Mercury 28 Abr

Análisis Avanzado - Primer Cuatrimestre de 2021

Práctica 4

1. Decidir cuáles de las siguientes funciones son continuas:

(a) $f : (\mathbb{R}^2, d_2) \to (\mathbb{R}, d)$, $f(x, y) = x^2 + y^2$.

(b) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, \delta) \to (\mathbb{R}^2, d_\infty)$, la función identidad.

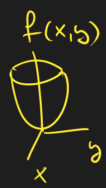
(c) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, d_\infty) \to (\mathbb{R}^2, \delta)$, la función identidad.

(d) $i : (A, d) \to (E, d)$, la inclusión,

En (a), (b) y (c) las métricas d, d_2 y d_∞ son como en la Práctica 3, y δ representa a la métrica discreta, mientras que en (d) (E, d) es un espacio métrico y $A \subseteq E$.

a) $f : (\mathbb{R}^2, d_2) \longrightarrow (\mathbb{R}, d)$

$f(x,y) = x^2 + y^2$ $\leftarrow$ Paraboloide



qvq

$\forall \vec{x} \in \mathbb{R}^2, \ \forall \varepsilon > 0, \ \exists \delta > 0 \ /$

$$f\left(B_{d_2}(\vec{x}, \delta)\right) \subseteq B_{d_1}\left(f(\vec{x}), \varepsilon\right)$$

equiv.

$\forall (x,y) \in \mathbb{R}^2, \ \forall \varepsilon > 0, \ \exists \delta > 0 \ /$

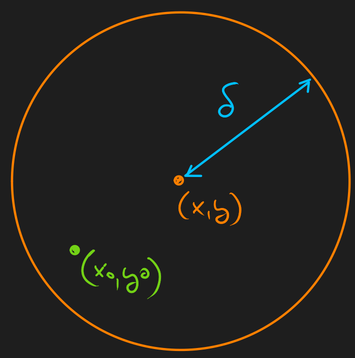
$$f\left(B_{d_2}((x,y), \delta)\right) \subseteq B_1\left(f(x,y), \varepsilon\right)$$

Sea

$$(x_0, y_0) \in B\left((x,y), \delta\right)$$

$$(x_0,y_0) \in \overbrace{\{(a,b)\in\mathbb{R}^2 : d_2}\left((a,b),(x,y)\right) < \delta\}$$

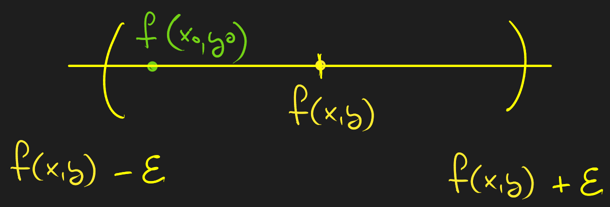
(x_0,y_0) es alguno de estos (a,b)



qvq

$$\underbrace{f(x_0,y_0)}_{x_0^2+y_0^2} \overset{?}{\in} B\left(f(x,y),\varepsilon\right)$$

qvq esté adentro!



Sé:

$$B\left(f(x,y),\varepsilon\right) = \left\{ c\in\mathbb{R} : d\left(c, f(x,y)\right) < \varepsilon\right\}$$

$$= \left\{ c\in\mathbb{R} : \left| c - f(x,y)\right| < \varepsilon\right\}$$

$$= \left\{ c\in\mathbb{R} : \left| c - (x^2+y^2)\right| < \varepsilon\right\}$$

(acá pregunté en Zulip porque)

Sugerencia:

Daniel Carando 6:17 PM

Lo que podés hacer para empezar es probar que es continua en el (3,2), por ejemplo. Ahí vas a ver bien cómo el δ lo armás usando tanto el 3 como el 2 y te va a dar una idea de qué hacer en el caso general.
Una estrategia estándar puede ser tomar un δ auxiliar para poder acotar ciertas expresiones que te quedan.

6:23 PM

por ejemplo, si fijás $\delta_1 = 1$, entonces cuando tomes $d((x,y),(3,2)) < \delta_1$, sabés que x está entre 2 y 4 e y está entre 1 y 3.
Si después necesitás otro δ_2 para llegar finalmente al menor que ε, tu δ va a ser el mínimo de todos los que usaste en el camino.

