

Unidad 2: Funciones Reales
Análisis Matemático I (R-112)
Licenciatura en Ciencias de la Computación

Iker M. Canut

2020

1. Generalidades

- Dados dos conjuntos X e Y , una **función** f es una ley que asocia a cada elemento $x \in X$, un único elemento $y \in Y$. Se nota $f : X \rightarrow Y, x \rightarrow y$
- Al conjunto X se lo llama **dominio** de la función f .
- Al conjunto Y se lo llama **codominio** de la función f .
- Al elemento y , **imagen** de x por la función f y lo notamos $y = f(x)$, se lee "y es igual a f de x". Ésta es la variable dependiente.
- Al elemento x , **preimagen** de y por f . Es la variable independiente.
- Al conjunto de todas las imágenes es el **recorrido** de f . $Rec(f) = \{y \in Y : y = f(x) \wedge x \in X\}$

2. Gráfica de una función

Es el conjunto de pares ordenados (x, y) , donde $x \in Dom(f)$ e $y = f(x)$, notando al mismo G_f :

$$G_f = \{(x, y) : x \in Dom(f), y = f(x)\} = \{(x, f(x)) : x \in Dom(f)\}$$

Para representar los pares ordenados, se usa un **sistema de coordenadas cartesianas**: Dos rectas perpendiculares, cada una con su escala. Eje x y eje y forman el **plano x y**, se intersecan en el **origen de coordenadas**. Hay una **relación biunívoca** entre los puntos del plano y los pares ordenados de números reales. Un punto P se escribe como $P(x, y)$, x **abscisa**, y **ordenada**, donde $x \in Dom(f) \wedge y = f(x)$. Además, cualquier recta vertical corta a la gráfica de una función a lo sumo en un punto.

3. Propiedades de las funciones

- Es **suryectiva** cuando su recorrido coincide con su codominio, es decir, $Rec(f) = Codom(f)$. Es decir, $\forall y \in Codom(f), \exists x \in Dom(f) : f(x) = y$.
- Es **inyectiva** cuando a todo par de elementos distintos del dominio le corresponden distintas imágenes: dados $x_1, x_2 \in Dom(f), x_1 \neq x_2 \Rightarrow f(x_1) \neq f(x_2)$, o bien, $f(x_1) = f(x_2) \Rightarrow x_1 = x_2$. Si existe una recta horizontal que corta a la gráfica en más de un punto, entonces no es inyectiva.
- Es **biyectiva** cuando es suryectiva e inyectiva. Luego, hay una relación biunívoca entre el dominio y el codominio. Cada elemento del codominio recibe una única flecha.
- Un conjunto no vacío A de números reales es **simétrico** cuando $x \in A \Rightarrow -x \in A$.
- Una función f es **par** si su dominio es un conjunto simétrico y $f(x) = f(-x) \forall x \in Dom(f)$. La gráfica es simétrica respecto al eje y, $(x, y) \in G_f \iff (-x, y) \in G_f$.
- Una función f es **impar** si su dominio es un conjunto simétrico y $f(-x) = -f(x) \forall x \in Dom(f)$. La gráfica es simétrica respecto al origen de coordenadas, $(x, y) \in G_f \iff (-x, -y) \in G_f$.
- Sea A un subconjunto del dominio de f , si para todo par de puntos $x_1, x_2 \in A$ se tiene que:
 - $x_1 < x_2 \Rightarrow f(x_1) < f(x_2)$, entonces f es una función **creciente** en A .
 - $x_1 < x_2 \Rightarrow f(x_1) \leq f(x_2)$, entonces f es una función **no decreciente** en A .
 - $x_1 < x_2 \Rightarrow f(x_1) > f(x_2)$, entonces f es una función **decreciente** en A .
 - $x_1 < x_2 \Rightarrow f(x_1) \geq f(x_2)$, entonces f es una función **no creciente** en A .
- Una función es **monótona** en un conjunto si es creciente o decreciente en dicho conjunto.

