

## La aplicación de la probabilidad en Genética.

En biología, incluida la genética, se usan diversos cálculos de probabilidades. Para el estudio de la herencia, se utilizan la regla de la suma y la regla del producto para calcular la frecuencia esperada de posibles genotipos y fenotipos en los descendientes.

La probabilidad influye en la herencia igual que en cualquier evento al azar (como al tirar una moneda). Esto se debe a que la segregación de los alelos en los gametos durante la meiosis y la unión de dos alelos (a través de los gametos) se dan al azar, dependiendo únicamente de las frecuencias iniciales de los alelos en los progenitores.

La probabilidad en genética es un simple análisis matemático de proporciones para ayudar a entender y determinar patrones de herencia, como la probabilidad de que un hijo o hija posea un genotipo específico.

**Las probabilidades en genética se usan para determinar qué tipos de genotipos podemos esperar en la descendencia entre dos individuos, así como sus frecuencias.**

Luego, a partir de los genotipos, podemos también calcular las frecuencias de cada posible fenotipo.

Las probabilidades genéticas siguen las mismas reglas matemáticas de probabilidad.

Por ejemplo: ¿Cuál es la probabilidad de obtener cara o cruz al tirar una moneda?

Seguramente, sabes que hay una probabilidad de uno en dos ( $\frac{1}{2}$ ) de obtener cara y uno en dos ( $\frac{1}{2}$ ) de obtener cruz. Esto es porque solamente existen esas dos opciones y ambas son igualmente probables; por lo que cada vez que tiras una moneda, cada opción tiene la mitad de la probabilidad total (equivalente a 1). Pues es igual con la genética: nuestras opciones son los alelos que cada padre puede transmitir a través de sus gametos (ovocito o espermatozoide).

*Las probabilidades matemáticas para eventos al azar funcionan también para la herencia, porque la segregación de los alelos en los gametos durante la meiosis y la unión de dos alelos (a través de los gametos) se dan al azar, dependiendo únicamente de las frecuencias iniciales de los alelos en los progenitores.*

En una planta, si uno de los progenitores tiene dos alelos distintos para el color de las semillas (amarillo-**A** y verde-**a**), la probabilidad de transmitir cualquiera de los dos a su descendencia es  $\frac{1}{2}$  para cada alelo; (igual que con la moneda). Si el otro progenitor tiene dos alelos iguales (verde y verde), la probabilidad de transmitir el alelo **a** es 1 o 100 %. (ver figura 1)

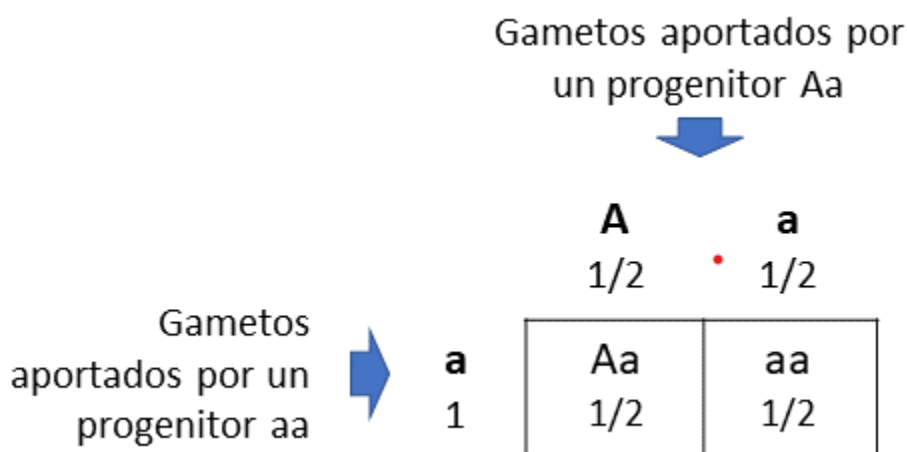


Figura 1: Cruce entre dos progenitores (Aa x aa) mostrando las probabilidades para cada tipo de gameto y para los posibles genotipos en la progenie.

Leyes de la probabilidad en genética:

Hay dos leyes que implican el cálculo de probabilidades y proporciones en genética. La primera es la **ley de la suma** y la segunda es la **ley del producto**. Vamos a definir las, una por una, antes de utilizarlas para examinar algunos casos y problemas.

