xx \\ r \text{ loci homocigóticos } xx \end{array} \right] = \frac{n!}{d!h!r!} (1/4)^d (1/2)^h (1/4)^r$$

donde n = número de loci

Que, en el caso de la pregunta formulada en el enunciado, resulta ser:

$$\text{Probabilidad} \left[ \begin{array}{l} 2 \text{ loci homocigóticos } XX \\ 3 \text{ loci heterocigóticos } Xx \\ 0 \text{ loci homocigóticos } xx \end{array} \right] = \frac{5!}{2!3!0!} (1/4)^2 (1/2)^3 (1/4)^0 = \frac{10}{128} = \frac{5}{64}$$

d) En este caso, la pregunta incluye la descripción detallada del genotipo de cada uno de los cinco genes, así que para el cálculo de frecuencias multiplicaremos las probabilidades de los genotipos en cada locus:

$$P(AaBbCcDDEE) = P(Aa) \cdot P(Bb) \cdot P(Cc) \cdot P(DD) \cdot P(EE) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{128}$$

### 3. PROBLEMAS PARA RESOLVER

**Problema 1.** Mendel descubrió que en los guisantes la posición axial de las flores es dominante sobre la posición terminal. Representamos por "A" el alelo para la posición axial y por "a" para la terminal. Determinar las clases de progenie producida por cada uno de los siguientes cruzamientos:

- a) AA x aa;
- b) AA x Aa;
- c) Aa x aa;
- d) Aa x Aa.

**Problema 2.** La braquidactilia es un carácter humano raro dominante que causa el acortamiento de los dedos. Varios estudios han puesto de manifiesto que aproximadamente la mitad de la progenie de matrimonios braquidactílicos x normal son braquidactílicos. ¿Que proporción de descendientes braquidactílicos cabría esperar entre dos individuos heterocigóticos?

**Problema 3.** El pelo rizado en perros domina sobre el liso. Del cruce de una pareja de perros de pelo rizado se tuvo un cachorro de pelo rizado. ¿Qué tipo de cruce se podría hacer para comprobar si el cachorro es heterocigoto para este carácter?

**Problema 4.** En un experimento A, una cobaya de pelo blanco se cruza con otra de pelo negro y toda la descendencia obtenida es de pelo blanco. En un experimento B, una cobaya también de pelo blanco se cruza también con una de pelo negro, pero esta vez la descendencia está compuesta por 5 cobayas de pelo negro y otras 5 de pelo blanco. ¿Cómo serán los genotipos de los parentales y la descendencia en los distintos experimentos?

**Problema 5.** En los gatos, el pelaje negro es dominante sobre el gris. Se aparea una hembra de pelo negro cuya madre es gris, con un macho gris. Si la camada obtenida está compuesta de seis cachorros, ¿cuál es la probabilidad de que tres sean negros y tres grises?

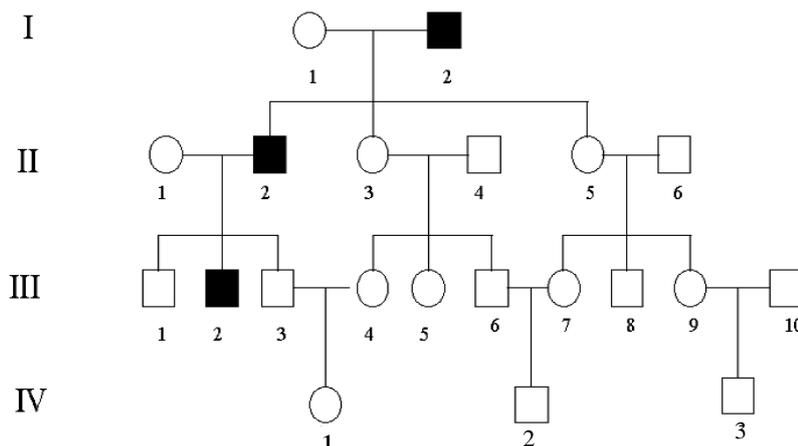
**Problema 6.** La ausencia de molares en la especie humana se debe a un alelo autosómico dominante. Del matrimonio de dos primos hermanos sin molares y cuyos abuelos comunes eran normales, nacen cinco hijos. Se desea saber las probabilidades siguientes:

- a) Todos los hijos sin molares.
- b) Los dos mayores sin molares y los tres pequeños con ellos.
- c) Tres con molares y dos sin ellos.
- d) Si los cuatro primeros son normales, ¿cuál es la probabilidad de que el quinto también lo sea? ¿y de que ese quinto no tuviera molares?.

