

## 1 EXPERIMENTO ALEATORIO

Un **experimento aleatorio** o no determinista es aquél que si se repite varias veces no está garantizado obtener siempre el mismo resultado. Es decir, no se puede determinar cuál va a ser el resultado del experimento hasta que no se realiza. En caso contrario, decimos que el experimento es **determinista**

Un experimento es aleatorio cuando depende de muchos factores y cualquier pequeña modificación de alguno implica obtener un resultado diferente.

### 1.1. Ejemplos

- **Aleatorio:** Lanzar un dado y ver el resultado
- **Determinista:** Calcular el tiempo que tarda en caer un objeto al suelo desde una distancia determinada

## 2 ESPACIO MUESTRAL Y SUCESOS

- **Espacio muestral:** Conjunto de los posibles resultados del experimento. Se denota:  $E$
- **Sucesos simples o elementales:** Cualquiera de los elementos del espacio muestral
- **Sucesos compuestos:** Sucesos formados por varios simples.
- **Suceso seguro:** Suceso compuesto por los elementos del Espacio muestral. Se cumple siempre
- **Suceso imposible:** Cualquier suceso que no se cumpla nunca. Se denota con el símbolo:  $\emptyset$
- **Suceso contrario:** Si  $A$  es un suceso,  $\bar{A}$  es el suceso contrario. Es aquel que se cumple cuando no se cumple  $A$

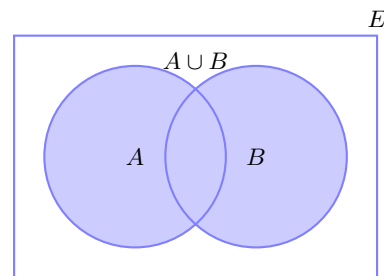
### 2.1. Ejemplo:

Lanzamos un dado y comprobamos la cara que sale.

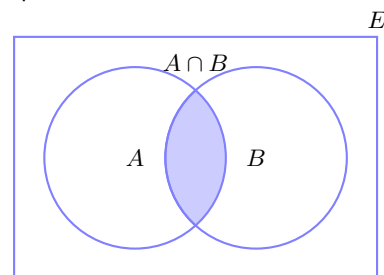
- **Espacio muestral:**  $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- **Sucesos simples o elementales:** 1, 2, 3, 4, 5 ó 6
- **Sucesos compuestos:**  $A = \{\text{que salga par}\} = \{2, 4, 6\}$
- **Suceso seguro:**  $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- **Suceso imposible:**  $\emptyset = \{\text{que salga mayor que 6}\}$
- **Suceso contrario:** Si  $A = \{\text{que salga par}\} = \{2, 4, 6\}$ ,  $\bar{A} = \{\text{que salga impar}\} = \{1, 3, 5\}$

## 3 OPERACIONES CON SUCESOS Y RELACIONES

- **Unión:** la unión de los sucesos  $A$  y  $B$  es aquel suceso que contiene a todos los elementos de  $A$  y a los de  $B$ . Se denota:  $A \cup B$



- **Intersección:** la intersección de los sucesos  $A$  y  $B$  es aquel suceso que contiene a todos los elementos que están tanto en  $A$  como en  $B$ . Se denota:  $A \cap B$



### 3.1. Ejemplo

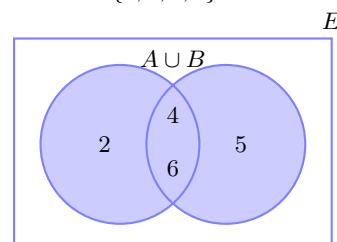
Tomamos como experimento el resultado de lanzar un dado, y los sucesos:

$$A = \{\text{que salga par}\} = \{2, 4, 6\}$$

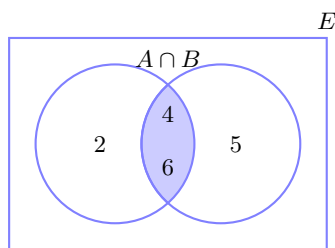
$$B = \{\text{que sea mayor que 3}\} = \{4, 5, 6\}$$

$$C = \{\text{que salga impar}\} = \{1, 3, 5\}$$

- $A \cup B = \{2, 4, 5, 6\}$



- $A \cap B = \{4, 6\}$



- $A \cup C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} = E$
- $A \cap C = \emptyset$

### 3.2. Compatibilidad de sucesos

Se dice que dos sucesos son incompatibles cuando su intersección es el conjunto vacío. En caso contrario se dice que son compatibles.

