

## **Trabajo Práctico N° 1:** **Vectores y Espacios Vectoriales.**

### **Ejercicio 1.**

*Dados los vectores  $u = (1, 2)$ ,  $v = (-1, 3)$  y  $w = (-1, -2)$ , calcular analítica y gráficamente las siguientes operaciones.*

**(a)**

$$u + v = (1, 2) + (-1, 3)$$

$$u + v = (0, 5).$$

**Gráfico.**

**(b)**

$$v + w = (-1, 3) + (-1, -2)$$

$$v + w = (-2, 1).$$

**Gráfico.**

**(c)**

$$3u + 3v = 3(1, 2) + 3(-1, 3)$$

$$3u + 3v = (3, 6) + (-3, 9)$$

$$3u + 3v = (0, 15).$$

**Gráfico.**

**(d)**

$$3(u + v) = 3[(1, 2) + (-1, 3)]$$

$$3(u + v) = 3(0, 5)$$

$$3(u + v) = (0, 15).$$

**Gráfico.**

**(e)**

$$(u + v) + w = [(1, 2) + (-1, 3)] + (-1, 2)$$

$$(u + v) + w = (0, 5) + (-1, 2)$$

$$(u + v) + w = (-1, 7).$$

Gráfico.

(f)

$$u + (v + w) = (1, 2) + [(-1, 3) + (-1, -2)]$$

$$u + (v + w) = (1, 2) + (-2, 1)$$

$$u + (v + w) = (-1, 3).$$

Gráfico.

(g)

$$u - v = (1, 2) - (-1, 3)$$

$$u - v = (4, -1).$$

Gráfico.

(h)

$$u + (v - w) = (1, 2) + [(-1, 3) - (-1, -2)]$$

$$u + (v - w) = (1, 2) + (0, 5)$$

$$u + (v - w) = (1, 7).$$

Gráfico.

(i)

$$\frac{5}{4}u + \frac{1}{2}v - \frac{3}{2}w = \frac{5}{4}(1, 2) + \frac{1}{2}(-1, 3) - \frac{3}{2}(-1, -2)$$

$$\frac{5}{4}u + \frac{1}{2}v - \frac{3}{2}w = \left(\frac{5}{4}, \frac{5}{2}\right) + \left(\frac{-1}{2}, \frac{3}{2}\right) + \left(\frac{3}{2}, 3\right)$$

$$\frac{5}{4}u + \frac{1}{2}v - \frac{3}{2}w = \left(\frac{9}{4}, 7\right).$$

Gráfico.

## **Ejercicio 2.**

Sea  $w = (1, 3) \in \mathbb{R}^2$  un vector. Graficar en el plano.

(a)  $L = \{tw : t \in \mathbb{R}\}$ .

Gráfico.

(b)  $L = \{tw : t \in \mathbb{R}_{\geq 0}\}$ .

Gráfico.

(c)  $L = \{tw : t \in \mathbb{R}, 0 \leq t \leq 1\}$ .

Gráfico.

**Ejercicio 3.**

Dados los vectores  $u = (0, 1, 2)$ ,  $v = (1, 1, 0)$  y  $w = (-1, 1, 1)$ , calcular las operaciones:

(a)

$$\begin{aligned}u + v &= (0, 1, 2) + (1, 1, 0) \\u + v &= (1, 2, 2).\end{aligned}$$

(b)

$$\begin{aligned}u + v + w &= (0, 1, 2) + (1, 1, 0) + (-1, 1, 1) \\u + v + w &= (0, 3, 3).\end{aligned}$$

(c)

$$\begin{aligned}u - v &= (0, 1, 2) - (1, 1, 0) \\u - v &= (-1, 0, 2).\end{aligned}$$

(d)

$$\begin{aligned}2u &= 2(0, 1, 2) \\2u &= (0, 2, 4).\end{aligned}$$

(e)

$$\begin{aligned}-3v &= -3(1, 1, 0) \\-3v &= (-3, -3, 0).\end{aligned}$$

(f)

$$\begin{aligned}-v + \frac{2}{3}w &= -(1, 1, 0) + \frac{2}{3}(-1, 1, 1) \\-v + \frac{2}{3}w &= (-1, -1, 0) + \left(\frac{-2}{3}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right) \\-v + \frac{2}{3}w &= \left(\frac{-5}{3}, \frac{-1}{3}, \frac{2}{3}\right).\end{aligned}$$

**Ejercicio 4.**

Hallar  $x$  e  $y$  para que los vectores  $v$  y  $w$  resulten iguales.

(a)  $v = (x, 3)$  y  $w = (2, x + y)$ .

$$v = w$$

$$(x, 3) = (2, x + y).$$

$$\begin{cases} x = 2 \\ 3 = x + y \end{cases}$$

$$x + y = 3$$

$$y = -x + 3$$

$$y = -2 + 3$$

$$y = 1.$$

Por lo tanto, los valores de  $x$  e  $y$  para que los vectores  $v$  y  $w$  resulten iguales son  $(2, 1)$ .

(b)  $v = (4, y)$  y  $w = x(2, 3)$ .

$$v = w$$

$$(4, y) = x(2, 3)$$

$$(4, y) = (2x, 3x).$$

$$\begin{cases} 4 = 2x \\ y = 3x \end{cases}$$

$$x = \frac{4}{2}$$

$$x = 2.$$

$$y = 3 \cdot 2$$

$$y = 6.$$

Por lo tanto, los valores de  $x$  e  $y$  para que los vectores  $v$  y  $w$  resulten iguales son  $(2, 6)$ .

(c)  $v = x(3, 2)$  y  $w = 2(y, -1)$ .

$$v = w$$

$$x(3, 2) = 2(y, -1)$$

$$(3x, 2x) = (2y, -2).$$

$$\begin{cases} 3x = 2y \\ 2x = -2 \end{cases}$$

$$x = \frac{-2}{2}$$

$$x = -1.$$

$$2y = 3x$$

$$y = \frac{3}{2}x$$

$$y = \frac{3}{2}(-1)$$

$$y = \frac{-3}{2}.$$

Por lo tanto, los valores de  $x$  e  $y$  para que los vectores  $v$  y  $w$  resulten iguales son  $(-1, \frac{-3}{2})$ .

