

6. Sean (E, d) e (E', d') espacios métricos y $f, g : E \rightarrow E'$ funciones continuas.

(a) Probar que $\{x \in E : f(x) \neq g(x)\}$ es abierto.

(b) Deducir que $\{x \in E : f(x) = g(x)\}$ es cerrado.

(c) Probar que si D es denso en E y $f|_D = g|_D$, entonces $f = g$.

Definición: D es *denso* en E si $\overline{D} = E$.

$$a) \quad X = \{x \in E : f(x) \neq g(x)\}$$

$P_{\forall f}$ es abierto

Sea $x_0 \in X$

$\Rightarrow f$ es continua en x_0

$$\Rightarrow \forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0 \mid f(B(x_0, \delta)) \subseteq B(f(x_0), \varepsilon)$$

y como esto vale para cada $x_0 \in X$

tengo una bola abierta en X para cada x_0 .

¡Eh!
Re truco!
No merezco
borrarlo :-)

Alcanza? ... sospechoso! 

De nuevo:

$$\text{Definir } h(x) = f(x) - g(x)$$

\uparrow es continua pues f, g cont.

$$X = \{x \in E : f(x) \neq g(x)\}$$

$$X = \{x \in E : h(x) \neq 0\}$$

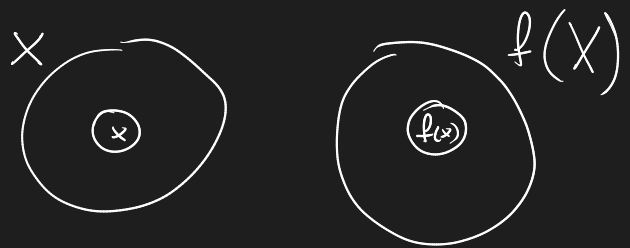
Como h es continua

$$\text{Si } x \in X,$$

$$\text{Si } V \subseteq E \text{ es un abierto / } h(x) \in V$$

$$\Rightarrow h^{-1}(V) \text{ es abierto,}$$

$$\Rightarrow \exists r / \text{ si } y \in B(x, r) \Rightarrow y \neq 0$$



$$\therefore B(x, r) \subseteq X$$

Probé que para cada $x \in X$, existe una bola abierta contenida en X ("lens" de elementos en X)

$\therefore X$ es abierto.



b) Si X es abierto $\Rightarrow X^c$ es cerrado
 \uparrow
resulta ser el conj. de b)

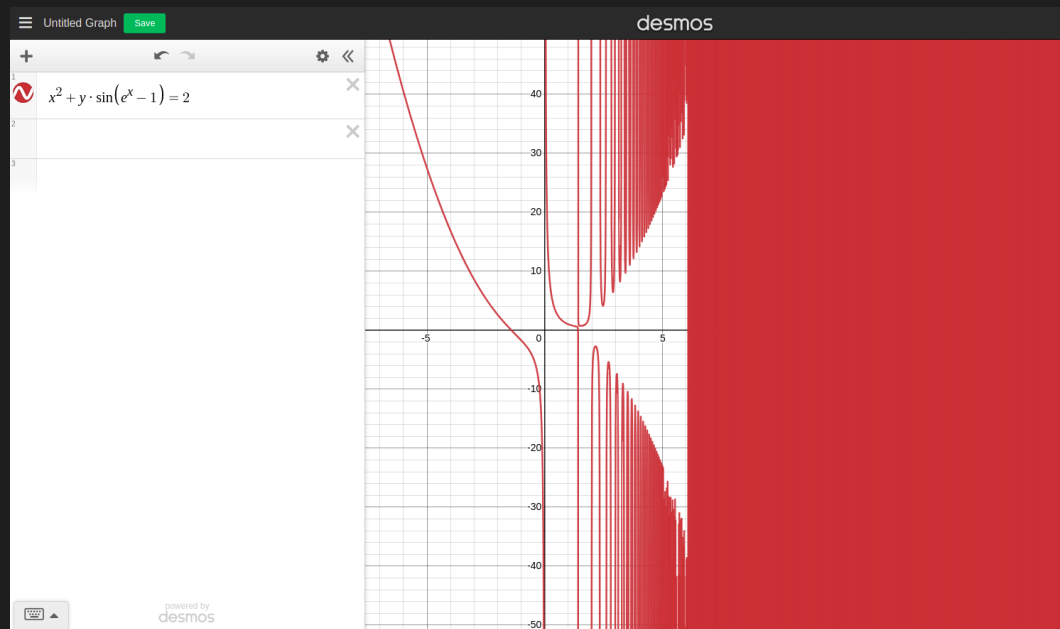
c) (c) Probar que si D es denso en E y $f|_D = g|_D$, entonces $f = g$.
Definición: D es *denso* en E si $\overline{D} = E$.