(EDITED) 6:28 PM

Y un comentario: vos escribiste que distancia usual en $\mathbb{R}$ es la d_1, pero en realidad también es la d_2:
$d_1(s,t) = |s-t| = \sqrt{(s-t)^2} = d_2(s,t)$.
También es la d_∞, claro.

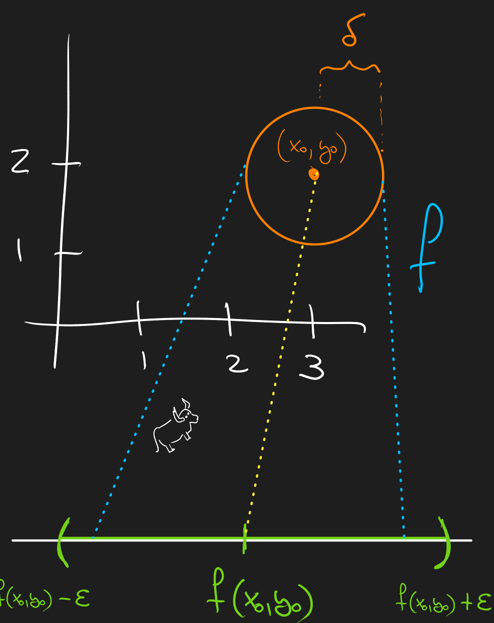
Pruebo que es continua en el $(3,2)$

Def. de f continua $(\forall x,y \in \mathbb{R}^2)$

$\forall \varepsilon > 0,\ \exists \delta > 0 \ /$

$$f\big(B((x_0,y_0),\delta)\big) \subseteq B\big(f(x_0,y_0),\varepsilon\big)$$

Lo pruebo en $(x_0,y_0) = (3,2)$



Sea

$$(x,y) \in B((x_0,y_0),\delta)$$

me fijo solo en:

$$(x,y) \in B((3,2),\delta)$$

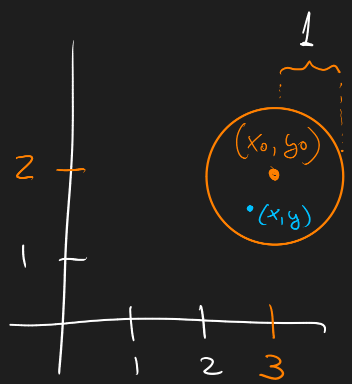
$$(x,y) \in \{(a,b) \in \mathbb{R}^2 : d_2((a,b),(3,2)) < \delta\}$$

$$(a-3)^2 + (b-2)^2 < \delta^2$$

Si: $\delta = 1$:

$$(x, y) \in \left\{ (a,b) \in \mathbb{R}^2 : d_2\big((a,b), (3,2)\big) < 1 \right\}$$

$$(a-3)^2 + (b-2)^2 < 1^2$$



Volviendo, quiero que la bola del codominio contenga a todos estos $f(x, y)$

De nuevo pifio y me pierdo.
Pregunto de nuevo en Zulip.

Daniel Carando (EDITED) 6:48 PM

Hola Leandro. Antes que nada, una cuestión de notación: te conviene usar (x_0, y_0) para el punto en el que estudiás la continuidad y (x, y) para los puntos que andan alrededor del (x_0, y_0). Por supuesto la notación es notación, uno puede llamar como quiere a las cosas mientras sea lógicamente consistente. Pero seguir las convenciones ayuda a entender y a que te entiendan. Pero te contesto primero usando tu notación, o sea, (x_0, y_0) son los puntos que están cerca del $(3, 2)$.
Lo que podés hacer menor que cualquier δ es la distancia entre los puntos (x_0, y_0) y el $(3, 2)$. En este caso particular, esto coincide con la raíz de $f(x_0 - 3, y_0 - 2)$. Si tomás $\delta_1 = 1$ auxiliar, entonces sabés que $f(x_0 - 3, y_0 - 2) < 1$. Pero esto no dés que $f(x_0, y_0) < 1$. Al contrario, $f(x_0, y_0)$ se mueve alrededor de 13, con lo que no va a ser menor que 1.
Si mirás tu cuenta, en algún momento escribís $12 < \varepsilon$. Esto te da la pauta de que algo no va, proque ε puede ser arbitrariamente chico.
Otra cosa que puede servir para detectar errores: casi siempre (salvo que la función sea constante, por ejemplo) cuando el ε tiende a 0, los posibles δ también tienden a 0. Tu δ no cumple eso, lo que tiene que llevarte a sospechar. Fijate además que en el despeje de δ (al final de la página 3) hay un error.