**Problema 7.** El alelo recesivo *r* de un gen es la causa principal del color rojo del cabello en la especie humana. El cabello oscuro se debe al alelo dominante *R*. En el pedigrí mostrado a continuación asuma, a menos de que haya evidencia de lo contrario, que los individuos que se casan con los miembros de esta familia no son portadores del alelo *r*. Calcule la probabilidad de que un hijo de estos matrimonios tenga el pelo rojo:

- a) III-3 x III-9.
- b) III-4 x III-10.
- c) IV-1 x IV-2.
- d) IV-1 x IV-3.

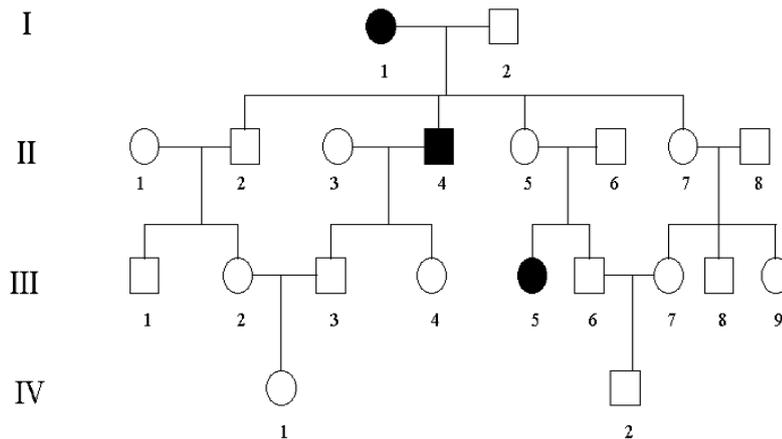
Los símbolos negros representan cabello rojo; los símbolos blancos, cabello oscuro.



**Problema 8.** El alelo que determina el pelaje moteado en los conejos (S) es dominante respecto al alelo para el color sólido (s). En el siguiente pedigrí considere que aquellos individuos que se han unido con los miembros de esta familia no son portadores del alelo del color sólido (s), a menos que esté demostrado lo contrario. Calcule las probabilidades de que nazcan conejos de color sólido en los siguientes apareamientos:

- a) III-1 x III-9.
- b) III-1 x III-5.
- c) III-3 x III-5.
- d) III-4 x III-6.
- e) III-6 x III-9.
- f) IV-1 x IV-2.
- g) III-9 x IV-2.
- h) III-5 x IV-2.
- i) III-6 x IV-1.

Los símbolos negros representan a los animales de color sólido; los símbolos blancos a animales moteados.



**Problema 9.** El pelaje negro en los cocker spaniels está gobernado por el alelo dominante B de un locus y el color rojo por su alelo recesivo b. El patrón uniforme del color está gobernado por el alelo dominante de un locus S, que se transmite independientemente, y el patrón moteado por su alelo recesivo s. Un macho de pelo color negro y uniforme se aparea con una hembra de color rojo y piel moteada, y producen una camada de seis cachorros: dos de color negro uniforme, dos rojo moteado, uno negro moteado y uno rojo uniforme. Determinar los genotipos de los progenitores.

**Problema 10.** Una planta leguminosa de tallo alto, legumbre amarilla y semilla redonda se cruza con otra enana, verde y redonda, dando lugar a 3/8 de plantas altas, verdes y redondas, 3/8 de enanas, verdes y redondas, 1/8 de altas, verdes y rugosas y 1/8 de enanas, verdes y rugosas. Determinar los genotipos de los padres.