7. Considerando en cada \mathbb{R}^n la métrica euclídea d_2 , probar que:

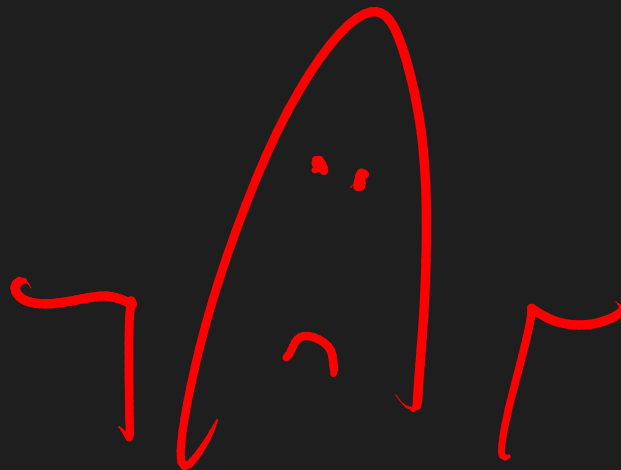
- (a) $\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + y \sin(e^x - 1) = -2\}$ es cerrado.
- (b) $\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : -1 \leq x^3 - 3y^4 + z - 2 \leq 3\}$ es cerrado.
- (c) $\{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \in \mathbb{R}^5 : 3 < x_1 - x_2\}$ es abierto.

Mencionar otras dos métricas para las cuales siguen valiendo estas afirmaciones.

