

# Matemática Discreta I

## Clase 8 - Conteo (3° parte)

FAMAF / UNC

13 de abril de 2021

## Selecciones sin orden

$X$  finito de  $n$  elementos.

*¿Cuántos subconjuntos de  $m$  elementos hay en  $X$ ?*

### Ejemplo

Por ejemplo, sea  $\mathbb{I}_5 = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  y nos interesan los subconjuntos de tres elementos. ¿Cuántos habrá?

### Solución.

Contemos directamente:

$\{1, 2, 3\}$ ,  $\{1, 2, 4\}$ ,  $\{1, 2, 5\}$ ,  $\{1, 3, 4\}$ ,  $\{1, 3, 5\}$ ,  $\{1, 4, 5\}$ ,  
 $\{2, 3, 4\}$ ,  $\{2, 3, 5\}$ ,  $\{2, 4, 5\}$ ,  
 $\{3, 4, 5\}$ .

La respuesta, entonces, es 10.

¿Cómo podemos calcular este número sin contar caso por caso?

Una forma de individualizar un subconjunto de tres elementos en  $\mathbb{I}_5$ , consiste en, primero, seleccionar ordenadamente 3 elementos.

Habría, a priori,  $5 \cdot 4 \cdot 3$  subconjuntos pues ese es el número de selecciones ordenadas y sin repetición de 3 elementos de  $\mathbb{I}_5$ .

Es claro que algunas de las selecciones ordenadas pueden determinar el mismo subconjunto. En efecto, por ejemplo, cualesquiera de las selecciones

123,      132,      213,      231,      312,      321

determina el subconjunto  $\{1, 2, 3\}$ .

Es decir las permutaciones de  $\{1, 2, 3\}$  determinan el mismo subconjunto.

Veamos todos los casos:

123	132	213	231	312	321	→	{1, 2, 3}
124	142	214	241	412	421	→	{1, 2, 4}
125	152	215	251	312	521	→	{1, 2, 5}
134	143	314	341	413	431	→	{1, 3, 4}
135	153	315	351	513	531	→	{1, 3, 5}
145	154	415	451	514	541	→	{1, 4, 5}
234	243	324	342	423	432	→	{2, 3, 4}
235	253	325	352	523	532	→	{2, 3, 5}
245	254	425	452	524	542	→	{2, 4, 5}
345	354	435	453	534	543	→	{3, 4, 5}

Es decir  $3! = 6$  selecciones ordenadas nos determinan un subconjunto de tres elementos. Por lo tanto, el número total de subconjuntos de 3 elementos es

$$\frac{5 \cdot 4 \cdot 3}{3!} = \frac{5!}{3!(5-3)!}$$

Podemos hacer el mismo razonamiento, si tuviéramos que elegir subconjuntos de 2 elementos:

- Tenemos  $5 \cdot 4 = \frac{5!}{3!}$  selecciones ordenadas de 2 elementos.
- La cantidad de permutaciones de dos elementos es  $2!$ , luego,
- hay  $\frac{5!}{3!2!} = 10$  subconjuntos de 2 elementos.

En el caso general de subconjuntos de  $m$  elementos de un conjunto de  $n$  elementos ( $m \leq n$ ) podemos razonar en forma análoga.

- Tenemos  $\frac{n!}{(n-m)!}$  selecciones ordenadas de  $m$  elementos entre  $n$ .
- La cantidad de permutaciones de  $m$  elementos es  $m!$ , luego,
- hay  $\frac{n!}{(n-m)!m!}$  subconjuntos de  $m$  elementos.

## Teorema

*Sea  $X$  un conjunto de  $n$  elementos. Entonces el número total de subconjuntos de  $m$  elementos de  $X$  es*

$$\frac{n!}{(n-m)! m!}$$

# Número combinatorio

Sean  $n, m \in \mathbb{N}_0$ ,  $m \leq n$ . Definimos

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{(n-m)! m!}$$

el *número combinatorio* asociado al par  $n, m$  con  $m \leq n$ .

Por razones que se verán más adelante se denomina también el *coeficiente binomial* asociado al par  $n, m$  con  $m \leq n$ .

Definimos también

$$\binom{n}{m} = 0, \quad \text{si } m > n.$$

Hay unos pocos números combinatorios que son fácilmente calculables:

$$\binom{n}{0} = \binom{0}{0} = 1 \quad \text{y} \quad \binom{n}{1} = \binom{n}{n-1} = n.$$

Estos resultados se obtienen por aplicación directa de la definición (recordar que  $0! = 1$ ).