**Problema 11.** En la F2 de dos variedades de maíz, obtenidas por el cruce de razas que diferían en dos genes, se obtuvieron las siguientes segregaciones fenotípicas:

	AB	Ab	aB	ab
Variedad a	117	26	18	7
Variedad b	82	12	33	8

¿Es significativa la desviación respecto de la segregación 9:3:3:1 en cada caso?

**Problema 12.** El cabello oscuro (R) en *Homo sapiens*, es dominante sobre cabello rojo (r). El color marrón de los ojos (M) domina sobre el azul (m). Una pareja formada por un hombre de ojos marrones y cabello oscuro y una mujer también de cabello oscuro, pero de ojos azules, tuvieron dos hijos, uno de ojos marrones y pelo rojo y otro de ojos azules y pelo oscuro. Determinar los genotipos de los padres y los de los hijos razonando la respuesta.

**Problema 13.** El cruzamiento de dos individuos de *Drosophila* de tipo salvaje dio una descendencia F1 enteramente de tipo salvaje. Cada mosca de la F1 fue posteriormente cruzada con moscas de ala reducida (mut. vestigial -vg-) y cuerpo negro (mut. ebony -e-). Se obtuvieron los resultados siguientes:

1/4 de los cruces dio: salvajes, vestigial, ebony, vestigial-ebony en la proporción 1:1:1:1.

1/4 de los cruces dio: una descendencia en la que todos eran salvajes.

1/4 de los cruces dio: salvajes, vestigial, en la proporción 1:1.

1/4 de los cruces dio: salvajes, ebony, en la proporción 1:1.

¿Cuáles son los genotipos de los dos individuos de la generación parental?

**Problema 14.** Teniendo en cuenta que en el tomate, el color rojo es dominante sobre el amarillo y el tamaño normal es dominante sobre el enano, si se cruzan tomates rojos híbridos y de tamaño normal homocigóticos, con una variedad amarilla enana. ¿Qué proporción de los tomates rojos de la F2 serán enanos?

**Problema 15.** Si dos pares de alelos se transmiten independientemente, siendo A dominante sobre a y B sobre b, ¿cuál es la probabilidad de obtener: a) un gameto Ab a partir de un individuo AaBb, b) un cigoto AABB a partir de un cruzamiento AaBB x AaBb, c) un gameto Ab a partir de un individuo AABb, d) un cigoto AABB a partir de un cruzamiento aabb x AABB, e) un fenotipo AB a partir de un cruzamiento AaBb x AaBb, f) un fenotipo AB a partir de un cruzamiento AaBb x AABB, y g) un fenotipo aB a partir de un cruzamiento AaBb x AaBB?

**Problema 16.** El carácter normal de pata hendida en los cerdos es producido por el alelo recesivo m, mientras que el alelo dominante M produce una condición de pata de mula. El color blanco del pelo está determinado por un alelo dominante de otro locus B y el negro por su alelo recesivo b. Un cerdo blanco con pata de mula se cruza con una hembra del mismo fenotipo. Entre la descendencia se encontraron seis cerdos blancos con pezuña normal; siete negros con pata de mula; quince blancos con pata de mula y tres negros con pezuña normal. Si se realiza un retrocruzamiento entre uno de los parentales y los individuos de la F1 con color negro con pata hendida ¿Qué frecuencia fenotípica podría esperarse entre la descendencia?