a) Grafico porque $\neg(A)$

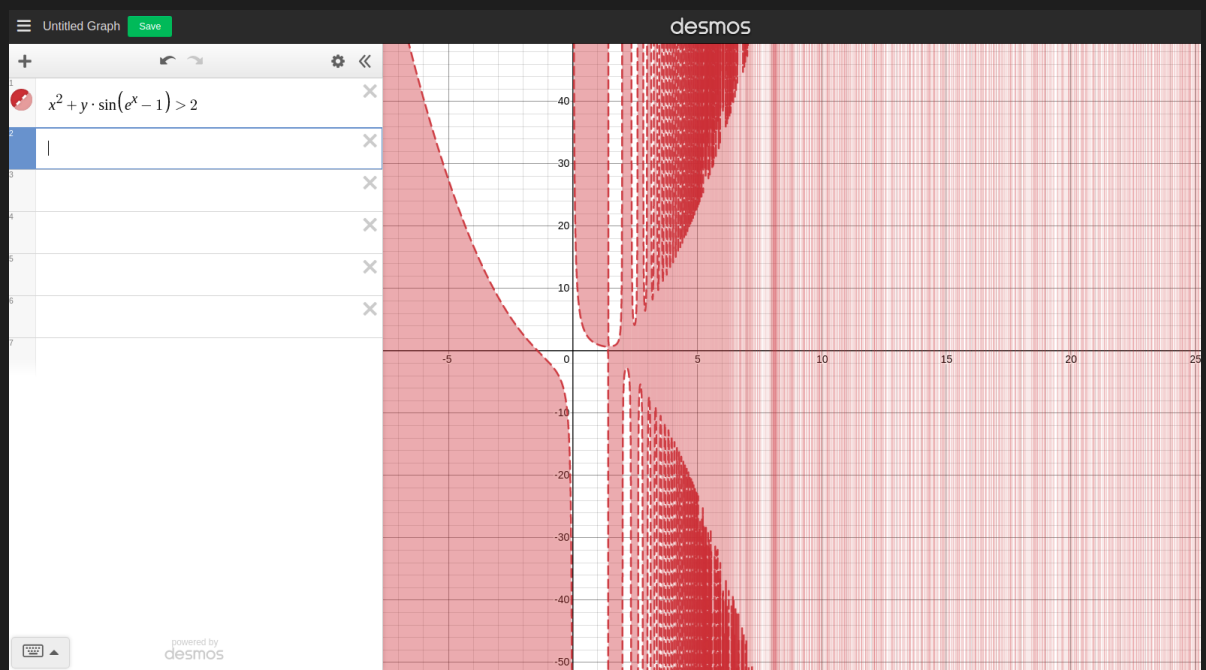
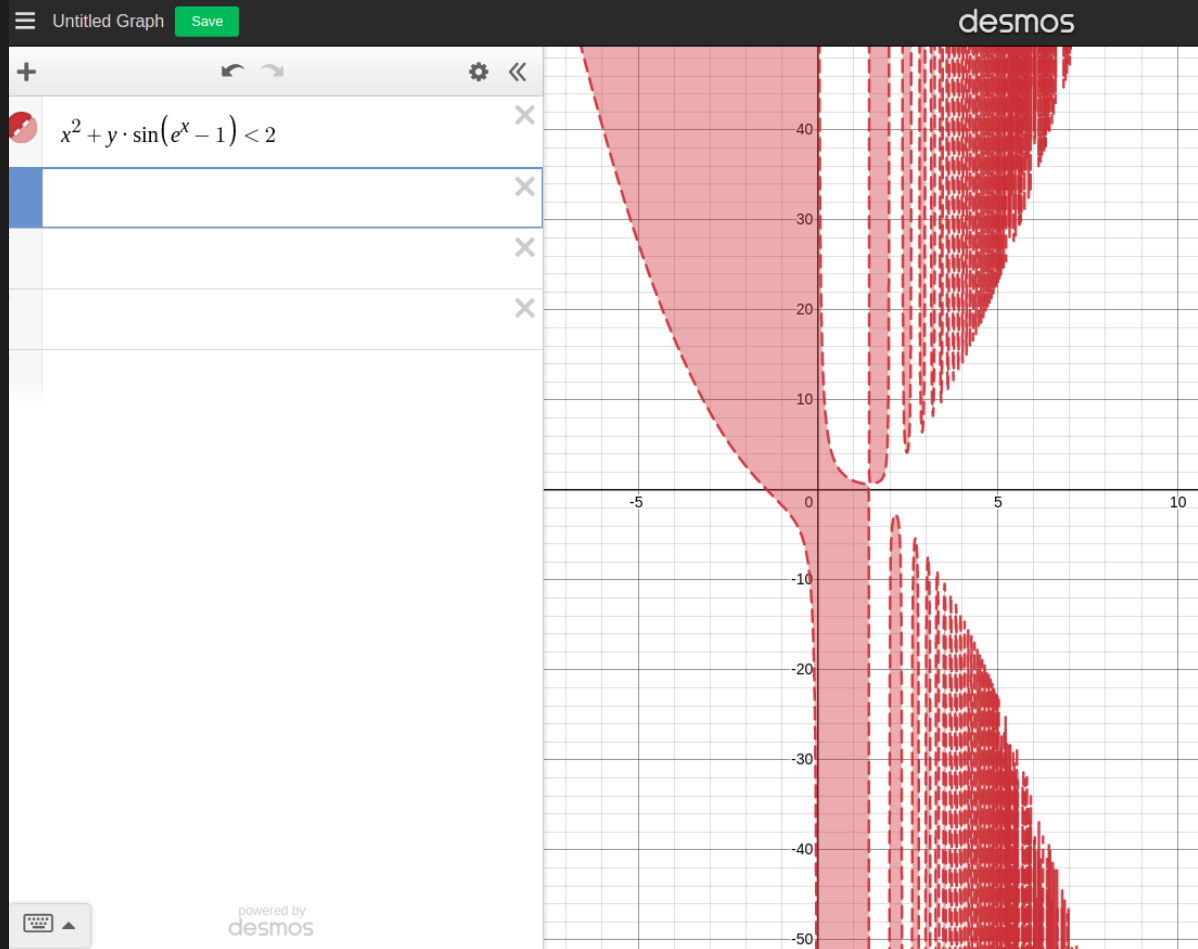


Khe!