#### 3.2.1. Ejemplo

En el ejemplo anterior,  $A$  y  $B$  son compatibles y  $A$  y  $C$  incompatibles.

## 5 PROPIEDADES DE LA PROBABILIDAD

La probabilidad de un experimento regular cumple las siguientes propiedades:

- $0 \leq P(A) \leq 1$
- $P(E) = 1$  y  $P(\emptyset) = 0$
- $P(A) + P(\overline{A}) = 1$
- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$ . Si  $A$  y  $B$  son incompatibles:  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$

Podemos extender el concepto de probabilidad a cualquier función que cumpla las propiedades anteriores.

## 6 PROBABILIDAD CONDICIONADA

Puesto que la probabilidad está ligada al nivel de confianza sobre los resultados de un experimento, el hecho de que ocurra un suceso, puede cambiar la probabilidad de los demás. A esta nueva probabilidad se le llama **condicionada**

### 6.1. Ejemplo

Supongamos que tenemos una urna con 8 bolas numeradas pero de colores blancos y negros de la cual se extrae una. Supongamos, también, que las tres primeras son blancas y el resto negras, luego  $E = \{B_1, B_2, B_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8\}$ .

A priori, la  $P(\{\text{Sea impar}\}) = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$  por la regla de Laplace. Tiene la misma probabilidad salir par que impar

Vamos a suponer ahora que durante la extracción se percibe que la bola es blanca. La situación cambia, porque que sea blanca implica que hay 3 casos posibles y dos de las tres son impares. A esta nueva probabilidad se le llama condicionada y se denota así:

$$P(I|B) = \frac{2}{3}$$

La probabilidad de que sea impar ha aumentado por el hecho de haber añadido la condición (o información) que es blanca.

Esta probabilidad la podemos transformar:

$$P(I|B) = \frac{2}{3} = \frac{\frac{2}{8}}{\frac{3}{8}} = \frac{P(I \cap B)}{P(B)}$$

## 4 PROBABILIDAD EN EXPERIMENTOS REGULARES Y REGLA DE LAPLACE

Cuando todos los sucesos elementales de un **espacio muestral finito** están en las mismas condiciones de suceder se dice que son **equiprobables**, y al experimento se le llama **regular**.

### 4.1. Ejemplos de experimentos regulares

Lanzamiento de dados, monedas, extracción de cartas, ...

### 4.2. Regla de Laplace

La probabilidad de un suceso de un experimento regular viene determinada por la Regla de Laplace:

$$P(A) = \frac{\text{Casos favorables}}{\text{Casos posibles}}$$

#### 4.2.1. Ejemplo

Al lanzar un dado, los casos posibles son 6 ( $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ):

La probabilidad de sacar un 3:  $\{3\} \rightarrow \frac{1}{6}$

La probabilidad de sacar par:  $\{2, 4, 6\} \rightarrow \frac{3}{6}$

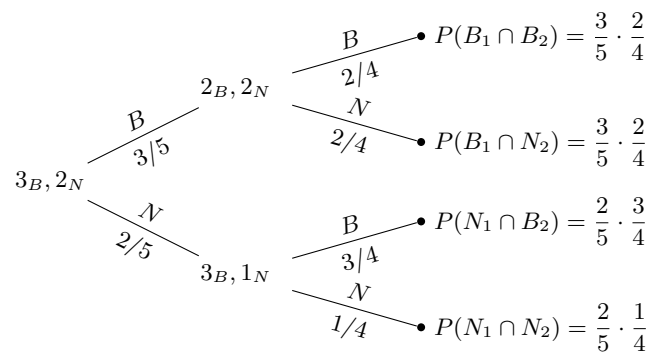
La probabilidad de sacar más de 4:  $\{5, 6\} \rightarrow \frac{2}{6}$

## 6.2. Generalización del fórmula de la probabilidad condicionada

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

y despejando:

$$P(A \cap B) = P(A|B) \cdot P(B)$$



## 7 EXPERIMENTOS COMPUESTOS

Un **experimento aleatorio compuesto** es el que está formado por varios experimentos simples realizados de forma consecutiva.