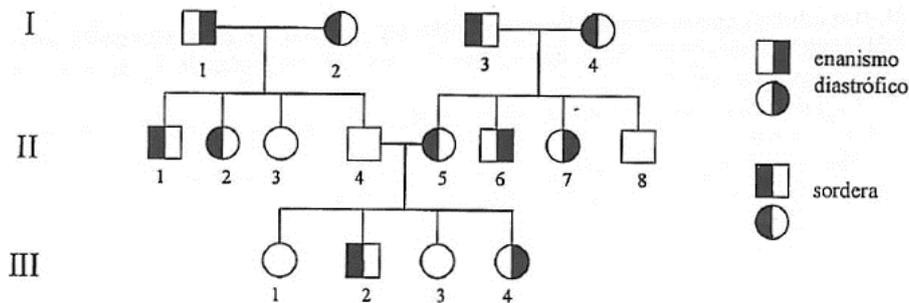
**Problema 17.** Una planta heterocigótica para 4 genes independientes (Aa Bb Cc Dd) se autofecunda. Determinar la frecuencia esperada de los siguientes genotipos en la progenie de esta planta: 1) aa bb cc dd; 2) aa bb Cc Dd; 3) Aa Bb Cc Dd.

**Problema 18.** Se ha obtenido una planta que es heterocigótica para 6 loci independientes (AaBbCcDdEeFf) cada uno de ellos con dos alelos y con dominancia completa. Suponiendo que se autofecunda dicha planta, se desea saber:

- ¿Cuál es la probabilidad de que un descendiente sea triple heterocigoto?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un descendiente sea heterocigoto para cuatro loci y homocigoto recesivo para los otros dos?
- ¿Cuál es la probabilidad de que un descendiente sea homocigoto AA y heterocigoto para los restantes loci?
- ¿Cuántos genotipos distintos pueden formarse que sean heterocigotos para dos loci?

**Problema 19.** Una pareja heterocigótica para 5 genes independientes, tiene un hijo. Si denominamos A,B,C,D,E, a los alelos dominantes y a,b,c,d,e, a los alelos recesivos de estos loci ¿Cuál es la probabilidad de que el hijo tenga fenotipo dominante para 3 de estos caracteres? ¿Y fenotipo ABCde?

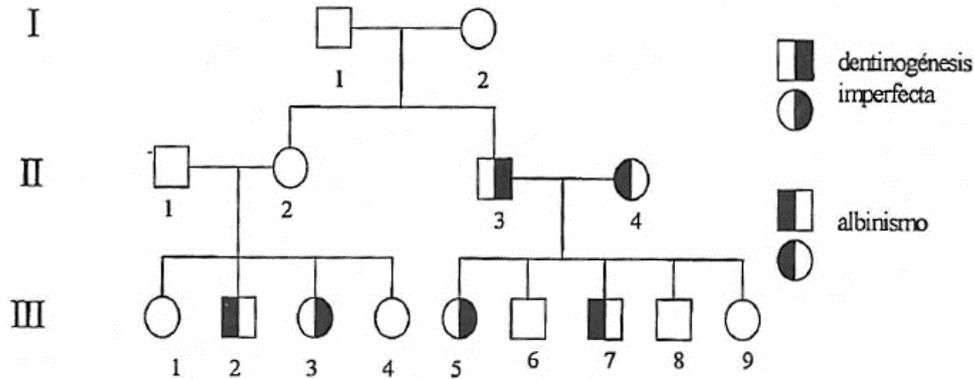
**Problema 20.** La siguiente genealogía muestra a una familia afectada por dos enfermedades que aparecen con baja frecuencia en la especie humana y que se sabe son debidas a genes situados en diferentes cromosomas.



- ¿Cuál es el tipo de herencia de cada una de estas enfermedades (determinar los genotipos de todos los individuos de la genealogía)?
- Calcular la probabilidad de que el primer descendiente de II-1 y III-4 sea:
  - sano/a
  - con sordera
  - afectado/a de enanismo
  - afectado/a sólo por cualquiera de las dos enfermedades.
- Si II-1 y III-4 tienen dos descendientes, ¿cuál es la probabilidad de que cada uno esté afectado por una enfermedad diferente?
- Si tienen 3 hijos, ¿cuál es la probabilidad de que dos estén afectados de sordera y el otro de enanismo diastrófico?

**Problema 21.** La siguiente genealogía muestra una familia afectada por dos enfermedades que aparecen con baja frecuencia en la especie humana,

dentinogénesis imperfecta y albinismo, y que se deben a genes situados en diferentes cromosomas.