4. Funciones elementales

Función	Definición	Sury	Iny	Paridad	Crecimiento
Constante	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow c$	\times	\times	Par	No creciente y No decreciente
Identidad	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x$	\checkmark	\checkmark	Impar	Creciente
Lineal	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow m \cdot x + h$	\checkmark	\checkmark	$h = 0 \Rightarrow$ Impar	$m > 0 \Rightarrow$ crec, $m < 0 \Rightarrow$ decr.
Valor Absoluto	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x $	\times	\times	Par	$(-\infty, 0] \rightarrow$ decr, $[0, +\infty) \rightarrow$ crec.
Potencia	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x^a$ (a impar)	\checkmark	\checkmark	Impar	Creciente
Potencia	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x^a$ (a par)	\times	\times	Par	$(-\infty, 0] \rightarrow$ decr, $[0, +\infty) \rightarrow$ crec.
Reciproca	$\mathbb{R} - \{0\} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x^a$	\times	\checkmark	Impar	$(-\infty, 0] \rightarrow$ decr, $[0, +\infty) \rightarrow$ decr.
Parte Entera	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow [x]$	\times	\times	\times	No decreciente
Mantisa	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow x - [x]$	\times	\times	\times	\times
Cuadrática	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow a \cdot x^2 + b \cdot x + c$	\times	\times	Par	$(-\infty, 0] \rightarrow$ decr, $[0, +\infty) \rightarrow$ crec.
Homográfica	$\mathbb{R} - \{-\frac{d}{c}\} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow \frac{a \cdot x + b}{c \cdot x + d}$	\times	\checkmark	\times	Analizar
Signo	$\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, x \rightarrow \begin{cases} \frac{ x }{x}, & x \neq 0; \\ 0, & x = 0 \end{cases}$	\times	\times	Impar	No decreciente

5. Función Cuadrática Caso General

- Para graficarlo, se completa el cuadrado: $\dots + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \dots$
- Para calcular las raíces: $x_1, x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
- El vertice tiene coordenadas $\left(\frac{-b}{2a}, f\left(\frac{-b}{2a}\right)\right)$, recordamos que $\frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{-b}{2a}$.
- Si $a > 0$ entonces tiene mínimo y las ramas van hacia arriba.
- Si $a < 0$ entonces tiene máximo y las ramas van hacia abajo.

6. Función Homográfica

$\frac{ax+b}{cx+d}$ se busca llegar a $A + \frac{C}{x+B}$. Se saca $\frac{a}{c}$. Luego $\dots + \frac{d}{c} - \frac{d}{c} \dots$ para cancelar el parte del numerador usando el denominador como referencia. Se distribuye, se cancela, y llegamos a:

$$\frac{a}{c} + \frac{bc - ad}{c^2} \cdot \frac{1}{x + \frac{d}{c}}$$

La asíntota horizontal es $y = A = \frac{a}{c}$ y la asíntota vertical es $x = -B = -\frac{d}{c}$

La intersección con los ejes es en los puntos $(0, \frac{b}{d})$ y $(-\frac{b}{a}, 0)$

7. Función Racional

Sea $f(x) = \frac{p(x)}{q(x)}$, siendo p y q dos polinomios, $Dom(f) = \mathbb{R} \cap \{x : q(x) \neq 0\}$.

8. Función Periódica

Si $f(x) = f(x + p) \forall x \in Dom(f)$ y p es el mismo número positivo que verifica esta relación.

9. Funciones Trigonómicas

9.1. Función Seno

$f(x) = \sin(x) \forall x \in \mathbb{R}$. $\text{Rec}(f) = [-1, 1]$, periódica de periodo 2π , función impar.

$$\sin x = 0 \iff x = \pi \cdot k, k \in \mathbb{Z}$$

$$\sin x = 1 \iff x = \frac{\pi}{2} + 2 \cdot \pi k, k \in \mathbb{Z}$$

9.2. Función Coseno

$f(x) = \cos(x) \forall x \in \mathbb{R}$. $\text{Rec}(f) = [-1, 1]$, periódica de periodo 2π , función par.

$$\cos x = 0 \iff x = \frac{\pi}{2} + \pi k, k \in \mathbb{Z}$$

$$\cos x = 1 \iff x = 2\pi \cdot k, k \in \mathbb{Z}$$

$$\cos(x) = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right), \forall x \in \mathbb{R}$$

9.3. Función Tangente

$f(x) = \tan(x) = \frac{\sin(x)}{\cos(x)} \forall x \in \mathbb{R} - \left\{\frac{\pi}{2} + k \cdot \pi, k \in \mathbb{Z}\right\}$. $\text{Rec}(f) = \mathbb{R}$, periódica de periodo π , impar.

