

Indeterminaciones

¿Qué es una indeterminación?

Hasta ahora hemos calculado límites cuyo valor (finito o infinito) ha sido relativamente fácil de obtener aplicando operaciones básicas de sumar, restar, multiplicar y/o dividir.

$$\lim_{x \rightarrow 3} (x^2 + 2x - 2) = 13 \rightarrow \text{Límite finito en } x_0 = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 = +\infty \rightarrow \text{Límite infinito en el infinito}$$

¿Qué ocurre si, al operar en los límites, no sabemos determinar el resultado final de la operación?

Es decir, ¿qué ocurre si tengo, por ejemplo, $0 \cdot \infty$? ¿El 0 hace que todo el producto sea 0 o el ∞ hace que todo el producto sea ∞ ?

Esto son ejemplos de indeterminaciones: límites donde el resultado final no se obtiene de manera evidente, sino que debemos operar convenientemente siguiendo una serie de reglas.

Tipos de indeterminaciones y ejemplos

Indeterminación $\frac{k}{0}$ con $k \neq 0$ \rightarrow Debemos evaluar los límites laterales. Y si son iguales la función tendrá límite (aunque no esté definida en ese punto porque no podemos dividir por 0).

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x}{x-1} = \frac{1}{0} \rightarrow \text{Indeterminación} \rightarrow \text{Estudiamos sus límites laterales}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1^-} \frac{x}{x-1} = \frac{1}{0^-} = -\infty$$

$$\lim_{x \rightarrow 1^+} \frac{x}{x-1} = \frac{1}{0^+} = +\infty$$

Este tipo de indeterminaciones serán típicos en el estudio de las asíntotas verticales de una función, como veremos más adelante.

Indeterminación $\frac{0}{0}$ \rightarrow Si estamos ante una función racional (cociente de funciones) una primera opción es descomponer numerador y denominador para simplificar factores.

Importante: en los límites sí puedo simplificar entre numerador y denominador; al evaluar la función en un punto no puedo simplificar. No olvides nunca esto!!

$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-1}{x+1} = \frac{0}{0} \rightarrow$ Indeterminación \rightarrow Intento simplificar entre numerador y denominador

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-1}{x+1} = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x-1)(x+1)}{x+1} = \lim_{x \rightarrow -1} (x-1) = -2$$

Es decir: el límite existe en $x_0 = -1$, aunque la función no esté definida en $f(-1)$ ya que no puedo dividir por 0. Estamos ante una discontinuidad evitable en $x_0 = -1$.

Las indeterminaciones $\frac{0}{0}$ también pueden aparecer en cociente de funciones que contienen raíces cuadradas. Una buena técnica para solventar esta indeterminación es multiplicar numerador y denominador por el conjugado del numerador o del denominador. Con esto, podremos simplificar y resolver el límite.

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{x+1}-1} = \frac{0}{0} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

Multiplicamos y dividimos por conjugado del denominador

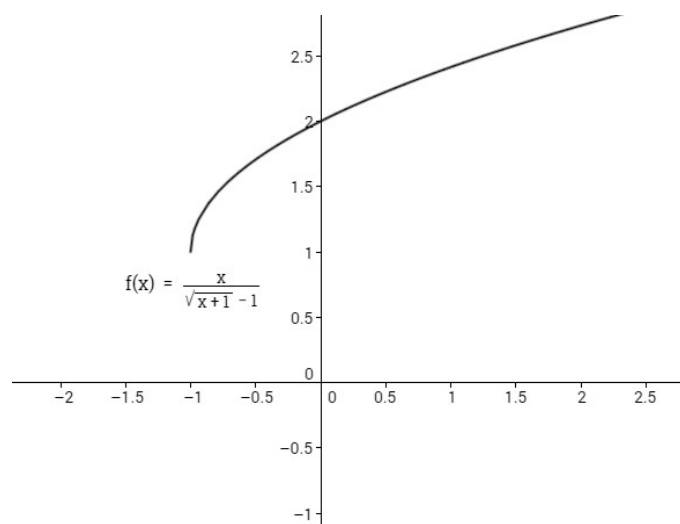
$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{x+1}-1} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(\sqrt{x+1}+1)}{(\sqrt{x+1}-1)(\sqrt{x+1}+1)} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(\sqrt{x+1}+1)}{x+1-1} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(\sqrt{x+1}+1)}{x}$$

Simplificamos entre numerador y denominador.

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x(\sqrt{x+1}+1)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \sqrt{x+1}+1 = 2$$

Podemos corroborar este valor del límite con la representación gráfica de la función. La función no está definida en $x_0 = 0$ pero sí existe el límite a izquierda y derecha de este punto.