**Ejemplo:** Lanzar tre monedas, extraer cuatro cartas de una baraja, ...

La probabilidad de un suceso compuesto se podrá calcular a partir de las probabilidades obtenidas de los experimentos simples usando la probabilidad condicional:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A)$$

### 7.1. Independencia y dependencia de sucesos

Se dice que dos sucesos son independientes cuando la probabilidad de cada uno no depende del resultado del otro.

$$A \text{ y } B \text{ son independientes} \iff P(B|A) = P(B)$$

**Ejemplos de sucesos independientes:** Lanzar varias monedas, extracción de varias cartas con reposicionamiento, sacar bolas de una urna con reposicionamiento, lanzar varios dados, ...

**Ejemplos de sucesos dependientes:** Extracción de varias cartas sin reposicionamiento, sacar bolas de una urna sin reposicionamiento, ...

### 7.2. Cálculo de probabilidad compuesta para sucesos dependientes

**Ejemplo:** En una urna hay tres bolas blancas y dos negras. Se extraen dos bolas **sin** reposicionamiento. Podemos construir el siguiente árbol con las probabilidades de los diferentes resultados:

**Ejemplos:**

- Probabilidad de que las dos sean blancas:  

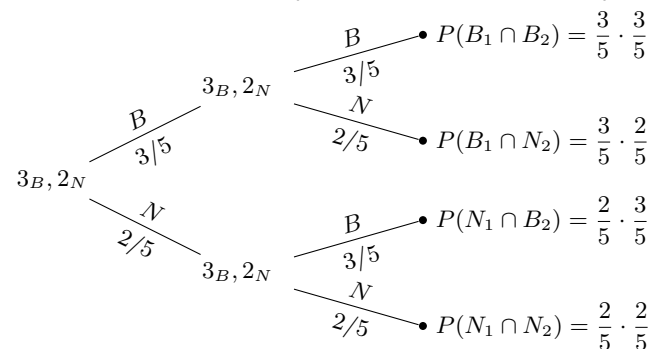
$$P(B_1 \cap B_2) = P(B_1) \cdot P(B_2|B_1) = \frac{3}{5} \cdot \frac{2}{4} = \frac{3}{10}$$
- Probabilidad de que las dos sean negras:  

$$P(N_1 \cap N_2) = P(N_1) \cdot P(N_2|N_1) = \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{10}$$
- Probabilidad de que sean del mismo color:  

$$P((B_1 \cap B_2) \cup (N_1 \cap N_2)) = \frac{3}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{5}$$

### 7.3. Cálculo de probabilidad compuesta para sucesos independientes

**Ejemplo:** En una urna hay tres bolas blancas y dos negras. Se extraen dos bolas **con** reposicionamiento. Ahora el árbol quedará:



**Ejemplos:**

- Probabilidad de que las dos sean blancas:  

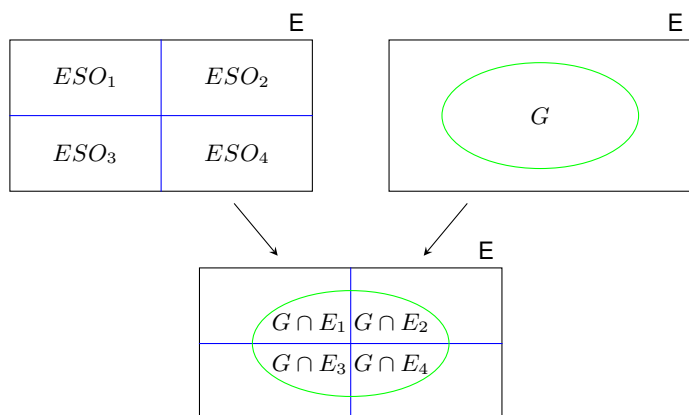
$$P(B_1 \cap B_2) = P(B_1) \cdot P(B_2|B_1) = \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} = \frac{9}{25}$$
- Probabilidad de que las dos sean negras:  

$$P(N_1 \cap N_2) = P(N_1) \cdot P(N_2|N_1) = \frac{2}{5} \cdot \frac{2}{5} = \frac{4}{25}$$
- Probabilidad de que sean del mismo color:  

$$P((B_1 \cap B_2) \cup (N_1 \cap N_2)) = \frac{9}{25} + \frac{4}{25} = \frac{13}{25}$$

## 8 TEOREMA DE LA PROBABILIDAD TOTAL

**Ejemplo:** En un instituto de ESO hay 4 cursos: 1º, 2º, 3º y 4º. Se quiere estudiar la probabilidad de que un alumno del instituto esté con la gripe (Llamamos  $G$  al suceso tener gripe).