10. Funciones Recíprocas Trigonómicas

10.1. Función Cosecante

$\csc(x) = \frac{1}{\sin x}$. $\text{Dom}(\csc) = \mathbb{R} - \pi \cdot k, k \in \mathbb{Z}$. $\text{Rec}(\csc) = \mathbb{R} - (-1, 1)$.

Impar, Periódica de periodo 2π .

10.2. Función Secante

$\sec(x) = \frac{1}{\cos x}$. Periódica de periodo 2π . $\text{Dom}(\sec) = \mathbb{R} - \left\{\pi \cdot k + \frac{\pi}{2}, k \in \mathbb{Z}\right\}$. $\text{Rec}(\sec) = \mathbb{R} - (-1, 1)$

Par, Periódica de periodo 2π .

10.3. Función Cotangente

$\cot(x) = \frac{1}{\tan x} = \frac{\cos x}{\sin x}$. $\text{Dom}(\cot) = \mathbb{R} - \{\pi \cdot k, k \in \mathbb{Z}\}$. $\text{Rec}(\cot) = \mathbb{R}$

Impar, Periódica de periodo π .

11. Identidades Trigonométricas

1. $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$
2. $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x} = \sec^2 x$
3. $1 + \cot^2 x = \frac{1}{\sin^2 x} = \csc^2 x$
4. $\cos(x \pm y) = \cos x \cdot \cos y \mp \sin x \cdot \sin y \wedge \sin(x \pm y) = \sin x \cdot \cos y \pm \cos x \cdot \sin y$
5. $\cos x + \cos y = 2 \cdot \cos \frac{x+y}{2} \cdot \cos \frac{x-y}{2} \wedge \cos x - \cos y = -2 \cdot \sin \frac{x+y}{2} \cdot \sin \frac{x-y}{2}$
6. $\sin x + \sin y = 2 \cdot \sin \frac{x+y}{2} \cdot \cos \frac{x-y}{2} \wedge \sin x - \sin y = 2 \cdot \cos \frac{x+y}{2} \cdot \sin \frac{x-y}{2}$
7. $\cos(2x) = \cos^2 x - \sin^2 x \wedge \sin(2x) = 2 \cdot \sin x \cdot \cos x$
8. $\cos^2 x = \frac{1 + \cos 2x}{2} \wedge \sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$
$$x = \frac{x+y}{2} + \frac{x-y}{2} \quad \wedge \quad y = \frac{x+y}{2} - \frac{x-y}{2}$$
9. $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos C$
10. $\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$

12. Traslaciones o reflexiones respecto de una recta

- $g(x) = -f(x)$, entonces $x \in \text{Dom}(g) \iff x \in \text{Dom}(f)$, $(x, y) \in G_f \iff (x, -y) \in G_g$ y tienen los mismos ceros. $\text{Rec}(f) = [c, d] \Rightarrow \text{Rec}(g) = [-d, -c]$. Reflexión respecto del eje x .
- $t(x) = |f(x)|$, entonces $x \in \text{Dom}(t) \iff x \in \text{Dom}(f)$. Si $f(x) \geq 0$, entonces $t(x) = f(x)$. Si $f(x) < 0$, entonces $t(x) = -f(x)$.
- $h(x) = f(x) + \alpha$, entonces $x \in \text{Dom}(h) \iff x \in \text{Dom}(f)$, $(x, y) \in G_f \iff (x, y + \alpha) \in G_h$. Si $\alpha > 0$, se traslada la gráfica de f hacia arriba α unidades. Si $\alpha < 0$, hacia abajo. $\text{Rec}(f) = [c, d] \Rightarrow \text{Rec}(h) = [c + \alpha, d + \alpha]$
- $p(x) = f(x + \beta)$, entonces $x \in \text{Dom}(f) \iff (x - \beta) \in \text{Dom}(p)$, $(x, y) \in G_f \iff (x - \beta, y) \in G_p$. Si $\beta > 0$, se traslada la gráfica de f a la izquierda. Si $\beta < 0$, hacia la derecha. $\text{Rec}(p) = \text{Rec}(f)$.