- ¿Cuál es el tipo de herencia de cada una de estas enfermedades
- Determinar los genotipos de todos los individuos de la genealogía
- Calcular la probabilidad de que el primer descendiente de III-3 y III-7 sea:
  - sano,
  - afectado por las dos enfermedades
- Si III-3 y III-7 tienen cuatro descendientes, ¿cuál será la probabilidad de que
  - dos estén afectados por dentinogénesis?
  - sólo el tercero sea albino?

**Problema 22.** Se sabe que el color del pelaje en los ratones está determinado por varios genes. La presencia de una banda amarilla de pigmento cerca de la punta del pelo se llama patrón "agutí" y es producida por el alelo dominante A. La condición recesiva de este locus (aa) no tiene esta banda subapical y se conoce como no agutí. El alelo dominante de otro locus B produce color negro y el genotipo recesivo bb produce café. El genotipo homocigótico cc restringe la producción de pigmento a las extremidades del cuerpo en un patrón denominado Himalaya, mientras que el alelo dominante C permite que el pigmento se distribuya sobre todo el cuerpo. Al cruzar ratones de raza pura agutís, color café y patrón Himalaya con ratones, también de raza pura, no agutís, negros, no Himalayas, a) ¿cuáles son las proporciones fenotípicas esperadas en la F1 y en la F2? b) ¿Qué porcentaje de la F2 totalmente coloreada, negra y agutí se espera que sea de genotipo AaBBcc? c) ¿Qué porcentaje de todos los ratones Himalaya de la F2 podrían mostrar el pigmento café? d) ¿Qué porcentaje de todos los agutís en la F2 podría esperarse que muestren pigmento negro?

## 4. SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS

### Problema 1

- 100% Aa (fenotipo posición axial)
- 50% AA (fenotipo posición axial); 50% Aa (fenotipo posición axial)
- 50% Aa (fenotipo posición axial); 50% aa (fenotipo posición terminal)
- 25% AA (fenotipo posición axial); 50% Aa (fenotipo posición axial); 25% aa (fenotipo posición terminal)

**Problema 2**

75% Braquidactílicos (BB y Bb)

**Problema 3**

Un cruce de prueba con una hembra de pelo liso.

**Problema 4**

Experimento A: BB (blanco) x bb (negro): 100% Bb (blanco)

Experimento B: Bb (blanco) x bb (negro): 50% Bb (blanco), 50% bb (negro)

**Problema 5.** 5/16

**Problema 6**

a)  $243/1024=23.7\%$

b)  $9/1024 = 0.8\%$

c)  $90/1024 = 8.8\%$

d) normal 1/4; sin molares 3/4

**Problema 7**

Genotipos:

I-1: Rr I-2: rr

II-1: Rr II-2: rr II-3: Rr II-4: RR II-5: Rr II-6: RR

III-1: Rr III-2: rr III-3: Rr III-4: R\_ III-5: R\_ III-6: R\_ III-7: R\_ III-8: R\_ III-9: R\_ III-10: RR

IV-1: R\_ IV-2: R\_ IV-3: R\_

a) 1/8

b) 0

c)  $1/4 \times 7/12 \times 5/12 = 0.061$

d)  $1/4 \times 7/12 \times 1/4 = 0.036$

**Problema 8**

Genotipos:

I-1: ss I-2: Ss

II-1: SS II-2: Ss II-3: SS II-4: ss II-5: Ss II-6: Ss II-7: Ss II-8: SS

III-1: S\_ III-2: S\_ III-3: Ss III-4: Ss III-5: ss III-6: S\_ III-7: S\_ III-8: S\_ III-9: S\_

IV-1: S\_ IV-2: S\_

a) 1/16.

b) 1/4.

c) 1/2.

d) 1/6.

e) 1/12.

f) 0.069.

g) 0.059.

h) 0.236.

i) 0.097.