(d)  $v = x(2, y)$  y  $w = y(1, -2)$ .

$$v = w$$

$$x(2, y) = y(1, -2)$$

$$(2x, xy) = (y, -2y).$$

$$\begin{cases} 2x = y \\ xy = -2y \end{cases}$$

$$x2x = -2 * 2x$$

$$2x^2 = -4x$$

$$x^2 = \frac{-4}{2}x$$

$$x^2 = -2x$$

$$x^2 + 2x = 0$$

$$x(x + 2) = 0.$$

$$x_1 = 0.$$

$$x_2 = -2.$$

$$y_1 = 2 * 0 = 0.$$

$$y_2 = 2(-2) = -4.$$

Por lo tanto, los valores de  $x$  e  $y$  para que los vectores  $v$  y  $w$  resulten iguales son  $(0, 0)$  y  $(-2, -4)$ .

**Ejercicio 5**

Normalizar los siguientes vectores.

(a)  $u = (-3, 1, -2, 4, -5)$ .

$$\begin{aligned} u' &= \frac{u}{\|u\|} \\ u' &= \frac{1}{\sqrt{(-3)^2 + 1^2 + (-2)^2 + 4^2 + (-5)^2}} (-3, 1, -2, 4, -5) \\ u' &= \frac{1}{\sqrt{9+1+4+16+25}} (-3, 1, -2, 4, -5) \\ u' &= \frac{1}{\sqrt{55}} (-3, 1, -2, 4, -5) \\ u' &= \left( \frac{-3}{\sqrt{55}}, \frac{1}{\sqrt{55}}, \frac{-2}{\sqrt{55}}, \frac{4}{\sqrt{55}}, \frac{-5}{\sqrt{55}} \right) \\ u' &= \left( \frac{-3\sqrt{55}}{55}, \frac{\sqrt{55}}{55}, \frac{-2\sqrt{55}}{55}, \frac{4\sqrt{55}}{55}, \frac{-5\sqrt{55}}{55} \right) \\ u' &= \left( \frac{-3\sqrt{55}}{55}, \frac{\sqrt{55}}{55}, \frac{-2\sqrt{55}}{55}, \frac{4\sqrt{55}}{55}, \frac{-\sqrt{55}}{11} \right). \end{aligned}$$

(b)  $v = (4, -2, -3, 8)$ .

$$\begin{aligned} v' &= \frac{v}{\|v\|} \\ v' &= \frac{1}{\sqrt{4^2 + (-2)^2 + (-3)^2 + 8^2}} (4, -2, -3, 8) \\ v' &= \frac{1}{\sqrt{16+4+9+64}} (4, -2, -3, 8) \\ v' &= \frac{1}{\sqrt{93}} (4, -2, -3, 8) \\ v' &= \left( \frac{4}{\sqrt{93}}, \frac{-2}{\sqrt{93}}, \frac{-3}{\sqrt{93}}, \frac{8}{\sqrt{93}} \right) \\ v' &= \left( \frac{4\sqrt{93}}{93}, \frac{-2\sqrt{93}}{93}, \frac{-3\sqrt{93}}{93}, \frac{8\sqrt{93}}{93} \right) \\ v' &= \left( \frac{4\sqrt{93}}{93}, \frac{-2\sqrt{93}}{93}, \frac{-\sqrt{93}}{31}, \frac{8\sqrt{93}}{93} \right). \end{aligned}$$

(c)  $w = \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right)$ .

$$\begin{aligned} w' &= \frac{w}{\|w\|} \\ w' &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^2 + \left(\frac{-1}{4}\right)^2}} \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right) \\ w' &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{4}{9} + \frac{1}{16}}} \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right) \\ w' &= \frac{1}{\sqrt{\frac{109}{144}}} \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right) \\ w' &= \frac{1}{\frac{\sqrt{109}}{12}} \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w' &= \frac{12}{\sqrt{109}} \left( \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{-1}{4} \right) \\
 w' &= \left( \frac{6}{\sqrt{109}}, \frac{8}{\sqrt{109}}, \frac{-3}{\sqrt{109}} \right) \\
 w' &= \left( \frac{6\sqrt{109}}{109}, \frac{8\sqrt{109}}{109}, \frac{-3\sqrt{109}}{4*109} \right) \\
 w' &= \left( \frac{6\sqrt{109}}{109}, \frac{8\sqrt{109}}{109}, \frac{-3\sqrt{109}}{109} \right).
 \end{aligned}$$



**Ejercicio 6.**

Determinar todos los valores de  $k \in \mathbb{R}$  que verifican:

(a) El vector  $u = (4, k)$  tiene norma 5.

$$\begin{aligned} \|u\| &= 5 \\ \sqrt{4^2 + k^2} &= 5 \\ \sqrt{16 + k^2} &= 5 \\ 16 + k^2 &= 5^2 \\ 16 + k^2 &= 25 \\ k^2 &= 25 - 16 \\ k^2 &= 9 \\ \sqrt{k^2} &= \sqrt{9} \\ |k| &= 3 \\ k &= \pm 3. \end{aligned}$$

(b) El vector  $v = (1, k, 0)$  tiene norma 2.

$$\begin{aligned} \|v\| &= 2 \\ \sqrt{1^2 + k^2 + 0^2} &= 2 \\ \sqrt{1 + k^2 + 0} &= 2 \\ \sqrt{1 + k^2} &= 2 \\ 1 + k^2 &= 2^2 \\ 1 + k^2 &= 4 \\ k^2 &= 4 - 1 \\ k^2 &= 3 \\ \sqrt{k^2} &= \sqrt{3} \\ |k| &= \sqrt{3} \\ k &= \pm \sqrt{3}. \end{aligned}$$

(c) El vector  $w = k(2, 2, 1)$  tiene norma 1.