Como un alumno pertenece a un solo curso los sucesos  $ESO_1$ ,  $ESO_2$ ,  $ESO_3$ , y  $ESO_4$  (abreviados  $E_1$ , etc.) son incompatibles. Además:

$$G = (G \cap E_1) \cup (G \cap E_2) \cup (G \cap E_3) \cup (G \cap E_4) = \bigcup_{i=1}^4 (G \cap E_i)$$

Por tanto,

$$P(G) = P(G \cap E_1) + P(G \cap E_2) + P(G \cap E_3) + P(G \cap E_4) = \sum_{i=1}^4 P(G \cap E_i)$$

Aplicando la probabilidad condicionada:

$$\begin{aligned} P(G) &= P(E_1) \cdot P(G|E_1) + P(E_2) \cdot P(G|E_2) + \\ &+ P(E_3) \cdot P(G|E_3) + P(E_4) \cdot P(G|E_4) = \\ &= \sum_{i=1}^4 P(E_i) \cdot P(G|E_i) \end{aligned}$$

### 8.1. Probabilidad total

Generalizando el resultado anterior:

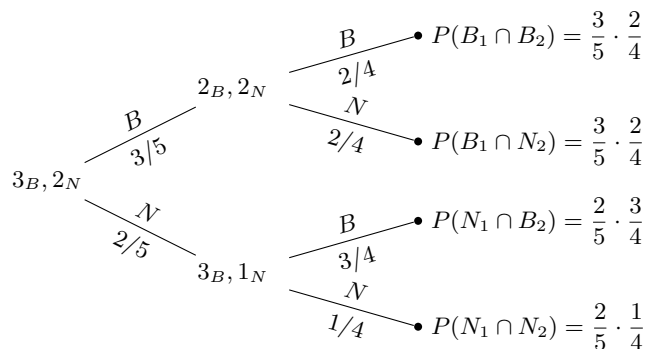
**Teorema de la probabilidad total:** Si  $A_1, A_2, \dots, A_n$  son sucesos incompatibles dos a dos y cuya unión es todo el espacio muestral, entonces la probabilidad de cualquier otro suceso  $B$  es:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i)$$

#### 8.1.1. Ejemplo:

Tomando de nuevo el ejemplo de la urna en la que hay tres bolas blancas y dos negras. Si se extraen dos bolas, por ejemplo

sin reemplazamiento, podemos calcular la probabilidad de que la segunda bola haya sido blanca:



$$P(B_2) = P(B_1) \cdot P(B_2|B_1) + P(N_1) \cdot P(B_2|N_1) = \frac{3}{5} \cdot \frac{2}{4} + \frac{2}{5} \cdot \frac{3}{4}$$

## 9 TEOREMA DE BAYES

Si  $A_1, A_2, \dots, A_n$  son sucesos incompatibles dos a dos y cuya unión es todo el espacio muestral, y  $B$  otro suceso cualquiera:

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i \cap B)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i)}$$

**Demostración:** Por la probabilidad condicionada:

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i \cap B)}{P(B)}$$

Pero por la probabilidad total:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i)$$

Sustituyendo esta en la primera obtenemos el resultado

### 9.1. Ejemplo:

En el ejemplo del apartado anterior calcular la probabilidad de que la primera bola haya sido blanca si se sabe que la segunda ha sido blanca:

$$P(B_1|B_2) = \frac{P(B_1 \cap B_2)}{P(B_1) \cdot P(B_2|B_1) + P(N_1) \cdot P(B_2|N_1)} = \frac{\frac{3}{5} \cdot \frac{2}{4}}{\frac{3}{5} \cdot \frac{2}{4} + \frac{2}{5} \cdot \frac{3}{4}}$$