Sé que A es cerrado $\Leftrightarrow A^c$ es abierto

Veo $f(x, y) < 2$



Borde puntado $\therefore A^c$ es abierto ... claro! \cup_0^c

Si por cada $(x, y) \in A^c$ puedo meter una bolita abierta
contenida en $A^c \Rightarrow A^c$ es abierto

$\Rightarrow A$ es cerrado

$$\text{Llamo } A_-^c = \left\{ (x,y) \in E : x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1) < 2 \right\}$$

$$A_+^c = \left\{ (x,y) \in E : x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1) > 2 \right\}$$

Probo A_-^c abierto

Sea $(x,y) \in A_-^c$

$$\text{q.v.q } \exists r > 0 / B((x,y), r) \subseteq A_-^c$$

$$\text{Llamo } f(x,y) := x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1)$$

Como $f(x,y)$ es continua (pues suma, resta, producto de funciones continuas en \mathbb{R}^2 ...
o hay que probarlo? $\ddot{\sigma}$)

$$\Rightarrow f(B((x,y), \delta)) \subseteq B(f(x,y), \varepsilon)$$

\Rightarrow Si para cada abierto entorno de $f(x,y)$,

tengo una bola abierta centrada en (x,y)

Contenida en $A_-^c \Rightarrow A_-^c$ es abierto

Observación obse:

Cuando $f(x,y)$ está "cerca" de 2 en:

$$x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1) < 2$$

Digo que si:

$$d_2(x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1), 2) = \varepsilon_0 > 0$$

$$\Rightarrow \exists (x, y) \in B(f(x, y), \varepsilon) \stackrel{?}{\subseteq} A_-^c /$$

$$d_2(x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1), 2) = \frac{\varepsilon_0}{2} < \varepsilon_0$$

∴ siempre puedo meter una bola
"cerca del borde", pues justamente
no hay borde, sino un abierto.

Probé que A_-^c es abierto.



De la misma forma se prueba A_+^c .

y como unión de abiertos es abierto

$$\Rightarrow A_-^c \cup A_+^c = A^c \text{ es abierto}$$

∴ A es cerrado.



 Pruebo que $f(x, y)$ es continua 

Acoto norma L_2 y obtengo δ en función de ε :

$$\underbrace{|f(x, y) - f(a, b)|}_{\in \mathbb{R}} = \underbrace{|x^2 + y \cdot \sin(e^x - 1) - a^2 - b \cdot \sin(e^a - 1)|}_{\in \mathbb{R}}$$