$$\begin{aligned} \|w\| &= 1 \\ \sqrt{(2k)^2 + (2k)^2 + 1^2} &= 1 \\ \sqrt{4k^2 + 4k^2 + 1} &= 1 \\ \sqrt{8k^2 + 1} &= 1 \\ 8k^2 + 1 &= 1^2 \\ 8k^2 + 1 &= 1 \\ 8k^2 &= 1 - 1 \\ 8k^2 &= 0 \\ k^2 &= \frac{0}{8} \end{aligned}$$

$$k^2 = 0$$

$$\sqrt{k^2} = \sqrt{0}$$

$$|k| = 0$$

$$k = \pm 0$$

$$k = 0.$$

(d) El vector  $z = (1, k, -2, 5)$  tiene norma  $\sqrt{39}$ .

$$\|z\| = \sqrt{39}$$

$$\sqrt{1^2 + k^2 + (-2)^2 + 5^2} = \sqrt{39}$$

$$\sqrt{1 + k^2 + 4 + 25} = \sqrt{39}$$

$$\sqrt{30 + k^2} = \sqrt{39}$$

$$30 + k^2 = (\sqrt{39})^2$$

$$30 + k^2 = 39$$

$$k^2 = 39 - 30$$

$$k^2 = 9$$

$$\sqrt{k^2} = \sqrt{9}$$

$$|k| = 3$$

$$k = \pm 3.$$

**Ejercicio 7.**

Dados los vectores  $v = (1, -2, 2)$ ,  $w = (2, 0, 3)$  y  $z = (4, 4, 4)$ , realizar las operaciones.

(a)

$$\begin{aligned} v * w &= (1, -2, 2) * (2, 0, 3) \\ v * w &= 1 * 2 - 2 * 0 + 2 * 3 \\ v * w &= 2 - 0 + 6 \\ v * w &= 8. \end{aligned}$$

(b)

$$\begin{aligned} w * v &= (2, 0, 3) * (1, -2, 2) \\ w * v &= 2 * 1 + 0 * (-2) + 3 * 2 \\ w * v &= 2 + 0 + 6 \\ w * v &= 8. \end{aligned}$$

(c)

$$\begin{aligned} (v + w) * z &= [(1, -2, 2) + (2, 0, 3)] * (4, 4, 4) \\ (v + w) * z &= (3, -2, 5) * (4, 4, 4) \\ (v + w) * z &= 3 * 4 - 2 * 4 + 5 * 4 \\ (v + w) * z &= 12 - 8 + 20 \\ (v + w) * z &= 24. \end{aligned}$$

(d)

$$\begin{aligned} (v * z) + (w * z) &= (1, -2, 2) * (4, 4, 4) + (2, 0, 3) * (4, 4, 4) \\ (v * z) + (w * z) &= [(1, -2, 2) + (2, 0, 3)] * (4, 4, 4) \\ (v * z) + (w * z) &= (3, -2, 5) * (4, 4, 4) \\ (v * z) + (w * z) &= 3 * 4 - 2 * 4 + 5 * 4 \\ (v * z) + (w * z) &= 12 - 8 + 20 \\ (v * z) + (w * z) &= 24. \end{aligned}$$

(e)

$$\begin{aligned} 3v * w &= 3 (1, -2, 2) * (2, 0, 3) \\ 3v * w &= (3, -6, 12) * (2, 0, 3) \\ 3v * w &= 3 * 2 - 6 * 0 + 12 * 3 \\ 3v * w &= 6 - 0 + 36 \end{aligned}$$

$$3v * w = 42.$$

**(f)**

$$v * 3w = (1, -2, 2) * 3(2, 0, 3)$$

$$v * 3w = (1, -2, 2) * (6, 0, 9)$$

$$v * 3w = 1 * 6 - 2 * 0 + 2 * 9$$

$$v * 3w = 6 - 0 + 18$$

$$v * 3w = 24.$$

**(g)**

$$3(v * w) = 3[(1, -2, 2) * (2, 0, 3)]$$

$$3(v * w) = 3(1 * 2 - 2 * 0 + 2 * 3)$$

$$3(v * w) = 3(2 - 0 + 6)$$

$$3(v * w) = 3 * 8$$

$$3(v * w) = 24.$$

**(h)**

$$v * v = (1, -2, 2) * (1, -2, 2)$$

$$v * v = 1 * 1 - 2(-2) + 2 * 2$$

$$v * v = 1 - 4 + 4$$

$$v * v = 1.$$

**(i)**

$$w * w = (2, 0, 3) * (2, 0, 3)$$

$$w * w = 2 * 2 + 0 * 0 + 3 * 3$$

$$w * w = 4 + 0 + 9$$

$$w * w = 13.$$

### **Ejercicio 8.**

En cada uno de los siguientes casos, calcular el ángulo entre los vectores  $u$  y  $v$ .

(a)  $u = (1, 1)$  y  $v = (1, -1)$ .

$$u \cdot v = (1, 1) \cdot (1, -1)$$

$$u \cdot v = 1 \cdot 1 + 1 \cdot (-1)$$

$$u \cdot v = 1 - 1$$

$$u \cdot v = 0.$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{\cos(\varphi)}{\|u\| \|v\|} \right)$$

$$\varphi = \arccos(0)$$

$$\varphi = 90^\circ.$$

Por lo tanto,  $u$  y  $v$  son ortogonales.

(b)  $u = (3, -1, 2)$  y  $v = (4, 3, -1)$ .

$$u \cdot v = (3, -1, 2) \cdot (4, 3, -1)$$

$$u \cdot v = 3 \cdot 4 - 1 \cdot 3 + 2 \cdot (-1)$$

$$u \cdot v = 12 - 3 - 2$$

$$u \cdot v = 7.$$

$$\|u\| = \sqrt{3^2 + (-1)^2 + 2^2}$$

$$\|u\| = \sqrt{9 + 1 + 4}$$

$$\|u\| = \sqrt{14}.$$

$$\|v\| = \sqrt{4^2 + 3^2 + (-1)^2}$$

$$\|v\| = \sqrt{16 + 9 + 1}$$

$$\|v\| = \sqrt{26}.$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{u \cdot v}{\|u\| \|v\|} \right)$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{7}{\sqrt{14} \sqrt{26}} \right)$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{7}{\sqrt{14 \cdot 26}} \right)$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{7}{\sqrt{390}} \right)$$

$$\varphi = 69,24^\circ.$$

Por lo tanto,  $u$  y  $v$  no son ortogonales.