Una manera de encararlo (con ε y δ, sin usar sucesiones) es: tomá $\delta_1 = 1$ y (x, y) a menos de 1 de $(3, 2)$. Entonces
$|f(x, y) - f(3, 2)| = |x^2 + y^2 - 9 - 4| \leq |x^2 - 3^2| + |y^2 - 2^2|$
Acá podés usar diferencia de cuadrados. Las sumas las podés acotar gracias al δ_1. Las restas se acotan por la distancia que sabés que podés hacer menor que δ

Si $\delta_1 = 1$:

$$d_2\big((x,y), (3,2) \big) < \delta_1$$

$$(x-3)^2 + (y-2)^2 < 1^2$$

Los puntos de la bola del codominio son:

$$|f(x,y) - f(3,2)| = |x^2 + y^2 - 3^2 - 2^2| \overset{\text{sé}}{<} \varepsilon$$

$$\Rightarrow \quad |x^2 - 3^2 + y^2 - 2^2| \leq |x^2 - 3^2| + |y^2 - 2^2|$$

quiero acotar ésto

En donde:

dif. de cuadrados.

$$(x^2 - 3^2) = \underbrace{(x+3)}\,\underbrace{(x-3)}_{< \delta_1 = 1}$$

Como $d(x,3) < 1$

$$\Rightarrow \quad x = 3 \pm d(x,3)$$
$$< 3 + 1 = 4$$

$x < 4$

$\Rightarrow x + 3 < 7$

$$\Rightarrow (x^2 - 3^2) < 7 \cdot \delta$$

dejo este δ (y no uso 1) para que dependa de δ

$$(y^2 - 2^2) = \underbrace{(x+2)}\ \underbrace{(x-2)}_{\leq \delta = 1}$$

Como $d(x,2) < \delta_1 = 1$

$\Rightarrow x = 2 \pm d(x,2)$

$x < 3$

$\Rightarrow x + 2 < 5$

$$(y^2 - 2^2) < 5 \cdot \delta$$

dejo este δ (y no uso 1) para que dependa de δ

Reemplazando en lo que tenía

$$|x^2 - 3^2 + y^2 - 2^2| \leq \underbrace{|x^2 - 3^2|}_{< 7\delta} + \underbrace{|y^2 - 2^2|}_{< 5\delta}$$

$$< 12\delta$$

y como quiero acotar todo por ε

$$\Rightarrow 12\delta < \varepsilon$$

$$\Rightarrow \delta < \frac{1}{12} \cdot \varepsilon$$

- Finalmente, para este caso particular con $(x_0, y_0) = (3, 2)$ encontré un $\delta = \min\{1, \frac{\varepsilon}{12}\}$

$$\forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0 \;/$$

$$f\left(B\left((3,2), \delta\right)\right) \subseteq B\left(f(3,2), \varepsilon\right)$$

Para el caso general:

Sigo usando que

Si $\delta_1 = 1$:

$$d_2\left((x,y), (x_0,y_0)\right) < \delta_1$$

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 < 1^2$$

Los puntos de la bola del codominio son:

$$\left|f(x,y) - f(x_0,y_0)\right| = \left|x^2 + y^2 - x_0^2 - y_0^2\right| < \varepsilon$$

$$\Rightarrow \quad \left|x^2 - x_0^2 + y^2 - y_0^2\right| \leq \left|x^2 - x_0^2\right| + \left|y^2 - y_0^2\right|$$

En donde:

$$\left|x^2 - x_0^2\right| = \underbrace{|x + x_0|}_{} \, \underbrace{|x - x_0|}_{< \delta}$$