$$= |x^2 - a^2 + y \cdot \sin(e^x - 1) - b \cdot \sin(e^a - 1)|$$

$$\leq |x^2 - a^2| + |y \cdot \sin(e^x - 1) - b \cdot \sin(e^a - 1)|$$

~~~~~

$$\hookrightarrow |(x+a) \cdot (x-a)| \leq |x+a| \cdot |x-a|$$

$$\begin{aligned} & \leq |x| + |a| \\ & \leq |a| + \delta + |a| \end{aligned}$$

$$\text{elijo } \delta_1 = 1$$

$$= 2|a| + 1$$

$$\leq (2|a| + 1) \cdot \delta$$

↑ no es unif.  
continua  
pues depende  
de  $a$

y para el 2º término:

$$|y \cdot \sin(e^x - 1) - b \cdot \sin(e^a - 1)| \leq \text{no me sirve uss de sig. } \Delta$$

$$|y \cdot \sin(e^x - 1)| + |b \cdot \sin(e^a - 1)|$$

No hacía falta probar cont. Very difícil con estas  
funciones.



Quedan para hacer

b)

c)

(se ven similares a  $\boxed{a}$ )

8. Sean  $(E, d)$  e  $(E', d')$  espacios métricos y  $f : E \rightarrow E'$  una función continua y suryectiva. Probar que si  $D$  es denso en  $E$  entonces  $f(D)$  es denso en  $E'$ .

$$D \text{ es denso} \Leftrightarrow \overline{D} = E$$

$f : E \rightarrow E'$  suryectiva (ie cada  $y \in E'$  se corresponde con un  $x \in E$  /  $f(x) = y$ )

$$\text{Si: } \overline{D} = E \Rightarrow \overline{f(D)} \stackrel{?}{=} E'$$

$$\text{Sé que } f(E) = E'$$

por como  $f$  suryectiva

para cada  $y \in E'$  tengo  $x \in E$  /  $f(x) = y$

$$\Rightarrow f(\overline{D}) = E'$$

$$\Rightarrow f(D) \cup f(\partial D) = E'$$

quiero llegar a que  $\overline{f(D)} = E'$

quedo aplicar clausura a ambos lados?

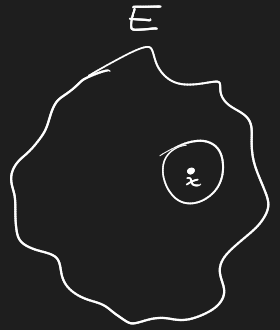
$$\Rightarrow \overline{f(D) \cup f(\partial D)} = \overline{E'}$$

$$\overline{f(D)} \cup \overline{f(\partial D)} = E'$$

9. Sea  $(E, d)$  un espacio métrico. Probar que todo punto de  $E$  es aislado si y sólo si toda función de  $E$  en un espacio métrico arbitrario es continua.

$\Rightarrow$ )  $\forall x \in E$ ,  $x$  es punto aislado

$$\exists r > 0 \mid B(x, r) = \{x\}$$



Sea  $f: E \rightarrow E'$

q.v.q.  $f$  es continua.

uso que:

como  $x$  es pto. aislado

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

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

pues

$$f(\{x\}) \subseteq B(f(x), \varepsilon)$$

$$f(x) \subseteq B(f(x), \varepsilon)$$



vale siempre pues es el centro de la bola de radio  $\varepsilon > 0$

Mostré que si

$\forall x \in E$ ,  $x$  es punto aislado  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  Toda  $f$  definida en  $E \rightarrow E'$  (arbitrario) será continua.

Faltb l welt

$\Leftarrow$ ) Si Toda  $f$  definida en  $E \rightarrow E'$  es continua

q.v.q todos los  $x \in E$  son estados

(Uso explicación de Gabriel + Dani en Zulip)

**Problema 7** Se  $f$  es a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(3)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(3) = 3^2 + 2 \cdot 3 + 1 = 9 + 6 + 1 = 16$$

Logo, o valor de  $f(3)$  é 16.

**Problema 8** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(0)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(0) = 0^2 + 2 \cdot 0 + 1 = 0 + 0 + 1 = 1$$

Logo, o valor de  $f(0)$  é 1.

**Problema 9** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(-1)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(-1) = (-1)^2 + 2 \cdot (-1) + 1 = 1 - 2 + 1 = 0$$

Logo, o valor de  $f(-1)$  é 0.

**Problema 10** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(2)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(2) = 2^2 + 2 \cdot 2 + 1 = 4 + 4 + 1 = 9$$

Logo, o valor de  $f(2)$  é 9.

**Problema 11** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(4)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(4) = 4^2 + 2 \cdot 4 + 1 = 16 + 8 + 1 = 25$$

Logo, o valor de  $f(4)$  é 25.

**Problema 12** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(5)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(5) = 5^2 + 2 \cdot 5 + 1 = 25 + 10 + 1 = 36$$

Logo, o valor de  $f(5)$  é 36.

**Problema 13** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(6)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(6) = 6^2 + 2 \cdot 6 + 1 = 36 + 12 + 1 = 49$$

Logo, o valor de  $f(6)$  é 49.

**Problema 14** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(7)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(7) = 7^2 + 2 \cdot 7 + 1 = 49 + 14 + 1 = 64$$

Logo, o valor de  $f(7)$  é 64.

**Problema 15** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(8)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(8) = 8^2 + 2 \cdot 8 + 1 = 64 + 16 + 1 = 81$$

Logo, o valor de  $f(8)$  é 81.

**Problema 16** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(9)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(9) = 9^2 + 2 \cdot 9 + 1 = 81 + 18 + 1 = 100$$

Logo, o valor de  $f(9)$  é 100.

