

## Ejercicio 1

### Consigna

Dadas las siguientes transformaciones lineales:

1.  $T : \mathbb{K}^2 \rightarrow \mathbb{K}^2, T(x, y) = (-2x - 7y, x + 2y)$
2.  $T : \mathbb{K}^3 \rightarrow \mathbb{K}^3, T(x, y, z) = (x, z, y)$
3.  $T : \mathbb{K}^3 \rightarrow \mathbb{K}^3, T(x, y, z) = (x, z, -y)$

- (a) Hallar valores propios y bases de los subespacios propios de  $T$ , si  $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ .
- (b) Hallar valores propios y bases de los subespacios propios de  $T$ , si  $\mathbb{K} = \mathbb{C}$ .

### Resolución (parte 1)

Para hallar los vectores y valores propios de  $T$ , necesitaremos hallar una matriz asociada a dicha transformación, para la cual usaremos las bases canónicas.

Sea  $\mathcal{E} = \{(1, 0), (0, 1)\}$ , hallemos  ${}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}}$ :

- $coord_{\mathcal{E}}(1, 0) = (-2, 1)$
- $coord_{\mathcal{E}}(0, 1) = (-7, 2)$

Entonces:

$${}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}} = \begin{pmatrix} -2 & -7 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

**Observación:** “Deshago” la función  $coord$  porque la base es la canónica.

Con esto puedo hallar el polinomio característico:

$$\begin{aligned} X_T(\lambda) &= \det({}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}} - \lambda \mathbb{I}) \\ &= \begin{vmatrix} -2 - \lambda & -7 \\ 1 & 2 - \lambda \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Entonces el polinomio característico es:

$$X_T(\lambda) = (-2 - \lambda)(2 - \lambda) + 7 = \lambda^2 - 4 + 7 = \lambda^2 + 3$$

Si quisiera hallar las raíces:

$$\begin{aligned} X_T(\lambda) &= 0 \\ \lambda^2 + 3 &= 0 \\ \lambda^2 &= -3 \\ \lambda &= \pm\sqrt{-3} \\ \lambda &= \pm\sqrt{3} \cdot i \end{aligned}$$

Por lo que si  $\mathbb{K} = \mathbb{R}$  entonces no hay valores propios, así que trabajaremos con  $\mathbb{K} = \mathbb{C}$ , donde tenemos:

- $\lambda_1 = \sqrt{3} \cdot i$
- $\lambda_2 = -\sqrt{3} \cdot i$

Ahora tenemos que encontrar soluciones al sistema:

$$(\mathcal{E}(T)_{\mathcal{E}} - \lambda \mathbb{I}) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Esto equivale a resolver el siguiente sistema, para  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ :

$$\left( \begin{array}{cc|c} -2-\lambda & -7 & 0 \\ 1 & 2-\lambda & 0 \end{array} \right)$$

**Subespacio**  $\lambda_1 = \sqrt{3} \cdot i$

El sistema que queremos resolver en este caso es:

$$\left( \begin{array}{cc|c} -2-\sqrt{3} \cdot i & -7 & 0 \\ 1 & 2-\sqrt{3} \cdot i & 0 \end{array} \right) \Rightarrow \left( \begin{array}{cc|c} -2-\sqrt{3} \cdot i & -7 & 0 \\ 2+\sqrt{3} \cdot i & 7 & 0 \end{array} \right)$$

**Observación:** Multiplicamos la fila dos por  $(2 + \sqrt{3} \cdot i)$ , es muy importante tener en cuenta el conjugado para cuando usamos el cuerpo de los complejos.

Veamos las cuentas auxiliares que hicimos:

$$(2 + \sqrt{3} \cdot i)((2 - \sqrt{3} \cdot i)) = 4 - \sqrt{3}^2 \cdot i^2 = 4 + 3 = 7$$

Ahora, siguiendo con el sistema, operemos sobre la primer fila (ya que la segunda es CL de la primera):

$$\begin{aligned} (2 - \sqrt{3} \cdot i)x - 7y &= 0 \\ y &= \frac{(2 - \sqrt{3} \cdot i)x}{-7} \end{aligned}$$

Entonces, si llamamos  $v$  al vector propio que buscamos, podemos decir que:  $coord_{\mathcal{E}}(v) = (x, \frac{(2-\sqrt{3} \cdot i)x}{-7})$

Pero como estamos trabajando con la base canónica, podemos decir que:

$$v = (x, \frac{(2-\sqrt{3} \cdot i)x}{-7}) \text{ para algún } x \in \mathbb{C}$$