Como $d(x, x_0) < \delta$

$$\Rightarrow \quad x_0 - d(x, x_0) < x < x_0 + d(x, x_0)$$

$$\Rightarrow |x + x_0| < \underbrace{|x|}_{\leq |x_0| + |x - x_0|} + |x_0|$$

$$< 2|x_0| + \delta$$

$$\Rightarrow \quad |x^2 - x_0^2| < (2|x_0| + \delta) \cdot \delta$$

elijo este $\delta = 1$

Mismo procedimiento para

$$|y^2 - y_0^2| < (2|x_0| + \delta) \cdot \delta$$

Reemplazando en lo que tenía

$$|x^2 - x_0^2 + y^2 - y_0^2| \leq \underbrace{|x^2 - 3^2|}_{< (2|x_0|+1) \cdot \delta} + \underbrace{|y^2 - 2^2|}_{< (2|y_0|+1) \cdot \delta}$$

$$< \delta \left(2|x_0| + 2|y_0| + 2\right)$$

$$< 2\delta \left(\underbrace{|x_0|}_{\geq 0} + \underbrace{|y_0|}_{\geq 0} + \underbrace{1}_{> 0} \right) < \varepsilon$$

$$\Leftrightarrow \quad \delta < \frac{\varepsilon}{2(|x_0| + |y_0| + 1)}$$

$\therefore$ mostré que $\forall \varepsilon > 0$, $\exists \delta > 0$ dado por

$$\delta = \min\left\{ 1, \frac{\varepsilon}{2(|x_0| + |y_0| + 1)} \right\}$$

tal que

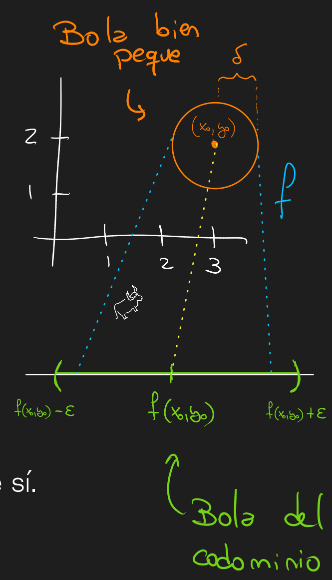
$$f\big(B((x_0, y_0), \delta)\big) \subseteq B\big(f(x_0, y_0), \varepsilon\big)$$

$\therefore$ mostré continuidad en cada (x_0, y_0) de $E = \mathbb{R}^2$

$\therefore$ f es continua en $(\mathbb{R}^2, d_2) \to (\mathbb{R}, d)$

$\blacksquare$

Resumen:



Quiero que para toda bola del codominio de f, pueda pasar una bola del dominio por f, y que quede contenida en la primera:

f(AlgunaBolaBienPeque) dentro_de CadaBolaDelCodominio

Pasos:

* Se que la bola del codominio tiene radio epsilon
* Entonces sé que los elementos de la bola están acotados por epsilon de distancia entre sí.
* Planteo |f(x,y) - f(a,b)| < epsilon
* Quiero |f(x,y) - f(a,b)| < ... meter un delta acá ... < epsilon
* Usando las distancias/cotas de la bola del dominio, opero acotando la norma del paso anterior hasta poder acotar por delta.
* De haber varios términos delta en algún producto, puedo elegir un valor fijo para alguno (ya que el otro delta podrá seguir tendiendo a cero, "arrastrando consigo" el otro término) y tener un despeje más sencillo.
* Finalmente, despejo delta en función de epsilon, obteniendo el delta que buscaba que depende de epsilon y (posiblemente) de los x,y sobre los cuales se analice continuidad.
* Probé continuidad para todo x,y de E=R^2

fin

Otra forma

f es contínua $\Leftrightarrow$ manda sucesiones $(x_n)_{n\in\mathbb{N}}$ convergentes a x