(c)  $u = (1, -2, 3)$  y  $v = (2, 5, 4)$ .

$$\begin{aligned}u \cdot v &= (1, -2, 3) \cdot (2, 5, 4) \\u \cdot v &= 1 \cdot 2 - 2 \cdot 5 + 3 \cdot 4 \\u \cdot v &= 2 - 10 + 12 \\u \cdot v &= 4.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\|u\| &= \sqrt{1^2 + (-2)^2 + 3^2} \\ \|u\| &= \sqrt{1 + 4 + 9} \\ \|u\| &= \sqrt{14}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\|v\| &= \sqrt{2^2 + 5^2 + 4^2} \\ \|v\| &= \sqrt{4 + 25 + 16} \\ \|v\| &= \sqrt{45}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi &= \arccos \left( \frac{u \cdot v}{\|u\| \|v\|} \right) \\ \varphi &= \arccos \left( \frac{4}{\sqrt{14} \sqrt{45}} \right) \\ \varphi &= \arccos \left( \frac{4}{\sqrt{14 \cdot 45}} \right) \\ \varphi &= \arccos \left( \frac{4}{\sqrt{630}} \right) \\ \varphi &= 80,6^\circ.\end{aligned}$$

Por lo tanto,  $u$  y  $v$  no son ortogonales.

### **Ejercicio 9.**

Se consideran los vectores de  $\mathbb{R}^3$   $u = (1, -3, 2)$  y  $v = (2, -1, 1)$ .

(a) Escribir al vector  $w = (1, 7, -4)$  como combinación lineal de  $u$  y  $v$ .

$$w = au + bv$$

$$(1, 7, -4) = a(1, -3, 2) + b(2, -1, 1)$$

$$(1, 7, -4) = (a, -3a, 2a) + (2b, -b, b)$$

$$(1, 7, -4) = (a + 2b, -3a - b, 2a + b).$$

$$\begin{cases} 1 = a + 2b \\ 7 = -3a - b \\ -4 = 2a + b \end{cases}$$

$$2b = 1 - a$$

$$b = \frac{1-a}{2}$$

$$b = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}a.$$

$$7 = -3a - \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}a\right)$$

$$7 = -3a - \frac{1}{2} + \frac{1}{2}a$$

$$7 = \frac{-5}{2}a - \frac{1}{2}$$

$$\frac{5}{2}a = \frac{-1}{2} - 7$$

$$\frac{5}{2}a = \frac{-15}{2}$$

$$a = \frac{-15}{5}$$

$$a = -3.$$

$$b = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(-3)$$

$$b = \frac{1}{2} + \frac{3}{2}$$

$$b = 2.$$

$$-4 = 2(-3) + 2$$

$$-4 = -6 + 2$$

$$-4 = -4.$$

Por lo tanto, se escribe al vector  $w$  como combinación lineal de  $u$  y  $v$  de la siguiente manera:

$$w = -3u + 2v$$

$$(1, 7, -4) = -3(1, -3, 2) + 2(2, -1, 1).$$

(b) Escribir al vector  $z = (2, -5, 4)$  como combinación lineal de  $u$  y  $v$ .

$$z = au + bv$$

$$(2, -5, 4) = a(1, -3, 2) + b(2, -1, 1)$$

$$(2, -5, 4) = (a, -3a, 2a) + (2b, -b, b)$$

$$(2, -5, 4) = (a + 2b, -3a - b, 2a + b).$$

$$\begin{cases} 2 = a + 2b \\ -5 = -3a - b. \\ 4 = 2a + b \end{cases}$$

$$2b = 2 - a$$

$$b = \frac{2-a}{2}$$

$$b = 1 - \frac{1}{2}a.$$

$$-5 = -3a - (1 - \frac{1}{2}a)$$

$$-5 = -3a - 1 + \frac{1}{2}a$$

$$-5 = -\frac{5}{2}a - 1$$

$$\frac{5}{2}a = -1 + 5$$

$$\frac{5}{2}a = 4$$

$$a = \frac{4}{\frac{5}{2}}$$

$$a = \frac{8}{5}.$$

$$b = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{8}{5}$$

$$b = 1 - \frac{4}{5}$$

$$b = \frac{1}{5}.$$

$$4 = 2 \cdot \frac{8}{5} + \frac{1}{5}$$

$$4 = \frac{16}{5} + \frac{1}{5}$$

$$4 \neq \frac{17}{5}.$$

Por lo tanto, no es posible escribir al vector  $z$  como combinación lineal de  $u$  y  $v$ .

(c) ¿Para qué valores de  $k$  el vector  $y = (1, k, 5)$  es una combinación lineal de  $u$  y  $v$ ?

$$y = au + bv$$

$$(1, k, 5) = a(1, -3, 2) + b(2, -1, 1)$$

$$(1, k, 5) = (a, -3a, 2a) + (2b, -b, b)$$

$$(1, k, 5) = (a + 2b, -3a - b, 2a + b).$$



$$\begin{cases} 1 = a + 2b \\ k = -3a - b \\ 5 = 2a + b \end{cases}$$

$$2b = 1 - a$$

$$b = \frac{1-a}{2}$$

$$b = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}a.$$

$$5 = 2a + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}a$$

$$5 = \frac{3}{2}a + \frac{1}{2}$$

$$\frac{3}{2}a = 5 - \frac{1}{2}$$

$$\frac{3}{2}a = \frac{9}{2}$$

$$a = \frac{\frac{9}{2}}{\frac{3}{2}}$$

$$a = 3.$$

$$b = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} * 3$$

$$b = \frac{1}{2} - \frac{3}{2}$$

$$b = -1.$$

$$k = -3 * 3 - (-1)$$

$$k = -9 + 1$$

$$k = -8.$$

Por lo tanto, el vector  $y$  es una combinación lineal de  $u$  y  $v$  para  $k = -8$ .