Finalizando, podemos decir que:

$$S_{\sqrt{3} \cdot i} := \{(\alpha, \frac{(2 - \sqrt{3} \cdot i)\alpha}{-7}) \mid \alpha \in \mathbb{C}\}$$

Y la base de dicho subespacio es:

$$\left\{ \left( 1, \frac{(2 - \sqrt{3} \cdot i)}{-7} \right) \right\}$$

**Subespacio**  $\lambda_1 = -\sqrt{3} \cdot i$

El sistema que queremos resolver en este caso es:

$$\left( \begin{array}{cc|c} -2 + \sqrt{3} \cdot i & -7 & 0 \\ 1 & 2 + \sqrt{3} \cdot i & 0 \end{array} \right) \Rightarrow \left( \begin{array}{cc|c} -2 + \sqrt{3} \cdot i & -7 & 0 \\ 2 - \sqrt{3} \cdot i & 7 & 0 \end{array} \right)$$

En este caso la operación es la misma que la de arriba, despejando podemos decir que:

$$y = \frac{(-2 + \sqrt{3} \cdot i)x}{-7}$$

Trabajando con el mismo razonamiento que en el caso anterior, concluimos que:

$$S_{-\sqrt{3} \cdot i} := \left\{ \left( \alpha, \frac{(2 + \sqrt{3} \cdot i)\alpha}{-7} \right) \mid \alpha \in \mathbb{C} \right\}$$

Y la base de dicho subespacio es:

$$\left\{ \left( 1, \frac{(2 + \sqrt{3} \cdot i)}{-7} \right) \right\}$$

## Resolución (parte 2)

Sea  $T : \mathbb{K}^3 \rightarrow \mathbb{K}^3$ ,  $T(x, y, z) = (x, z, y)$ , considerando la base canónica  $\mathcal{E} = \{(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)\}$ , hallemos  ${}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}}$ :

- $coord_{\mathcal{E}}(T(1, 0, 0)) = (1, 0, 0)$
- $coord_{\mathcal{E}}(T(0, 1, 0)) = (0, 0, 1)$
- $coord_{\mathcal{E}}(T(0, 0, 1)) = (0, 1, 0)$

Como estamos usando la base canónica, podemos decir que:

$${}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Ahora hallemos el polinomio característico:

$$\begin{aligned}
X_T(\lambda) &= \det({}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}} - \lambda \mathbb{I}) \\
X_T(\lambda) &= \begin{vmatrix} 1-\lambda & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \\ 0 & 1 & -\lambda \end{vmatrix} \\
X_T(\lambda) &= (1-\lambda)(\lambda^2 - 1)
\end{aligned}$$

Podemos concluir que las raíces características son:

- $\lambda_1 = 1$
- $\lambda_2 = -1$

Observemos que  $\lambda_1 = 1$  aparece dos veces, una vez en  $(1 - \lambda)$  y la otra en  $(\lambda^2 - 1)$ .

Cómo todas las raíces del polinomio característico son reales, podemos trabajar en dicho cuerpo.

Ahora tenemos que encontrar soluciones al sistema:

$$({}_{\mathcal{E}}(T)_{\mathcal{E}} - \lambda \mathbb{I}) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Esto equivale a resolver el siguiente sistema, para  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ :

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 1-\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -\lambda & 0 \end{array} \right)$$

**Subespacio  $\lambda_1 = 1$**

El sistema para este valor propio es:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{array} \right)$$

Se observa que las 3 filas son combinaciones lineales la una de la otra, podemos concluir que:

- $x \in \mathbb{R}$
- $z = y$

Entonces, si llamamos  $v$  al vector propio que buscamos, podemos decir que:  $\text{coord}_{\mathcal{E}}(v) = (x, y, y)$

Pero como estamos trabajando con la base canónica, podemos decir que:

$v = (x, y, y)$  para algunos  $x, y \in \mathbb{R}$

Finalizando, podemos decir que:

$$S_1 := \{(\alpha, \beta, \beta) \mid \alpha, \beta \in \mathbb{R}\}$$

Y la base de dicho subespacio es:

$$\{(1, 0, 0), (0, 1, 1)\}$$

**Subespacio**  $\lambda_1 = -1$

El sistema para este valor propio es:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right)$$

Obtenemos que:

- $x = 0$
- $z = -y$

Por el mismo razonamiento del caso anterior:

$$S_{-1} := \{(0, \alpha, -\alpha) \mid \alpha \in \mathbb{R}\}$$

Y la base de dicho subespacio es:

$$\{(0, 1, -1)\}$$

**Resolución (parte 3)**

Se toma como análoga a las 2 anteriores