Definiciones clave de la probabilidad en genética:

La ley de la suma (o regla de la suma): para hallar la probabilidad de que se produzcan dos (o más) sucesos, siempre que todos los sucesos sean mutuamente excluyentes (lo que significa que bien puede ocurrir un suceso, o bien puede ocurrir el otro; pero, no ambos), hay que sumar las probabilidades de que se produzca cada uno de ellos.

- La regla de la suma también se conoce como la regla "O". Si ves frases que contienen la palabra "o", debes utilizar esta ley. Por ejemplo, "¿cuál es la probabilidad de que ocurra esto o aquello?", o "¿cuál es la probabilidad de que se exprese este o aquel rasgo?".

La ley del producto (o regla del producto): para hallar la probabilidad de que ocurran dos (o más) sucesos, siempre que todos los sucesos sean independientes entre sí (pueden ocurrir todos al mismo tiempo), multiplica las probabilidades de que ocurran todos los sucesos individuales.

- La regla del producto también se conoce como la regla "Y" o "AMBOS". Cuando veas frases que contengan "y" o "ambos", debes utilizar la ley del producto. Por ejemplo, "¿Cuál es la probabilidad de que ocurra esto y aquello?" o "¿Cuál es la probabilidad de que se expresen ambos rasgos?".

Aplicación de la probabilidad en genética

Una de las herramientas utilizadas en genética es el **cuadrado de Punnett**. Se utiliza mejor para examinar los cruces de dos alelos en uno o, un máximo, de dos genes. Si utilizas un cuadrado de Punnett para examinar este tipo de cruce: Aa x Aa, obtendrás cuatro casillas para examinar los genotipos de la descendencia. En otras palabras, tendrás cuatro casillas para un cruce que involucre un gen con dos posibles alelos (ver figura 2).

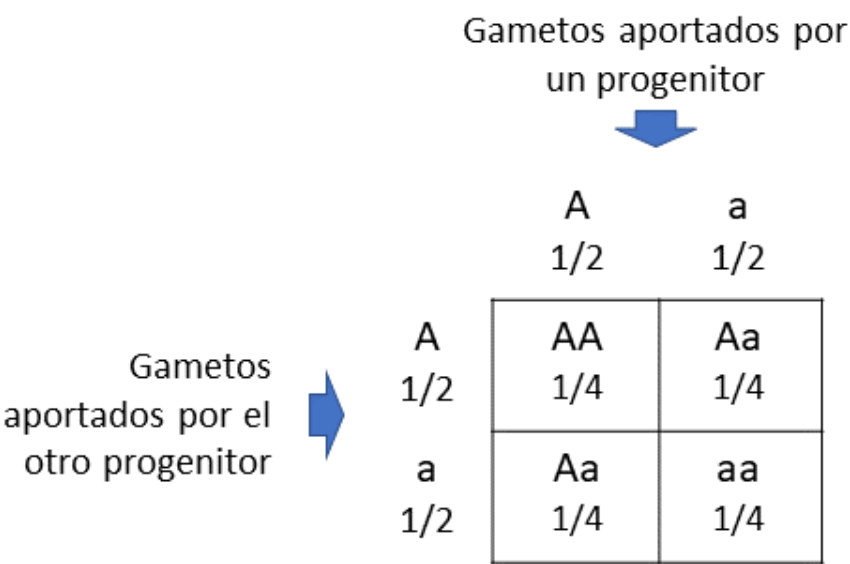


Figura 2: Cruce entre dos heterocigotos mostrando las probabilidades para cada tipo de gameto y para los posibles genotipos en la progenie.

Si se utiliza un cuadrado de Punnett para examinar un cruce que involucre dos genes: AaBb x AaBb, por ejemplo, se necesitan 16 casillas para examinar los genotipos de la descendencia (ver figura 3). Es decir, dieciséis casillas para un cruce que involucra dos genes con dos alelos posibles cada uno.

	AB	Ab	aB	ab
	1/4	1/4	1/4	1/4
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
1/4				
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
1/4				
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
1/4				
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb
1/4				

¿Puedes ver el aumento exponencial del número de casillas y, por tanto, el trabajo meticulado que requiere un cuadrado de Punnett de ese tamaño? ¡Ni siquiera imaginemos cuántos cuadrados necesitaría un cruce de tres genes! Si ya lo sabemos son 64 combinaciones.