**Ejercicio 10.**

Estudiar si el conjunto de vectores  $S = \{(2, 1, 0), (3, 1, 1), (3, 2, -1)\}$  es una base  $\mathbb{R}^3$ .

$$a(2, 1, 0) + b(3, 1, 1) + c(3, 2, -1) = (0, 0, 0)$$

$$(2a, a, 0) + (3b, b, b) + (3c, 2c, -c) = (0, 0, 0)$$

$$(2a + 3b + 3c, a + b + 2c, b - c) = (0, 0, 0).$$

$$\begin{cases} 2a + 3b + 3c = 0 \\ a + b + 2c = 0 \\ b - c = 0 \end{cases}.$$

$$b = c.$$

$$a + c + 2c = 0$$

$$a + 3c = 0$$

$$a = -3c.$$

$$2(-3c) + 3c + 3c = 0$$

$$-6c + 6c = 0$$

$$0 = 0.$$

Por lo tanto,  $S$  no es linealmente independiente y, entonces, no es una base de  $\mathbb{R}^3$ .

**Ejercicio 11.**

Encontrar un sistema generador del subespacio de  $\mathbb{R}^4$  definido por:

$$T = \{(x, y, z, t) \in \mathbb{R}^4 : x + 2z - 3t + 2y = 0\}.$$

$$x = -2z + 3t - 2y.$$

$$(x, y, z, t) = (-2z + 3t - 2y, y, z, t)$$

$$(x, y, z, t) = y(-2, 1, 0, 0) + z(-2, 0, 1, 0) + t(3, 0, 0, 1).$$

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

**Ejercicio 12.**

Determinar si los siguientes conjuntos son bases de  $\mathbb{R}^3$ .

(a)  $\{(1, 1, 4), (0, 2, 1), (3, 1, 9)\}$ .

$$a(1, 1, 4) + b(0, 2, 1) + c(3, 1, 9) = (0, 0, 0)$$

$$(a, a, 4a) + (0, 2b, b) + (3c, c, 9c) = (0, 0, 0)$$

$$(a + 3c, a + 2b + c, 4a + b + 9c) = (0, 0, 0).$$

$$\begin{cases} a + 3c = 0 \\ a + 2b + c = 0 \\ 4a + b + 9c = 0 \end{cases}$$

$$3c = -a$$

$$c = \frac{-1}{3} a.$$

$$a + 2b - \frac{1}{3}a = 0$$

$$\frac{2}{3}a + 2b = 0$$

$$2b = \frac{-2}{3}a$$

$$b = \frac{\frac{-2}{3}}{2}a$$

$$b = \frac{-1}{3}a.$$

$$4a - \frac{1}{3}a + 9\left(\frac{-1}{3}a\right) = 0$$

$$4a - \frac{1}{3}a - 3a = 0$$

$$\frac{2}{3}a = 0$$

$$a = \frac{0}{\frac{2}{3}}$$

$$a = 0.$$

$$b = \frac{-1}{3} * 0$$

$$b = 0.$$

$$c = \frac{-1}{3} * 0$$

$$c = 0.$$

$$a = b = c = 0.$$

$$a(1, 1, 4) + b(0, 2, 1) + c(3, 1, 9) = (x, y, z)$$

$$(a, a, 4a) + (0, 2b, b) + (3c, c, 9c) = (x, y, z)$$

$$(a + 3c, a + 2b + c, 4a + b + 9c) = (x, y, z).$$

$$\begin{cases} a + 3c = x \\ a + 2b + c = y \\ 4a + b + 9c = z \end{cases}$$

$$3c = x - a$$

$$c = \frac{x-a}{3}$$

$$c = \frac{1}{3}x - \frac{1}{3}a.$$

$$a + 2b + \frac{1}{3}x - \frac{1}{3}a = y$$

$$\frac{2}{3}a + 2b + \frac{1}{3}x = y$$

$$2b = y - \frac{2}{3}a - \frac{1}{3}x$$

$$b = \frac{y - \frac{2}{3}a - \frac{1}{3}x}{2}$$

$$b = \frac{1}{2}y - \frac{1}{3}a - \frac{1}{6}x.$$

$$4a + \frac{1}{2}y - \frac{1}{3}a - \frac{1}{6}x + 9\left(\frac{1}{3}x - \frac{1}{3}a\right) = z$$

$$4a + \frac{1}{2}y - \frac{1}{3}a - \frac{1}{6}x + 3x - 3a = z$$

$$\frac{2}{3}a + \frac{17}{6}x + \frac{1}{2}y = z$$

$$\frac{2}{3}a = \frac{-17}{6}x - \frac{1}{2}y + z$$

$$a = \frac{\frac{-17}{6}x - \frac{1}{2}y + z}{\frac{2}{3}}$$

$$a = \frac{-51}{12}x - \frac{3}{4}y + \frac{3}{2}z$$

$$a = \frac{-51x - 9y + 18z}{12}.$$

$$b = \frac{1}{2}y - \frac{1}{3}\left(\frac{-51}{12}x - \frac{3}{4}y + \frac{3}{2}z\right) - \frac{1}{6}x$$

$$b = \frac{1}{2}y + \frac{17}{12}x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z - \frac{1}{6}x$$

$$b = \frac{15}{12}x + \frac{3}{4}y - \frac{1}{2}z$$

$$b = \frac{15x + 9y - 6z}{12}.$$

$$c = \frac{1}{3}x - \frac{1}{3}\left(\frac{-51}{12}x - \frac{3}{4}y + \frac{3}{2}z\right)$$

$$c = \frac{1}{3}x - \frac{17}{12}x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z$$

$$c = \frac{-13}{12}x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z$$

$$c = \frac{-13x + 3y - 6z}{12}.$$

Por lo tanto, este conjunto es base de  $\mathbb{R}^3$ .