a sucesiones $(f(x_n))_{n\in\mathbb{N}}$ convergentes a $f(x)$

Las sucesiones del em son de la forma

$$(x_n, y_n)_{n\in\mathbb{N}} \subseteq \mathbb{R}^2$$

y si son convergentes a (x,y), las escribo como

$$(x_n, y_n) \xrightarrow[n\to\infty]{} (x, y)$$

qvq

$$f(x_n, y_n) \xrightarrow[n\to\infty]{?} f(x, y)$$

Primero muestro que si

$$(x_n, y_n) \xrightarrow[n\to\infty]{} (x, y)$$

$$\Rightarrow d_2((x_n, y_n), (x, y)) = \sqrt{\underbrace{(x_n - x)^2}_{\geq 0} + \underbrace{(y_n - y)^2}_{\geq 0}} \longrightarrow 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} x_n - x \to 0 \\ y_n - x \to 0 \end{cases}$$

$$\Longleftrightarrow \begin{cases} x_n \xrightarrow[n\to\infty]{} x \\ y_n \xrightarrow[n\to\infty]{} y \end{cases}$$

Volviendo:

$$f(x_n, y_n) \underset{\text{def}}{=} \underbrace{x_n^2}_{\to x} + \underbrace{y_n^2}_{\to y} \xrightarrow[n\to\infty]{} x^2 + y^2 \underset{\text{def}}{=} f(x,y)$$

$\blacksquare$

(b) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, \delta) \to (\mathbb{R}^2, d_\infty)$, la función identidad.

Acá parece ser buena idea usar sucesiones

$$(x_n, y_n)_{n\in\mathbb{N}} \subseteq \mathbb{R}^2$$

Como $(\mathbb{R}^2, \delta)$ tiene dist. discreta

Todas las sucesiones que convergen serán de la forma

$$\text{Si: } (x_n, y_n) \xrightarrow[n\to\infty]{} (x, y)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_n = x \\ y_n = y \end{cases} \quad \forall n \geq n_0 \quad \text{pues lo dijo Vicky ?}$$

No ! pues $\delta(a,b) = 0 \iff a = b$

y $\delta(a,b) = 1 \iff a \neq b$

$\therefore$ si (x_n) converge en δ, es porque es constante a partir de un n_0.

- Con ésto sé que todas las sucesiones convergentes en $(\mathbb{R}^2, \delta)$ son constantes a partir de un n_0.

Formalmente

$$\delta\left((x_n,y_n),(x,y)\right) = \begin{cases} 0 & \text{si} \quad (x_n,y_n)=(x,y) \\ 1 & \text{si} \quad \text{no} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \delta\left((x_n,y_n),(x,y)\right) \xrightarrow[n\to\infty]{} 0$$

$$\Leftrightarrow \exists n_0 \in \mathbb{N} \;/\; (x_n, y_n) = (x,y) \quad \forall n \geq n_0$$

Volviendo, la función del ejercicio es

$$f(x,y) = (x,y)$$

entonces si la aplico a $(x_n, y_n)_{n\in\mathbb{N}}$

$$f(x_n, y_n) = (x_n, y_n) \xrightarrow[n\to\infty]{} (x,y) = f(x,y)$$

$\boxtimes$

(c) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, d_\infty) \to (\mathbb{R}^2, \delta)$, la función identidad.

$$d_\infty((x_n, y_n), (x,y)) = \max\{|x_n - x|, |y_n - y|\}$$

Si $(x_n, y_n) \longrightarrow (x,y)$

$$\Rightarrow \quad d_\infty((x_n, y_n), (x,y)) = \max\{|x_n - x|, |y_n - y|\}$$

$$\max\{|x_n - x|, |y_n - y|\} \longrightarrow 0 \quad \Leftrightarrow$$

$\Leftrightarrow$ ambos tienden a cero

o sea $\begin{cases} x_n \to x \\ y_n \to y \end{cases}$

ya sé cómo convergen en $(\mathbb{R}^2, d_\infty)$

si hago

$$f(x_n, y_n) = (x_n, y_n) \xrightarrow{?} (x,y) = f(x,y)$$

Pero no toda

$$\left(0, \tfrac{1}{n}\right)_{n \in \mathbb{N}} \longrightarrow (0,0) \quad \text{pero}$$

$$\delta\left(f(0,\tfrac{1}{n}),\ f(0,0)\right) = 1 \quad \forall\, n\in\mathbb{N}$$

