

# Geometría y Álgebra Lineal 2

Mauro Polenta Mora

## Ejercicio 9

### Consigna

1. En  $\mathbb{R}^4$  con producto interno habitual, hallar una base ortonormal de:  $S = [(1, 1, 0, 0), (1, 1, 1, 1), (-1, 0, 2, 1)]$ .
2. En  $\mathbb{C}^3$  con producto interno habitual, hallar una base ortonormal de:  $S = [(1, i, 0), (1, 1, 1)]$ .

### Resolución

La resolución de este ejercicio es utilizar el método de Ortonormalización de Gram-Schmidt.

#### Parte 1

En esta parte, consideramos el producto interno habitual de  $\mathbb{R}^4$ , es decir, el definido por:

$$\langle v, w \rangle = \sum_{i=1}^4 v_i w_i$$

Considerando los vectores que ya tenemos, los describimos como:

- $v_1 = (1, 1, 0, 0)$
- $v_2 = (1, 1, 1, 1)$
- $v_3 = (-1, 0, 2, 1)$

Queremos encontrar vectores  $\{w_1, w_2, w_3\}$  tal que:

- $[w_1, w_2, w_3] = [v_1, v_2, v_3]$

Empezamos tomando  $w_1 = v_1 = (1, 1, 0, 0)$ , a partir de esto definimos  $w_2$  de la siguiente forma:

$$w_2 = v_2 - \frac{\langle v_2, w_1 \rangle}{\langle w_1, w_1 \rangle} w_1$$

Sustituyendo con los valores que conocemos:

$$w_2 = (1, 1, 1, 1) - \frac{\langle (1, 1, 1, 1), (1, 1, 0, 0) \rangle}{\langle (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0) \rangle} (1, 1, 0, 0)$$

Cálculemos los productos internos que necesitamos:

- $\langle (1, 1, 1, 1), (1, 1, 0, 0) \rangle = 1 + 1 + 0 + 0 = 2$
- $\langle (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0) \rangle = 1 + 1 + 0 + 0 = 2$

Entonces:

$$\begin{aligned} w_2 &= (1, 1, 1, 1) - (1, 1, 0, 0) \\ &= (0, 0, 1, 1) \end{aligned}$$

Ahora deberíamos hacer lo mismo para hallar  $w_3$ :

$$w_3 = (-1, 0, 2, 1) - \frac{\langle (-1, 0, 2, 1), (0, 0, 1, 1) \rangle}{\langle (0, 0, 1, 1), (0, 0, 1, 1) \rangle} (0, 0, 1, 1) - \frac{\langle (-1, 0, 2, 1), (1, 1, 0, 0) \rangle}{\langle (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0) \rangle} (1, 1, 0, 0)$$

Cálculemos los productos internos que necesitamos:

- $\langle (-1, 0, 2, 1), (0, 0, 1, 1) \rangle = 0 + 0 + 2 + 1 = 3$
- $\langle (0, 0, 1, 1), (0, 0, 1, 1) \rangle = 0 + 0 + 1 + 1 = 2$
- $\langle (-1, 0, 2, 1), (1, 1, 0, 0) \rangle = -1 + 0 + 0 + 0 = -1$

Entonces:

$$\begin{aligned} w_3 &= (-1, 0, 2, 1) - \frac{3}{2} (0, 0, 1, 1) - \frac{-1}{4} (1, 1, 0, 0) \\ &= \left( -1, 0, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} (1, 1, 0, 0) \\ &= \left( -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right) \end{aligned}$$

Ahora restaría normalizar los vectores, para lo que nos faltaría solo calcular la siguiente norma al cuadrado:

- $\langle (-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}), (-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}) \rangle = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1$

Considerando  $[u_1, u_2, u_3]$  como el resultado al que queremos llegar, tenemos que:

- $u_1 = \frac{w_1}{\|w_1\|}$
- $u_2 = \frac{w_2}{\|w_2\|}$
- $u_3 = w_3$  pues  $w_3$  ya está normalizado (su norma es 1)

Usando lo obtenido hasta ahora entonces:

- $u_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (1, 1, 0, 0) = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0 \right)$
- $u_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (0, 0, 1, 1) = \left( 0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
- $u_3 = \left( -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right)$

Por lo que  $\left[\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0\right), \left(0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right), \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)\right]$  es el resultado que estabamos buscando.

## Parte 2

En esta parte, consideramos el producto interno habitual de  $\mathbb{C}^3$ , es decir, el definido por:

$$\langle v, w \rangle = \sum_{i=1}^3 v_i \overline{w_i}$$

Considerando los vectores que ya tenemos, los describimos como:

- $v_1 = (1, i, 0)$
- $v_2 = (1, 1, 1)$

Queremos encontrar vectores  $\{w_1, w_2\}$  tal que:

- $[w_1, w_2] = [v_1, v_2]$

Empezamos tomando  $w_1 = v_1 = (1, i, 0)$ , a partir de esto definimos  $w_2$  de la siguiente forma:

$$w_2 = v_2 - \frac{\langle v_2, w_1 \rangle}{\langle w_1, w_1 \rangle} w_1$$

Sustituyendo con los valores que conocemos:

$$w_2 = (1, 1, 1) - \frac{\langle (1, 1, 1), (1, i, 0) \rangle}{\langle (1, i, 0), (1, i, 0) \rangle} (1, i, 0)$$

Cálculemos los productos internos que necesitamos:

- $\langle (1, 1, 1), (1, i, 0) \rangle = 1 + (-i) + 0 = 1 - i$
- $\langle (1, i, 0), (1, i, 0) \rangle = 1 + -i^2 + 0 = 2$

Entonces:

$$\begin{aligned} w_2 &= (1, 1, 1) - \frac{1-i}{2} (1, i, 0) \\ &= (1, 1, 1) - \left(\frac{1-i}{2}, \frac{1+i}{2}, 0\right) \\ &= \left(\frac{1+i}{2}, \frac{1-i}{2}, 1\right) \end{aligned}$$

Ahora restaría normalizar los vectores, para lo que nos faltaría solo calcular la siguiente norma al cuadrado:

- $\langle \left(\frac{1+i}{2}, \frac{1-i}{2}, 1\right), \left(\frac{1+i}{2}, \frac{1-i}{2}, 1\right) \rangle = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 = 2$

Considerando  $[u_1, u_2]$  como el resultado al que queremos llegar, tenemos que:

- $u_1 = \frac{w_1}{\|w_1\|}$

- $u_2 = \frac{w_2}{\|w_2\|}$

Usando lo obtenido hasta ahora entonces:

- $u_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(1, i, 0) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{i}{\sqrt{2}}, 0\right)$
- $u_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{1+i}{2}, \frac{1-i}{2}, 1\right) = \left(\frac{1+i}{2\sqrt{2}}, \frac{1-i}{2\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$

Por lo que  $\left[\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{i}{\sqrt{2}}, 0\right), \left(\frac{1+i}{2\sqrt{2}}, \frac{1-i}{2\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\right]$  es el resultado que estabamos buscando.