

Práctica 6

1. Probar que $\|\cdot\|_1, \|\cdot\|_2$ y $\|\cdot\|_\infty$ definen normas en \mathbb{R}^n , donde

$$\|x\|_1 = \sum_{i=1}^n |x_i|, \quad \|x\|_2 = \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2} \quad \text{y} \quad \|x\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|.$$

2. Sea $(E, \|\cdot\|)$ un espacio normado. Probar que se verifican:

- (a) Si $x \in E$ y $r > 0$, $\overline{B(x, r)} = \overline{B}(x, r)$ (es decir, la clausura de la bola abierta es la bola cerrada).
- (b) $\text{diam}(B(x, r)) = 2r$.
- (c) Si $y, z \in B(x, r)$ entonces para todo $t \in [0, 1]$, $ty + (1-t)z \in B(x, r)$ (es decir, la bola es *convexa*).

3. Sea $(E, \|\cdot\|)$ un espacio normado. Sean $(x_n)_{n \in \mathbb{N}} \subseteq E$ y $x_0 \in E$ tales que $x_n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} x_0$. Probar que si definimos $(y_n)_{n \in \mathbb{N}} \subseteq E$ por

$$y_n = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n},$$

entonces $\lim_{n \rightarrow \infty} y_n = x_0$.

4. Sea $(E, \|\cdot\|)$ un espacio normado y $S \subseteq E$ un subespacio (vectorial). Probar que:

- (a) \overline{S} también es un subespacio.
- (b) Si $S \neq E$, entonces $S^\circ = \emptyset$.
- (c) Si $\dim(S) < \infty$, entonces S es cerrado.
- (d) Si S es un hiperplano (o sea: no existe un subespacio T tal que $S \subsetneq T \subsetneq E$), entonces S es o bien denso o bien cerrado en E .

5. Sea $\mathbb{R}_n[t]$ el conjunto de los polinomios de grado menor o igual que n con coeficientes en \mathbb{R} . Consideremos para $p \in \mathbb{R}_n[t]$ las normas

$$\|p\|_\infty = \max_{0 \leq t \leq 1} |p(t)| \quad \text{y} \quad \|p\|_1 = \int_0^1 |p(t)| dt.$$

- (a) ¿Son $(\mathbb{R}_n[t], \|\cdot\|_\infty)$ y $(\mathbb{R}_n[t], \|\cdot\|_1)$ espacios de Banach? ¿Por qué?
- (b) Justificar por qué ambas normas resultan equivalentes en $\mathbb{R}_n[t]$ para todo $n \in \mathbb{N}$.
- (c) Si $\mathbb{R}[t]$ denota el conjunto de todos los polinomios con coeficientes en \mathbb{R} , probar que ahí las normas $\|\cdot\|_\infty$ y $\|\cdot\|_1$ no son equivalentes. ¿Hay alguna contradicción con el item anterior, que afirma que las normas son equivalentes para polinomios de grado hasta n **para todo** $n \in \mathbb{N}$?

6. Definimos ℓ^∞ como el espacio de todas las sucesiones acotadas de números reales:

$$\ell^\infty = \left\{ a = (a_n)_{n \in \mathbb{N}} \subseteq \mathbb{R} : \sup_{n \in \mathbb{N}} |a_n| < +\infty \right\}$$

con la norma

$$\|a\|_\infty = \sup_{n \in \mathbb{N}} |a_n|.$$

- (a) Probar que la bola cerrada de centro 0 y radio 1 de ℓ^∞ no es compacta.
- (b) Probar que no hay ningún conjunto numerable denso en ℓ^∞ .

7. Consideremos el espacio normado

$$E = \{ a \in \ell^\infty : \text{existe } n_0 \in \mathbb{N} \text{ tal que } a_n = 0 \text{ para todo } n \geq n_0 \},$$

dentro del cual consideramos el subespacio

$$S = \left\{ a \in E : \sum_{n \geq 1} a_n = 0 \right\}.$$

Probar que S es denso en E .

8. Sean E y F espacios normados. Sea $T : E \rightarrow F$ un operador lineal. Probar que son equivalentes:

- (a) T es continuo en 0.
- (b) Existe $x_0 \in E$ tal que T es continuo en x_0 .
- (c) T es continuo.
- (d) T es uniformemente continuo.
- (e) Existe $M > 0$ tal que $\|Tx\| \leq M\|x\|$ para todo $x \in E$ (T es acotada).
- (f) Para todo $A \subseteq E$ acotado, $T(A)$ es acotado.

9. Sean $(E, \|\cdot\|_E)$, $(F, \|\cdot\|_F)$ y sea $T : E \rightarrow F$ lineal y continuo. Verificar las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \|T\| &= \sup_{\|x\|_E \leq 1} \|Tx\|_F = \sup_{\|x\|_E = 1} \|Tx\|_F \\ &= \sup_{x \neq 0} \frac{\|Tx\|_F}{\|x\|_E} = \inf\{M > 0 : \|Tx\|_F \leq M\|x\|_E\}. \end{aligned}$$

10. Consideremos en $C([0, 1])$ las normas

$$\|f\|_\infty = \max_{x \in [0, 1]} |f(x)|, \quad \text{y} \quad \|f\|_1 = \int_0^1 |f(x)| dx.$$

Sean $\mathcal{E}, \mathcal{I} : C([0, 1]) \rightarrow \mathbb{R}$ las funcionales lineales definidas por

$$\mathcal{E}f = f(0), \quad \mathcal{I}f = \int_0^1 f(x) dx.$$

Decidir, para cada una de las normas, si cada una de las funcionales es continua; en caso afirmativo, acotar su norma.

11. Sea $k : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ continua y sea $K : C([0, 1]) \rightarrow C([0, 1])$ dada por

$$(Kf)(x) = \int_0^1 k(x, y)f(y) dy.$$

Probar que si consideramos en $C([0, 1])$ la norma infinito entonces K es lineal y continua. Acotar su norma.

12. Sea $(\mathbb{R}[t], \|\cdot\|_\infty)$ el espacio de polinomios definido en el Ejercicio 5. Sea $\delta : \mathbb{R}[t] \rightarrow \mathbb{R}[t]$ dado por $(\delta p)(t) = p'(t)$, donde p' denota el derivado de p . Probar que δ es un operador lineal que no es continuo.

13. Sea ℓ^2 el espacio vectorial de todas las sucesiones de cuadrado sumable:

$$\ell^2 = \left\{ a = (a_n)_{n \in \mathbb{N}} \subseteq \mathbb{R} : \sum_{n=1}^{\infty} |a_n|^2 < +\infty \right\}.$$

Para $a \in \ell^2$ definimos

$$\|a\|_2 = \left(\sum_{n=1}^{\infty} |a_n|^2 \right)^{1/2}.$$

- (a) ¿Es compacta la bola cerrada de centro 0 y radio 1 de ℓ^2 ?
(b) Probar que $\gamma : \ell^2 \rightarrow \mathbb{R}$ dada por

$$\gamma(a) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{n}$$

es una funcional lineal continua.