En última instancia, a partir de cierto punto, los cuadrados de Punnett no son una opción viable. Por lo tanto, es necesario recurrir a la probabilidad y a la matemática sencilla. Además, incluso para los cruces sencillos de un solo gen, la probabilidad puede utilizarse para corroborar nuestros cuadrados de Punnett.

**Ejemplos de probabilidad en genética:**

Empecemos con un cruce sencillo de dos plantas homocigotas (o puras). Estas plantas siguen los principios de la herencia mendeliana (esta es una suposición que hay que hacer en los cálculos de probabilidad, a menos que se indique lo contrario), por lo que hay una dominancia completa entre los alelos, una segregación de alelos y una distribución independiente de alelos de diferentes genes.

El alelo para plantas altas (T) es dominante sobre el alelo para plantas bajas (t). Como ambos padres son homocigotos, solo tienen un tipo de alelo para dar. Así, sabemos que la planta alta (TT) debe dar alelos T (en el 100% de sus gametos) y la planta baja (tt) debe dar alelos t (en el 100% de sus gametos), por lo que la primera generación filial (F1) tendrá una descendencia solamente con el genotipo Tt.

- Los dos individuos parentales puros se denominan generación P; cuando se cruzan, sus descendientes son la F1. Si se realiza el cruce F1 x F1, sus descendientes son la F2. Si se cruza F2 x F2, sus descendientes son la F3, y así sucesivamente.

Ahora, continuemos con un cruce entre dos plantas F1. Este tipo de cruce es monohíbrido porque ambas plantas son híbridas (heterocigotas) para un mismo gen.

Cada progenitor puede dar alelos T (0.5 o 50 % de los gametos) o t (0.5 o 50% de los gametos), y el alelo de un progenitor debe combinarse con el alelo del otro progenitor.

Podemos obtener tres genotipos posibles: TT, Tt, tt. La probabilidad (que representaremos como Pr [evento]) de obtener cada uno es:

- una planta alta homocigótica TT:

$$\text{Pr (g.hembra T)} \times \text{Pr (g.macho T)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

- una planta alta heterocigótica Tt: tenemos dos formas de obtener un heterocigoto

$$\text{Pr (g.hembra T)} \times \text{Pr (g.macho t)} + \text{Pr (g.hembra t)} \times \text{Pr (g.macho T)} =$$

$$\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

- una planta corta homocigótica tt:

$$\text{Pr (g.hembra t)} \times \text{Pr (g.macho t)} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

Ahora, vamos a responder a otras preguntas.

Es importante analizar cada parte de cada pregunta para entender lo que nos están pidiendo y, así, obtener la respuesta final.

A. ¿Cuál es la probabilidad de tener una planta alta en la generación F2?

- Las plantas altas pueden tener genotipo TT o Tt. Por tanto, buscamos ambos genotipos.
- Recordemos que la ocurrencia de un evento “O” (la ocurrencia de otro) en probabilidad significa suma.

Como resultado, según la regla de la suma (usamos las probabilidades para cada genotipo que obtuvimos anteriormente):

$$\text{Pr (TT o Tt)} = \text{Pr (TT)} + \text{Pr (Tt)} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

B. ¿Cuál es la probabilidad de tener dos descendientes altos en la generación F2?

Según la pregunta A, sabemos que cada descendiente tiene una probabilidad de  $\frac{3}{4}$  de ser alto.

Dos descendientes altos es Pr (TT o Tt) y Pr (TT o Tt)

Por lo tanto, según la regla del producto:

$$\text{Pr (alto)} \times \text{Pr (alto)} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$$

C. ¿Cuál es la probabilidad de tener un descendiente bajo y otro alto en la generación F2?

Tenemos que encontrar Pr (bajo) y Pr (alto), lo que significa multiplicar:

$$\text{Pr (corto)} \times \text{Pr (alto)} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$$

Un ejemplo más complejo: el cruce de dihíbridos.

Los dihíbridos son organismos que presentan dos alelos diferentes.

Muchos genes de los seres humanos no siguen los principios de la genética mendeliana, pero utilizaremos dos que sí lo hacen. Los alelos de las pecas (F) y del pico de viuda (W) —esa línea de cabello única en forma de V— son dominantes en sus respectivos loci genéticos. Por lo tanto, los alelos de la ausencia de pecas (f) y del pico de viuda (w) son recesivos.