Resumen

- ε, δ — (a) $f : (\mathbb{R}^2, d_2) \to (\mathbb{R}, d)$, $f(x,y) = x^2 + y^2$.
- sucesiones — (b) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, \delta) \to (\mathbb{R}^2, d_\infty)$, la función identidad.
- sucesiones (contraejemplo) — (c) $id_{\mathbb{R}^2} : (\mathbb{R}^2, d_\infty) \to (\mathbb{R}^2, \delta)$, la función identidad.
- abiertos en E a abiertos en A — (d) $i : (A, d) \to (E, d)$, la inclusión,

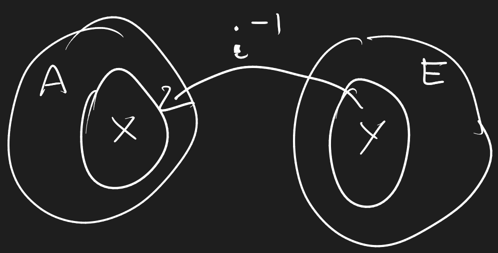
d) Para cada $Y \subseteq E$ abierto

qvq

$i^{-1}(Y)$ sea abierto

pero

$$i^{-1}(Y) = \{ x \in X \subseteq A \ / \ i(X) = Y \}$$



- Veo caso $\emptyset$

Si $i^{-1}(Y) = \emptyset$

$\Rightarrow$ como vacío es abierto, este caso vale ✓

- Si $i^{-1}(Y) \neq \phi$

$\Rightarrow \exists x \in X \subseteq A \mid x \in Y$

$\Rightarrow \exists \varepsilon > 0 \mid B_d(x, \varepsilon) \subseteq Y$

$\vdots$?

2. Sea $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ dada por

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{si } x \in \mathbb{Q}, \\ 0, & \text{si } x \notin \mathbb{Q}. \end{cases}$$

Probar que f es continua únicamente en $x = 0$.

Continua en $x=0$

$$\forall \varepsilon > 0,\ \exists \delta > 0 \ / \ f(B(x,\delta)) \subseteq B(f(x),\varepsilon)$$

$x=0$

$$f(B(0,\delta)) \subseteq B(f(0),\varepsilon)$$

$$B(f(0),\varepsilon) = \{ x \in \mathbb{R} \ / \ |f(0) - f(x)| < \varepsilon \}$$

$$|f(0) - f(x)| \overset{0 \in \mathbb{Q}}{=} |0 - f(x)| = |f(x)| < \varepsilon$$

Además sé que

$$B(0,\delta) = (-\delta, \delta)$$

Quiero que

$$f((-\delta,\delta)) \subseteq B(f(0),\varepsilon) = (-\varepsilon, \varepsilon)$$

Si tomo $\delta < \varepsilon$

$$|f(x)| \leq |x| \overset{x \in (-\delta,\delta)}{\leq} \delta < \varepsilon$$

$$\leq \begin{cases} |x| & \text{si } x \in \mathbb{Q} \\ 0 & \text{si } x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$$

encontré un δ para cada ε en $x=0$

$\Rightarrow$ f es continua en $x=0$. ✓

Falta ver que no es continua si $x \neq 0$.

Sea $x \neq 0$:

- Si $x \in \mathbb{Q}$ (y $x \neq 0$)

Armo $(x_n)_{n\in\mathbb{N}} \subseteq \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ que converge a x (pues $\mathbb{R}\setminus\mathbb{Q}$ es denso)

Si f fuera continua

$$\Rightarrow f(x_n) \longrightarrow f(x)$$

Pero como $x_n \in \mathbb{R}\setminus\mathbb{Q}$ $\forall n \in \mathbb{N}$

$$\Rightarrow f(x_n) = 0 \quad \forall n\in\mathbb{N}$$

y como $x \in \mathbb{Q}$

$$\Rightarrow f(x) \overset{\text{def } f}{=} x \underset{\text{Hipótesis}}{\neq} 0$$

Abs! pues obtuve una sucesión de ceros que converge a $x \neq 0$.