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

Este conjunto no es base de  $\mathbb{R}^3$ , ya que  $\dim(\mathbb{R}^3) = 3$ .

$$(c) \{(2, 1, 1), (2, 2, 1), (2, 2, -1)\}.$$

$$\begin{aligned} a(2, 1, 1) + b(2, 2, 1) + c(2, 2, -1) &= (0, 0, 0) \\ (2a, a, a) + (2b, 2b, b) + (2c, 2c, -c) &= (0, 0, 0) \\ (2a + 2b + 2c, a + 2b + 2c, a + b - c) &= (0, 0, 0). \end{aligned}$$

$$\begin{cases} 2a + 2b + 2c = 0 \\ a + 2b + 2c = 0 \\ a + b - c = 0 \end{cases}.$$

$$\begin{aligned} 2(a + b + c) &= 0 \\ a + b + c &= \frac{0}{2} \\ a + b + c &= 0 \\ c &= -a - b. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a + 2b + 2(-a - b) &= 0 \\ a + 2b - 2a - 2b &= 0 \\ -a &= 0 \\ a &= \frac{0}{-1} \\ a &= 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= -0 - b \\ c &= -b. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 + b - (-b) &= 0 \\ b + b &= 0 \\ 2b &= 0 \\ b &= \frac{0}{2} \\ b &= 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= -0 \\ c &= 0. \end{aligned}$$

$$a = b = c = 0.$$

$$\begin{aligned} a(2, 1, 1) + b(2, 2, 1) + c(2, 2, -1) &= (x, y, z) \\ (2a, a, a) + (2b, 2b, b) + (2c, 2c, -c) &= (x, y, z) \\ (2a + 2b + 2c, a + 2b + 2c, a + b - c) &= (x, y, z). \end{aligned}$$

$$\begin{cases} 2a + 2b + 2c = x \\ a + 2b + 2c = y \\ a + b - c = z \end{cases}.$$

$$\begin{aligned} 2(a + b + c) &= x \\ a + b + c &= \frac{1}{2}x \end{aligned}$$

$$c = \frac{1}{2}x - a - b.$$

$$a + 2b + 2\left(\frac{1}{2}x - a - b\right) = y$$

$$a + 2b + x - 2a - 2b = y$$

$$-a + x = y$$

$$a = x - y.$$

$$c = \frac{1}{2}x - (x - y) - b$$

$$c = \frac{1}{2}x - x + y - b$$

$$c = \frac{-1}{2}x + y - b.$$

$$x - y + b - \left(\frac{-1}{2}x + y - b\right) = z$$

$$x - y + b + \frac{1}{2}x - y + b = z$$

$$\frac{3}{2}x - 2y + 2b = z$$

$$2b = \frac{-3}{2}x + 2y + z$$

$$b = \frac{\frac{-3}{2}x + 2y + z}{2}$$

$$b = \frac{-3}{4}x + y + \frac{1}{2}z$$

$$b = \frac{-3x + 4y + 2z}{4}.$$

$$c = \frac{-1}{2}x + y - \left(\frac{-3}{4}x + y + \frac{1}{2}z\right)$$

$$c = \frac{-1}{2}x + y + \frac{3}{4}x - y - \frac{1}{2}z$$

$$c = \frac{1}{4}x - \frac{1}{2}z$$

$$c = \frac{x - 2z}{4}.$$

Por lo tanto, este conjunto es base de  $\mathbb{R}^3$ .

**(d)**  $\{(1, 2, 1), (1, 3, 1), (1, 4, 1), (1, 5, 1)\}.$

Este conjunto no es base de  $\mathbb{R}^3$ , ya que es linealmente dependiente.

**(e)**  $\{(1, 1, 1), (-2, 1, 0), (-1, 0, 1)\}.$

$$a(1, 1, 1) + b(-2, 1, 0) + c(-1, 0, 1) = (0, 0, 0)$$

$$(a, a, a) + (-2b, b, 0) + (-c, 0, c) = (0, 0, 0)$$

$$(a - 2b - c, a + b, a + c) = (0, 0, 0).$$

$$\begin{cases} a - 2b - c = 0 \\ a + b = 0 \\ a + c = 0 \end{cases}.$$

$$b = -a.$$

$$c = -a.$$

$$a - 2(-a) - (-a) = 0$$

$$a + 2a + a = 0$$

$$4a = 0$$

$$a = \frac{0}{4}$$

$$a = 0.$$

$$b = -0$$

$$b = -0.$$

$$c = -0$$

$$c = 0.$$

$$a = b = c = 0.$$

$$a(1, 1, 1) + b(-2, 1, 0) + c(-1, 0, 1) = (x, y, z)$$

$$(a, a, a) + (-2b, b, 0) + (-c, 0, c) = (x, y, z)$$

$$(a - 2b - c, a + b, a + c) = (x, y, z).$$

$$\begin{cases} a - 2b - c = x \\ a + b = y \\ a + c = z \end{cases}.$$

$$b = y - a.$$

$$c = z - a.$$

$$a - 2(y - a) - (z - a) = x$$

$$a - 2y + 2a - z + a = x$$

$$4a - 2y - z = x$$

$$2a = x + 2y + z$$

$$a = \frac{x + 2y + z}{4}$$

$$a = \frac{1}{4}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{4}z$$

$$a = \frac{x + 2y + z}{4}.$$

$$b = y - \left(\frac{1}{4}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{4}z\right)$$

$$b = y - \frac{1}{4}x - \frac{1}{2}y - \frac{1}{4}z$$

$$b = \frac{-1}{4}x + \frac{1}{2}y - \frac{1}{4}z$$

$$b = \frac{-x + 2y - z}{4}.$$

$$c = z - \left(\frac{1}{4}x + \frac{1}{2}y + \frac{1}{4}z\right)$$

$$c = z - \frac{1}{4}x - \frac{1}{2}y - \frac{1}{4}z$$



$$c = \frac{-1}{4}x - \frac{1}{2}y + \frac{3}{4}z$$
$$c = \frac{-x-2y+3z}{4}.$$

Por lo tanto, este conjunto es base de  $\mathbb{R}^3$ .

**Ejercicio 13 (\*)**

Sean  $B = \{(2, 1, 1), (1, -1, 3), v\}$  una base de  $\mathbb{R}^3$ . Hallar  $v$  sabiendo que las coordenadas del vector  $(1, -2, 5)$  en la base  $B$  son  $(2, -1, 3)$ .