13. Cambio de Tamaño y Reflexión

- $y = c \cdot f(x)$ dilata verticalmente G_f .
- $y = -f(x)$ refleja G_f respecto del eje x .
- $y = \frac{1}{c} \cdot f(x)$ comprime verticalmente G_f .
- $y = f(-x)$ refleja G_f respecto del eje y .
- $y = f(c \cdot x)$ comprime horizontalmente G_f .
- $y = f\left(\frac{1}{c} \cdot x\right)$ dilata horizontalmente G_f .

14. Composición de Funciones

Dadas dos funciones $f : \text{Dom}(f) \rightarrow \mathbb{R}$, $g : \text{Dom}(g) \rightarrow \mathbb{R}$, se define la función compuesta, notado como $(f \circ g)(x) = f(g(x))$. Luego, $\text{Dom}(f \circ g)(x) = \{x \in \text{Dom}(g) \wedge g(x) \in \text{Dom}(f)\}$

15. Función Inversa

Sea f una función inyectiva con dominio A y recorrido B , entonces su función inversa $f^{-1} : B \rightarrow A$ se define para cada $y \in B : f^{-1}(y) = x \iff f(x) = y$. Luego, $(x, y) \in G_f \iff (y, x) \in G_{f^{-1}}$. Es decir, las gráficas de f y f^{-1} son simétricas respecto a la gráfica de la función identidad. Además, como $f^{-1}(f(x)) = x \iff f(f^{-1}(x)) = y$, tenemos que $f(f^{-1}(x))$, y $f^{-1}(f(x))$, es la función identidad.

Por último, cuando f no es inyectiva, podemos restringir el dominio a un subconjunto, donde si lo sea, y definir su inversa.

16. Función Exponencial

$f(x) = a^x$, $a > 0 \wedge a \neq 1$. $Dom(f) = \mathbb{R}$, $Rec(f) = \mathbb{R}^+$. Si $a > 1$, creciente. Si $0 < a < 1$, decreciente. $y = 0$ es una asíntota horizontal.

- $a^x \neq 0, \forall x$
- $a^0 = 1, \forall a$
- $0 < a < b \wedge x > 0 \Rightarrow a^x < b^x$
- $0 < a < b \wedge x < 0 \Rightarrow a^x > b^x$

16.1. Función Logarítmica (inversa de la exponencial)

$f(x) = \log_a x$, $a > 0 \wedge a \neq 1$. $Dom(f) = \mathbb{R}^+$, $Rec(f) = \mathbb{R}$. Definición: $\log_a x = y \iff a^y = x$

$$\begin{aligned}\log_a(x \cdot y) &= \log_a(x) + \log_a(y) \quad \wedge \quad a^x \cdot a^y = a^{x+y} \\ \log_a\left(\frac{x}{y}\right) &= \log_a(x) - \log_a(y) \quad \wedge \quad \frac{a^x}{a^y} = a^{x-y} \\ \log_a(x^y) &= y \cdot \log_a(x) \quad \wedge \quad (a^x)^y = a^{x \cdot y}\end{aligned}$$

17. Funciones Trigonométricas Inversas

17.1. Arco Seno

$\arcsin x = \sin^{-1}(x) = y \iff \sin y = x, -\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2}$. Es el número entre $-\frac{\pi}{2}$ y $\frac{\pi}{2}$ cuyo seno es x .

$$Dom(\sin x) = Rec(\arcsin x) = \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], Rec(\sin x) = Dom(\arcsin x) = [-1, 1]$$

17.2. Arco Coseno

$\arccos x = \cos^{-1}(x) = y \iff \cos y = x, 0 \leq x \leq \pi$. El número entre 0 y π cuyo coseno es x .

$$Dom(\cos x) = Rec(\arccos x) = [0, \pi], Rec(\cos x) = Dom(\arccos x) = [-1, 1]$$

17.3. Arco Tangente

$\arctan x = \tan^{-1}(x) = y \iff \tan y = x, 0 < x < \frac{\pi}{2}$. El número entre $-\frac{\pi}{2}$ y $\frac{\pi}{2}$ cuya tangente es x .

$$Dom(\tan x) = Rec(\arctan x) = \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right), Rec(\tan x) = Dom(\arctan x) = \mathbb{R}$$