$\therefore$ f no es continua para los $x \in \mathbb{Q}\setminus\{0\}$

- Si $x \in \mathbb{R}\setminus\mathbb{Q}$:

$\Rightarrow$ Armo $(\bar{x}_n)_{n\in\mathbb{N}} \subseteq \mathbb{Q}$ que converge a x (pues $\mathbb{Q}$ es denso)

Si f fuera continua

$$\Rightarrow f(\bar{x}_n) \longrightarrow f(x)$$

Como $\overline{x}_n \in \mathbb{Q} \quad \forall n$

$$y \left.\begin{aligned} f(\overline{x}_n) &= \overline{x}_n \\ f(x) &\underset{\substack{\uparrow \\ x \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}}}{=} 0 \end{aligned}\right\} \quad \text{Pero si } f(\overline{x}_n) \longrightarrow f(x)$$

$$\Rightarrow \quad \overline{x}_n \longrightarrow 0$$

Abs! pues

$$\overline{x}_n \longrightarrow x \neq 0$$

$\therefore$ f <u>no</u> es continua si $x \neq 0$

$\blacksquare$

3. Sea $f:(0,1)\to\mathbb{R}$ dada por

$$f(x)=\begin{cases}0, & \text{si } x\notin\mathbb{Q},\\ \frac{1}{n}, & \text{si } x=\frac{m}{n} \text{ con } m \text{ y } n\in\mathbb{N} \text{ coprimos }.\end{cases}$$

Probar que f es continua en los irracionales del $(0,1)$ y **no** es continua en los racionales del $(0,1)$.

4. Sean $f, g : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ dadas por $f(x) = x^2$, $g(x) = \frac{x^2}{1+x^2}$. Probar que:

(a) f continua, y sin embargo existe $G \subseteq \mathbb{R}$ abierto tal que $f(G)$ no es abierto.

(b) g es continua, y sin embargo existe $F \subseteq \mathbb{R}$ cerrado tal que $g(F)$ no es cerrado.

a) Lo pruebo rapidín

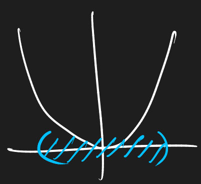
$$|x^2 - x_0^2| = \underbrace{|x - x_0|}_{<\delta}\,\underbrace{\overbrace{|x + x_0|}^{<|x|+|x_0|}}_{<2|x_0|+1} < \delta\,(2|x_0| + 1) < \varepsilon$$

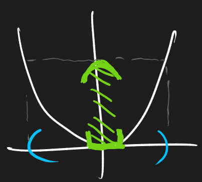
Tomo $\delta_1 = 1$

$$\Rightarrow \delta = \min\left\{1, \frac{\varepsilon}{2|x_0|+1}\right\}$$

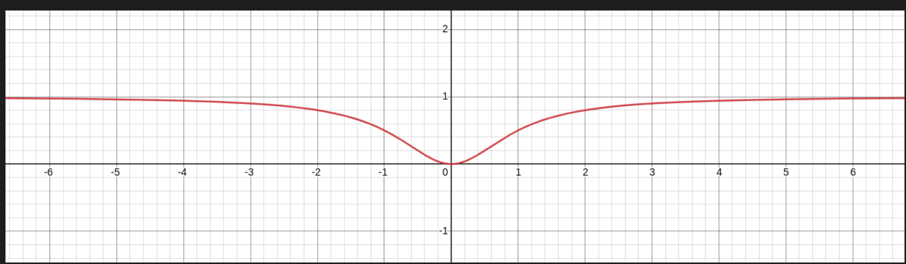
∴ es continua.

Si $G = (-2, 2) \Rightarrow f(G) = [0, 4)$





d) $g(x) = \dfrac{x^2}{1+x^2}$



Sé $|x - x_0| < \delta$

$$\left| \frac{x^2}{1+x^2} - \frac{x_0^2}{1+x_0^2} \right| < \frac{x^2}{1+x^2} - \frac{x_0^2}{1+x_0^2}$$

?

Con sucesiones? pues tiene asíntotas (no sé si me sirven ...)

.