Se sabe que:

$$B = \{(2, 1, 1), (1, -1, 3), v\}.$$

Entonces, se tiene:

$$[(1, -2, 5)]_B = (2, -1, 3).$$

Operando, se llega a:

$$(1, -2, 5) = 2(2, 1, 1) - (1, -1, 3) + 3v$$

$$(1, -2, 5) = (4, 2, 2) - (1, -1, 3) + 3v$$

$$(1, -2, 5) = (3, 3, -1) + 3v$$

$$3v = (1, -2, 5) - (3, 3, -1)$$

$$3v = (-2, -5, 6)$$

$$v = \frac{1}{3}(-2, -5, 6)$$

$$v = \left(\frac{-2}{3}, \frac{-5}{3}, 2\right).$$

Por lo tanto,  $v = \left(\frac{-2}{3}, \frac{-5}{3}, 2\right)$ .

**Ejercicio 14.**

Sean  $B = \{(-1, 4, 2), v, (0, 0, -1)\}$  y  $B' = \{w, (1, -1, 1), (-1, 0, 2)\}$  bases de  $\mathbb{R}^3$ . Hallar  $v$  y  $w$  sabiendo que las coordenadas de  $v$  en la base de  $B'$  son  $(1, 2, 3)$  y que las coordenadas de  $w$  en la base  $B$  son  $(1, 2, 3)$ .

$$B = \{(-1, 4, 2), v, (0, 0, -1)\}.$$

$$B' = \{w, (1, -1, 1), (-1, 0, 2)\}.$$

$$[v]_{B'} = (1, 2, 3).$$

$$[w]_B = (1, 2, 3).$$

$$v = w + 2(1, -1, 1) + 3(-1, 0, 2)$$

$$v = w + (2, -2, 2) + (-3, 0, 6)$$

$$v = w + (-1, -2, 8).$$

$$w = (-1, 4, 2) + 2v + 3(0, 0, -1)$$

$$w = (-1, 4, 2) + 2v + (0, 0, -3)$$

$$w = 2v + (-1, 4, -1).$$

$$v = 2v + (-1, 4, -1) + (-1, -2, 8)$$

$$v = 2v + (-2, 2, 7)$$

$$2v - v = -(-2, 2, 7)$$

$$v = (2, -2, -7).$$

$$w = 2(2, -2, -7) + (-1, 4, -1)$$

$$w = (4, -4, -14) + (-1, 4, -1)$$

$$w = (3, 0, -15).$$

**Ejercicio 15.**

Probar que los siguientes conjuntos son subespacios:

(a)  $W = \{(x, y, z): x = y = z\}$  de  $\mathbb{R}^3$ .

W es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2) \in W &\Rightarrow x_1 = y_1 = z_1 \wedge x_2 = y_2 = z_2 \\ &\Rightarrow x_1 + x_2 = y_1 + y_2 = z_1 + z_2 \\ &\Rightarrow (x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2) \in W \\ &\Rightarrow (x_1, y_1, z_1) + (x_2, y_2, z_2) \in W. \end{aligned}$$

W es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} (x, y, z) \in W &\Rightarrow x = y = z \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kx = ky = kz \\ &\Rightarrow (kx, ky, kz) \in W \\ &\Rightarrow k(x, y, z) \in W. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto es un subespacio.

(b)  $W = \{(x, y, z, t): x = z, y = t\}$  de  $\mathbb{R}^4$ .

W es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} (x_1, y_1, z_1, t_1), (x_2, y_2, z_2, t_2) \in W &\Rightarrow x_1 = z_1, y_1 = t_1 \wedge x_2 = z_2, y_2 = t_2 \\ &\Rightarrow x_1 + x_2 = z_1 + z_2, y_1 + y_2 = t_1 + t_2 \\ &\Rightarrow (x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2, t_1 + t_2) \in W \\ &\Rightarrow (x_1, y_1, z_1, t_1) + (x_2, y_2, z_2, t_2) \in W. \end{aligned}$$

W es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} (x, y, z, t) \in W &\Rightarrow x = z, y = t \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kx = kz, ky = kt \\ &\Rightarrow (kx, ky, kz, kt) \in W \\ &\Rightarrow k(x, y, z, t) \in W. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto es un subespacio.

(c)  $W = \{(x, y, z, t): 2y + 3z = 0\}$  de  $\mathbb{R}^4$ .

W es cerrado para la suma:

$$(x_1, y_1, z_1, t_1), (x_2, y_2, z_2, t_2) \in W \Rightarrow 2y_1 + 3z_1 = 0 \wedge 2y_2 + 3z_2 = 0$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow 2y_1 + 2y_2 + 3z_1 + 3z_2 = 0 \\ &\Rightarrow 2(y_1 + y_2) + 3(z_1 + z_2) = 0 \\ &\Rightarrow (x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2, t_1 + t_2) \in W \\ &\Rightarrow (x_1, y_1, z_1, t_1) + (x_2, y_2, z_2, t_2) \in W. \end{aligned}$$

W es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} (x, y, z, t) \in W &\Rightarrow 2y + 3z = 0 \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, k(2y + 3z) = 0 \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, 2ky + 3kz = 0 \\ &\Rightarrow (kx, ky, kz, kt) \in W \\ &\Rightarrow k(x, y, z, t) \in W. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto es un subespacio.