Con el número combinatorio podemos reescribir el resultado visto más arriba:

### Teorema

*Sean  $n, m \in \mathbb{N}_0$ ,  $m \leq n$ , y supongamos que el conjunto  $X$  tiene  $n$  elementos. Entonces la cantidad de subconjuntos de  $X$  con  $m$  elementos es  $\binom{n}{m}$ .*



## Ejemplo

¿Cuántos comités pueden formarse de un conjunto de 6 mujeres y 4 hombres, si el comité debe estar compuesto por 4 mujeres y 2 hombres?

## Solución

Debemos elegir 4 mujeres entre 6, y la cantidad de elecciones posibles es  $\binom{6}{4}$ . Por otro lado, hay  $\binom{4}{2}$  formas de elegir 2 hombres entre 4. Luego, por el principio de multiplicación, el resultado es

$$\begin{aligned}\binom{6}{4} \cdot \binom{4}{2} &= \frac{6!}{(6-4)!4!} \cdot \frac{4!}{(4-2)!2!} = \frac{6!}{2!4!} \cdot \frac{4!}{2!2!} = \frac{6 \cdot 5}{2} \cdot \frac{4 \cdot 3}{2} \\ &= 15 \cdot 6 = 90.\end{aligned}$$

# Simetría del número combinatorio

## Proposición

Sean  $m, n \in \mathbb{N}_0$ , tal que  $m \leq n$ . Entonces

$$\binom{n}{m} = \binom{n}{n-m}.$$

## Demostración.

$$\begin{aligned}\binom{n}{n-m} &= \frac{n!}{(n - (n-m))! (n-m)!} \\ &= \frac{n!}{m! (n-m)!} \\ &= \frac{n!}{(n-m)! m!} = \binom{n}{m}.\end{aligned}$$



El hecho de que

$$\binom{n}{m} = \binom{n}{n-m}.$$

se puede interpretar en términos de subconjuntos:  $\binom{n}{m}$  es el número de subconjuntos de  $m$  elementos de un conjunto de  $n$  elementos.

Puesto que con cada subconjunto de  $m$  elementos hay unívocamente asociado un subconjunto de  $n - m$  elementos, su complemento en  $X$ , es claro que

$$\binom{n}{m} = \binom{n}{n-m}.$$

# Triángulo de Pascal

## Teorema

Sean  $m, n \in \mathbb{N}$ , tal que  $m \leq n$ . Entonces

$$\binom{n}{m-1} + \binom{n}{m} = \binom{n+1}{m}$$

## Demostración.

El enunciado nos dice que debemos demostrar que

$$\frac{n!}{(n-m+1)!(m-1)!} + \frac{n!}{(n-m)!m!} = \frac{(n+1)!}{(n-m+1)!m!}$$

y lo dejamos como ejercicio. □

Veamos unos pocos ejemplos de la fórmula  $\binom{n}{m-1} + \binom{n}{m} = \binom{n+1}{m}$  o equivalentemente (dando vuelta la igualdad).

$$\binom{n+1}{m} = \binom{n}{m-1} + \binom{n}{m}.$$

## Ejemplos

$$\binom{4}{2} = \binom{3}{1} + \binom{3}{2} = 3 + 3 = 6.$$

$$\binom{5}{2} = \binom{4}{1} + \binom{4}{2} = 4 + 6 = 10,$$

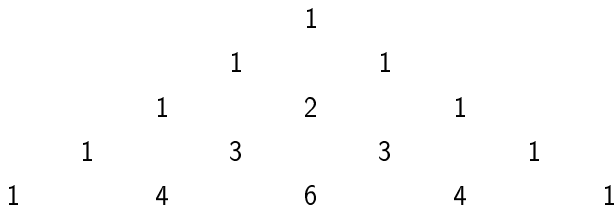
$$\binom{5}{3} = \binom{4}{2} + \binom{4}{3} = 6 + 4 = 10.$$

El teorema precedente permite calcular los coeficientes binomiales:

$$\begin{array}{ccccccc} & & & \binom{0}{0} & & & \\ & & \binom{1}{0} & & \binom{1}{1} & & \\ & \binom{2}{0} & & \binom{2}{1} & & \binom{2}{2} & \\ \binom{3}{0} & & \binom{3}{1} & & \binom{3}{2} & & \binom{3}{3} \\ \binom{4}{0} & \binom{4}{1} & \binom{4}{2} & \binom{4}{3} & \binom{4}{4} \end{array}$$

Cada término interior es suma de los dos términos inmediatos superiores.  
Los elementos en los lados valen 1.

Escribamos los valores de cada fila:



El triángulo es denominado *triángulo de Pascal*.

Entre las propiedades que cuenta el triángulo de Pascal está la de ser simétrico respecto al eje vertical central, como consecuencia de la simetría de los números combinatorios.