La gráfica no está definida en $x_0 = 0$ pero sí existe el límite en $x_0 = 0$



Indeterminación $\frac{\infty}{\infty}$ → Si esta indeterminación aparece en cociente de polinomios, o en cociente de raíces, podemos aplicar la técnica de dividir cada término por la variable x elevada al mayor exponente que aparezca en la función.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2x}{x+1} = \frac{\infty}{\infty} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2x}{x+1} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{2x}{x}}{\frac{x}{x} + \frac{1}{x}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2}{1 + \frac{1}{x}} \rightarrow \text{Recuerda } \frac{1}{\infty} = 0 \rightarrow \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2}{1+0} = \frac{2}{1+0} = 2$$

Por lo tanto, nuestro límite es igual a 2. Una regla que podemos obtener de este ejemplo es la siguiente: **si poseo un cociente de polinomios del mismo grado, el límite en el infinito es igual al cociente de los coeficientes que acompañan al mayor grado de la variable**

Veamos otro ejemplo.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^3}{x+1} = \frac{\infty}{\infty} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^3}{x+1} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{x^3}{x^3}}{\frac{x}{x^3} + \frac{1}{x^3}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^3}} \rightarrow \text{Recuerda } \frac{1}{\infty} = 0 \rightarrow \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{0 + 0} = \frac{1}{0} = \infty$$

Otro ejemplo.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^2}{x^4+1} = \frac{\infty}{\infty} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^2}{x^4+1} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{x^2}{x^4}}{\frac{x^4}{x^4} + \frac{1}{x^4}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{1}{x^2}}{1 + \frac{1}{x^4}} \rightarrow \text{Recuerda } \frac{1}{\infty} = 0 \rightarrow \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{0}{1+0} = \frac{0}{1+0} = 0$$

Si aparecen raíces, debemos tener en cuenta el grado de la raíz para saber el grado de la variable x por el que debemos dividir cada término. Veamos esto en el siguiente ejemplo.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{x^4-1}} = \frac{\infty}{\infty} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

El grado máximo es $x^{\frac{4}{2}} = x^2$, que dentro de la raíz entra como x^4 .

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{x^4-1}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{5x^2}{x^2}}{\sqrt{\frac{x^4}{x^4} - \frac{1}{x^4}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5}{\sqrt{1 - \frac{1}{x^4}}} = \frac{5}{1} = 5$$

El grado máximo es $x^{\frac{4}{2}} = x^2$, que dentro de la raíz entra como x^4 .

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{x^4-1}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{\frac{x^4}{x^4} - \frac{1}{x^4}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5}{\sqrt{1 - \frac{1}{x^4}}} = \frac{5}{1} = 5$$

Otro ejemplo.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{x^6-1}} = \frac{\infty}{\infty} \rightarrow \text{Indeterminación}$$

El grado máximo es $x^{\frac{6}{2}} = x^3$, que dentro de la raíz entra como x^6 .

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{x^6-1}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5x^2}{\sqrt{\frac{x^6}{x^6} - \frac{1}{x^6}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{5}{\sqrt{1 - \frac{1}{x^6}}} = \frac{5}{1} = 5$$

Indeterminación $\infty - \infty \rightarrow$ Si poseemos esta indeterminación al operar con funciones racionales, operamos para obtener una única fracción, para llegar a algunas de las indeterminaciones ya estudiadas anteriormente.

Veamos un ejemplo.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (4x - \frac{4x^2}{x+2}) = \infty - \infty \rightarrow \text{Indeterminación}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (4x - \frac{4x^2}{x+2}) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{4x^2 + 8x - 4x^2}{x+2} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{8x}{x+2} = 8$$

Puede ocurrir que la indeterminación $\infty - \infty$ aparezca al trabajar con raíces cuadradas. En estos casos puede ser buena idea multiplicar y dividir por el conjugado.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (\sqrt{x} - \sqrt{x+1}) = \infty - \infty \rightarrow \text{Indeterminación}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} (\sqrt{x} - \sqrt{x+1}) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{(\sqrt{x} - \sqrt{x+1})(\sqrt{x} + \sqrt{x+1})}{(\sqrt{x} + \sqrt{x+1})} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x - x - 1}{(\sqrt{x} + \sqrt{x+1})} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-1}{(\sqrt{x} + \sqrt{x+1})} = 0$$

Hay otras indeterminaciones... que veremos en el siguiente tema de derivadas o en el curso que viene de 2º Bachillerato.