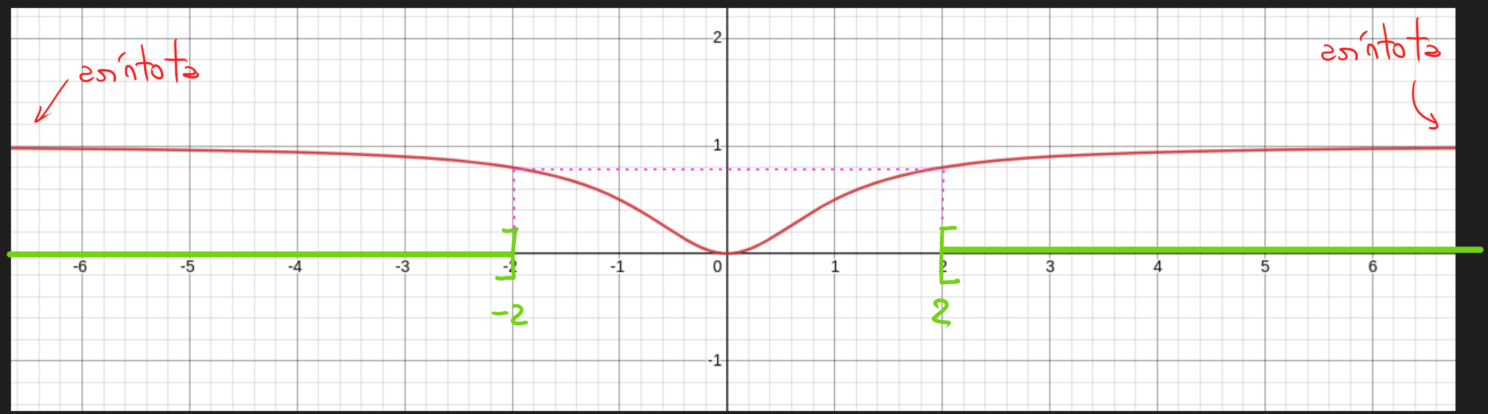
.

.

Tomo el cerrado $F = G^c = (-2,2)^c$ (abierto)

$= (-\infty, -2] \cup [2, +\infty)$

cerrado! pues es complemento de abierto.



Vemos que

$$g(F) = \left[\frac{4}{5}, 1\right) \qquad \frac{4}{5} = \frac{2^2}{1+2^2}$$

que no es cerrado. //

5. Sea (E, d) un espacio métrico, y sea $x_0 \in E$. Sea $f : E \to \mathbb{R}$ una función continua en x_0. Probar que si $f(x_0) > 0$ entonces existe $r > 0$ tal que $f(x) > 0$ para todo $x \in B(x_0, r)$.

Como f es continua en x_0:

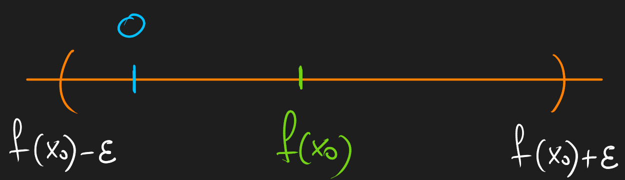
$\forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0 /$

$$f\left(B(x_0, \delta)\right) \subseteq B\left(f(x_0), \varepsilon\right)$$

Si

$f(x_0) > 0$

$\Rightarrow B\left(f(x_0), \varepsilon\right)$ tiene centro en:



Si tomo

$$r = d\left(f(x_0), 0\right) > 0$$

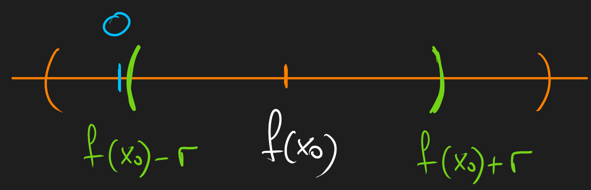
Como f es continua en x_0

$\Rightarrow \forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0 /$

$$f\left(B(x_0, \delta)\right) \subseteq B\left(f(x_0), \varepsilon\right)$$

en particular

vale para $\varepsilon = r = d(f(x_0), 0) > 0$



∴ Todos los elementos de la bola

$$B\big(f(x_0),\ d(f(x_0),0)\big)$$

$$\|$$

$$\{y \in E = \mathbb{R} : d(f(x_0), y) < d(f(x_0),0)\}$$

$\blacksquare$