---

---

**Problema 9.** BbSs x bbss

**Problema 10.** Con los datos aportados no se puede conocer cuál de los dos fenotipos que afectan a la altura del tallo (alto o enano) es dominante.

V = legumbre verde; v = legumbre amarilla

R = semilla redonda; r = semilla rugosa.

Así, una posibilidad sería:

Tallo alto, legumbre amarilla y semilla redonda: AavvRr

Tallo enano, legumbre verde y semilla redonda: aaVVRr

Alternativamente:

Tallo alto, legumbre amarilla y semilla redonda: aavvRr

Tallo enano, legumbre verde y semilla redonda: AaVVRr

**Problema 11.** La desviación de la variedad **a** sí es significativa respecto a la proporción 9:3:3:1;

$\chi^2_{3g.l.}$  experimental = 13,27. (P < 0,005). La  $\chi^2_{3g.l.}$  teórica = 7,81, P < 0,01

La desviación de la variedad **b** también es significativa respecto a la proporción 9:3:3:1;

$\chi^2_{3g.l.}$  experimental = 9,84. (P: 0,02-0,01). La  $\chi^2_{3g.l.}$  teórica = 7,81.

**Problema 12.** Hombre: MmRr. Mujer: mmRr. Hijos: Mmrr, mmR\_

**Problema 13.**  $vg^+vg^+e^+e^+$ ,  $vg^+vg e^+e$

**Problema 14.**

Parentales: RrNN (Rojos Normales) x rrnn (Amarillos Enanos)

F1: Rr Nn (Rojos normales), rrNn (amarillos normales)

F2: La proporción de tomates rojos que son enanos es 1/4.

**Problema 15.** a) 1/4; b) 1/8; c) 1/2; d) 0; e) 9/16; f) 1; g) 1/4

**Problema 16.** 1/4 blanco-normal:1/4 blanco-mula:1/4 negro-normal:1/4 negro-mula.

**Problema 17.**

1)  $(1/4)^4 = 0.0039$

2)  $(1/2)^2(1/4)^2 = 0.0156$

3)  $(1/2)^4 = 0.0625$

---

---

**Problema 18.**

a)  $20/64=0.3125$  b)  $15/256=0.0586$  c)  $1/128=0.0078$  d) 240

**Problema 19.**

a)  $P = 0,26$

b)  $P = 0,009$

**Problema 20.**

1) Sordera: autosómico dominante; Enanismo: autosómico recesivo.

S (sordera) > s y E > e (enanismo)

I-1: eess; I-2: E\_Ss; I-3: EeSs; I-4: EeSs

II-1: EeSs; II-2: EeSs; II-3: Eess; II-4: Eess; II-5: EeSs; II-6: eess; II-7: eess; II-8: E\_ss

III-1: E\_ss; III-2: E\_Ss; III-3: E\_ss; III-4: eess

2) a)  $1/4$  b)  $1/2$  c)  $1/2$  d)  $1/2$

3)  $1/8$

4)  $3/64$

**Problema 21.**

a) Albinismo y dentinogénesis son autosómicas recesivas.

b)  $D>d$  (dentinogénesis imperfecta) y  $A>a$  (albinismo)

I-1: DdA\_ ; I-2: DdA\_

II-1: DdAa; II-2: DdAa; II-3: ddAa; II-4: Ddaa

III-1: D\_A\_ ; III-2: D\_aa; III-3: ddA\_ ; III-4: D\_A\_ ; III-5: ddAa; III-6: DdAa; III-7: Ddaa; III-8: DdAa; III-9: DdAa

c) 1)  $1/3$ ; 2)  $1/6$

d) 1)  $3/8=0,375$ ; 2)  $8/81=0,0987$

**Problema 22.**

a) Genotipo de los parentales: AAbbcc x aaBBCC; F1: todos AaBbCc (agutí-negro-no Himalaya); F2: las proporciones de un trihíbrido: 27:9:9:9:3:3:3:1

b)  $2/3 \times 1/3 \times 2/3 = 4/27$  (14,8%)

c) 25%

d) 75%