¿Qué pasaría si dos personas que son dihíbridas y heterocigóticas para los rasgos de pico de viuda (Ww) y pecas (Ff) se casan y tienen hijos? ¿Qué genotipos podrían formar? ¿Cuál es el posible resultado genético de su descendencia?

Examinemos y respondamos a estas preguntas:

A. ¿Cómo es el fenotipo de los dihíbridos para los picos de viuda y las pecas?

Ambos tendrían pecas y picos de viuda, porque son heterocigotos para esos rasgos, que son dominantes.

B. ¿Cuál es el genotipo de estos padres?

FfWw para ambos padres.

C. Dado que ambos padres tienen el mismo genotipo, pueden producir los mismos alelos posibles en sus gametos. ¿Cuáles son estas posibilidades?

Debido a que estos rasgos siguen la herencia mendeliana, los alelos para cada gen se distribuyen de forma independiente en cada gameto. Por lo tanto, la probabilidad de que un progenitor transmita un alelo F o f sigue siendo de  $1/2$ , al igual que la probabilidad de que transmita un alelo W o w.

D. ¿Cuál es la probabilidad de que estos progenitores dihíbridos tengan dos hijos con pecas y picos de viuda?

En primer lugar, necesitamos saber la probabilidad de tener un solo hijo con pecas y pico de viuda (esto es el fenotipo dominante para ambos rasgos): Pr (FF o Ff) y Pr (WW o Ww)

Ahora conocemos la probabilidad de cada genotipo, ya que es igual a nuestro ejemplo para un solo gen (pero, ten en cuenta que ahora son dos rasgos y la probabilidad es independiente para cada uno): Pr (FF) =  $1/4$ ; Pr (Ff) =  $1/2$ ; Pr (WW) =  $1/4$ ; Pr (Ww) =  $1/2$ .

Según la ley de la suma y el producto, necesitamos obtener Pr (FF + Ff) x Pr (WW + Ww)

$$\text{Esto es} = (1/4 + 1/2) \times (1/4 + 1/2) = 3/4 \times 3/4 = 9/16$$

Recuerda que esta es la probabilidad de tener pecas y pico de viuda en un ÚNICO hijo o hija. Pero, nos preguntaron la probabilidad de tener dos hijos con estos rasgos: Pr (pecas y pico de viuda) y Pr (pecas y pico de viuda)

$$\text{Esto es} = 9/16 \times 9/16 = 81/256$$

Hay dos leyes o reglas clave de la probabilidad en genética: la ley de la suma y la ley del producto.

Repasando genética y probabilidad:

- La ley de la suma también se denomina ley "O", lo que significa que se utiliza para sumar dos probabilidades cuando se determinan las probabilidades de una o la otra posibilidad.
- La ley del producto también se denomina ley "Y"; es decir, se utiliza para multiplicar las probabilidades entre sí cuando se determinan las probabilidades de una y otra posibilidad.
- Los cuadrados de Punnett se utilizan mejor para el análisis de solamente uno o dos genes de rasgos que obedecen a la genética mendeliana.
- Si se requieren evaluaciones genéticas más complejas, las probabilidades y las matemáticas simples son necesarias para ayudar a analizar los genotipos y fenotipos potenciales de la descendencia

Responda:

- 1- ¿Qué alternativas podemos utilizar a los cuadrados de Punnett para determinar probabilidades genéticas de cruces complejos?
- 2- ¿Qué es un cuadrado de Punnett?
- 3- ¿Cuál es la proporción fenotípica de un cruce monohíbrido de línea pura de la F1 y F2?
- 4- ¿Cuál es la proporción fenotípica de un cruce dihíbrido de líneas puras de la F1 y F2?
- 5- Asumiendo patrones de herencia mendeliana, ¿Cuántos tipos de fenotipos deberíamos obtener del cruce  $Aa \times aa$ ?
- 6- Asumiendo patrones de herencia mendeliana, ¿Cuántos tipos de fenotipos deberíamos obtener del cruce  $AaBb \times AaBb$ ?

Por el momento es la breve introducción a probabilidad, vaya leyendo por ahí la pirámide de Pascal y factorial, porque este tema se amplía con eso.