**Problema 17** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(10)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(10) = 10^2 + 2 \cdot 10 + 1 = 100 + 20 + 1 = 121$$

Logo, o valor de  $f(10)$  é 121.

**Problema 18** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(11)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(11) = 11^2 + 2 \cdot 11 + 1 = 121 + 22 + 1 = 144$$

Logo, o valor de  $f(11)$  é 144.

**Problema 19** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(12)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(12) = 12^2 + 2 \cdot 12 + 1 = 144 + 24 + 1 = 169$$

Logo, o valor de  $f(12)$  é 169.

**Problema 20** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(13)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(13) = 13^2 + 2 \cdot 13 + 1 = 169 + 26 + 1 = 196$$

Logo, o valor de  $f(13)$  é 196.

**Problema 21** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(14)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(14) = 14^2 + 2 \cdot 14 + 1 = 196 + 28 + 1 = 225$$

Logo, o valor de  $f(14)$  é 225.

**Problema 22** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(15)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(15) = 15^2 + 2 \cdot 15 + 1 = 225 + 30 + 1 = 256$$

Logo, o valor de  $f(15)$  é 256.

**Problema 23** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(16)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(16) = 16^2 + 2 \cdot 16 + 1 = 256 + 32 + 1 = 289$$

Logo, o valor de  $f(16)$  é 289.

**Problema 24** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(17)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(17) = 17^2 + 2 \cdot 17 + 1 = 289 + 34 + 1 = 324$$

Logo, o valor de  $f(17)$  é 324.

**Problema 25** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(18)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(18) = 18^2 + 2 \cdot 18 + 1 = 324 + 36 + 1 = 361$$

Logo, o valor de  $f(18)$  é 361.

**Problema 26** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(19)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(19) = 19^2 + 2 \cdot 19 + 1 = 361 + 38 + 1 = 400$$

Logo, o valor de  $f(19)$  é 400.

**Problema 27** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(20)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(20) = 20^2 + 2 \cdot 20 + 1 = 400 + 40 + 1 = 441$$

Logo, o valor de  $f(20)$  é 441.

**Problema 28** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(21)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(21) = 21^2 + 2 \cdot 21 + 1 = 441 + 42 + 1 = 484$$

Logo, o valor de  $f(21)$  é 484.

**Problema 29** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(22)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(22) = 22^2 + 2 \cdot 22 + 1 = 484 + 44 + 1 = 529$$

Logo, o valor de  $f(22)$  é 529.

**Problema 30** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x + 1$ , qual o valor de  $f(23)$ ?

**Solução** Basta substituir o valor de  $x$  na expressão dada para  $f(x)$ .

Assim, temos:

$$f(23) = 23^2 + 2 \cdot 23 + 1 = 529 + 46 + 1 = 576$$

Logo, o valor de  $f(23)$  é 576.

**Problema 31** Se  $f$  é a função definida por  $f(x) = x^2 + 2x +$

**Daniel Carando**  
Clarísimo!  
Ya que estamos, con esa misma función que usaste se puede probar la vuelta pero de forma directa, sin usar contrarrecíproco: empezás armando esa misma función y, por hipótesis, sabés que es continua. Entonces... pero acá por si alguien lo quiere pensar.

### Plan :

- Aprovecho que TODO  $f$  es continua.
- Para cada punto  $a$ , existe una  $f_a(x)$  (continua por  $\mathbb{R}$ )  

es de acumulación
- Supongo que  $a$  no es aislado, y luego es un absurdo.
- Supongo que  $\exists x_n \rightarrow a$ , (pues infinitos  $x_n$  en el entorno de  $a$ )  
 quiero que  $f_a(x_n) \rightarrow y \neq f_a(a)$
- Muestro que para esta  $f_a$ ,  $a$  es aislado.
- Entonces todos los puntos de  $E$  son aislados.

Sea  $a \in E$ ,

si  $a$  es punto de acumulación,

↙ aquí está el absurdo

$\Rightarrow \exists$  infinitos puntos en todo entorno de  $a$

$\Rightarrow \exists (x_n)_{n \in \mathbb{N}} \subseteq E / x_n \rightarrow a$

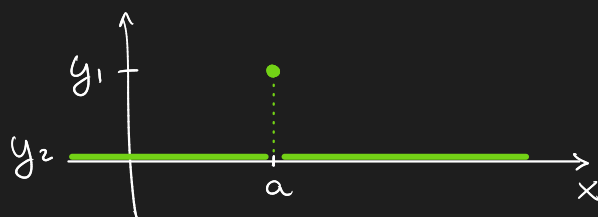
Llamo

$f_a: E \rightarrow E'$  (continua por  $f_b$ )

$$f_a(x) = \begin{cases} \text{algún elemento } y_1 \in E' & \text{si } x = a \\ \text{algún elemento } y_2 \in E' & \text{si } x \neq a \end{cases}$$

$(y_1 \neq y_2)$

Ilustración (es más general que  $\mathbb{R}^2$ )



Tengo  $x_n \rightarrow a$

veo que

$$f_a(x_n) = y_2 \quad \text{si } x_n \neq a$$

pero

$$f_a(a) = y_1$$

Absurdo! pues  $f_a(x_n) \not\rightarrow f_a(a)$

$\therefore$   $a$  es punto aislado.

Como para cada  $a$  en  $E$  tengo una  $f_a$  que muestra un punto aislado en  $a$  (pues  $f_a$  no puede ser discontinua)

$\Rightarrow$  Todos los  $x \in E$  son puntos aislados.