**Ejercicio 16.**

Una compañía petrolera puede convertir un barril de crudo en tres clases distintas de combustible. Sin aditivos de plomo, sus producciones de las tres clases de combustible a partir de un barril de crudo vienen dadas por el vector  $(2, 2, 4)$ . Con el máximo de aditivos de plomo permitidos legalmente, las producciones son  $(5, 0, 3)$ . Se supone que los efectos de los aditivos de plomo son proporcionales, es decir, que al usar una fracción del máximo permitido  $(0 \leq \alpha \leq 1)$  se tiene la producción:

$$(1 - \alpha)(2, 2, 4) + \alpha(5, 0, 3).$$

Determinar si es posible que la compañía produzca los siguientes vectores:

(a)  $(\frac{5}{2}, 1, \frac{7}{2})$ .

$$(\frac{5}{2}, 1, \frac{7}{2}) = (1 - \alpha)(2, 2, 4) + \alpha(5, 0, 3)$$

$$(\frac{5}{2}, 1, \frac{7}{2}) = (2, 2, 4) + (-2\alpha, -2\alpha, -4\alpha) + (5\alpha, 0, 3\alpha)$$

$$(\frac{5}{2}, 1, \frac{7}{2}) = (2 + 3\alpha, 2 - 2\alpha, 4 - \alpha).$$

$$\begin{cases} \frac{5}{2} = 2 + 3\alpha \\ 1 = 2 - 2\alpha \\ \frac{7}{2} = 4 - \alpha \end{cases}$$

$$3\alpha = \frac{5}{2} - 2$$

$$3\alpha = \frac{1}{2}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2}}{3}$$

$$\alpha = \frac{1}{6}.$$

$$2\alpha = 2 - 1$$

$$2\alpha = 1$$

$$\alpha = \frac{1}{2}.$$

$$\alpha = 4 - \frac{7}{2}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}.$$

Por lo tanto, no es posible que la compañía produzca este vector.

(b)  $(\frac{9}{2}, \frac{1}{3}, \frac{19}{6})$ .

$$(\frac{9}{2}, \frac{1}{3}, \frac{19}{6}) = (1 - \alpha)(2, 2, 4) + \alpha(5, 0, 3)$$

$$\left(\frac{9}{2}, \frac{1}{3}, \frac{19}{6}\right) = (2, 2, 4) + (-2\alpha, -2\alpha, -4\alpha) + (5\alpha, 0, 3\alpha)$$

$$\left(\frac{9}{2}, \frac{1}{3}, \frac{19}{6}\right) = (2 + 3\alpha, 2 - 2\alpha, 4 - \alpha).$$

$$\begin{cases} \frac{9}{2} = 2 + 3\alpha \\ \frac{1}{3} = 2 - 2\alpha \\ \frac{19}{6} = 4 - \alpha \end{cases}$$

$$3\alpha = \frac{9}{2} - 2$$

$$3\alpha = \frac{5}{2}$$

$$\alpha = \frac{\frac{5}{2}}{3}$$

$$\alpha = \frac{5}{6}.$$

$$2\alpha = 2 - \frac{1}{3}$$

$$2\alpha = \frac{5}{3}$$

$$\alpha = \frac{\frac{5}{3}}{2}$$

$$\alpha = \frac{5}{6}.$$

$$\alpha = 4 - \frac{19}{6}$$

$$\alpha = \frac{5}{6}.$$

Por lo tanto, sí es posible que la compañía produzca este vector.

(c)  $(1, 6, 9)$ .

$$(1, 6, 9) = (1 - \alpha)(2, 2, 4) + \alpha(5, 0, 3)$$

$$(1, 6, 9) = (2, 2, 4) + (-2\alpha, -2\alpha, -4\alpha) + (5\alpha, 0, 3\alpha)$$

$$(1, 6, 9) = (2 + 3\alpha, 2 - 2\alpha, 4 - \alpha).$$

$$\begin{cases} 1 = 2 + 3\alpha \\ 6 = 2 - 2\alpha \\ 9 = 4 - \alpha \end{cases}$$

$$3\alpha = 1 - 2$$

$$3\alpha = -1$$

$$\alpha = \frac{-1}{3}.$$

$$2\alpha = 6 - \frac{1}{3}$$

$$2\alpha = \frac{17}{3}$$

$$\alpha = \frac{\frac{17}{3}}{2}$$
$$\alpha = \frac{17}{6}.$$

$$\alpha = 4 - 9$$

$$\alpha = -5.$$

Por lo tanto, no es posible que la compañía produzca este vector.



**Ejercicio 17.**

Considerar el conjunto:

$$V = \{(w, td, ti, P, GP) : P = w, td + ti = GP\},$$

donde  $w$  es el crecimiento de los salarios nominales,  $td$  es el crecimiento de los impuestos directos,  $ti$  es el crecimiento de los impuestos indirectos,  $P$  es el crecimiento de los precios y  $GP$  es el crecimiento del gasto público.

(a) Mostrar que  $V$  es un subespacio vectorial de  $\mathbb{R}^5$ .

$V$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} (w_1, td_1, ti_1, P_1, GP_1), (w_2, td_2, ti_2, P_2, GP_2) \in V &\Rightarrow P_1 = w_1, td_1 + ti_1 = GP_1 \wedge P_2 = w_2, \\ td_2 + ti_2 = GP_2 & \\ \Rightarrow P_1 + P_2 = w_1 + w_2, (td_1 + td_2) + (ti_1 + ti_2) = GP_1 + GP_2 & \\ \Rightarrow (w_1 + w_2, td_1 + td_2, ti_1 + ti_2, P_1 + P_2, GP_1 + GP_2) \in V & \\ \Rightarrow (w_1, td_1, ti_1, P_1, GP_1) + (w_2, td_2, ti_2, P_2, GP_2) \in V. & \end{aligned}$$

$V$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} (w, td, ti, P, GP) \in V &\Rightarrow P = w, td + ti = GP \\ \Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kP = kw, k(td + ti) = kGP & \\ \Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kP = kw, ktd + kti = kGP & \\ \Rightarrow (kw, ktd, kti, kP, kGP) \in V & \\ \Rightarrow k(w, td, ti, P, GP) \in V. & \end{aligned}$$

Por lo tanto,  $V$  es un subespacio vectorial de  $\mathbb{R}^5$ .

(b) Hallar una base y la dimensión de  $V$ . Dar una interpretación económica del resultado.

$$(P, td, ti, P, td + ti) = P(1, 0, 0, 1, 0) + td(0, 1, 0, 0, 1) + ti(0, 0, 1, 0, 1).$$

$$B_V = \{(1, 0, 0, 1, 0), (0, 1, 0, 0, 1), (0, 0, 1, 0, 1)\}.$$

$$\dim(V) = 3.$$

## **Trabajo Práctico N° 2:** **Matrices y Sistemas.**

### **Ejercicio 1.**

Probar que los siguientes conjuntos son subespacios de  $\mathbb{R}^{n \times n}$ .

(a)  $S_1 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : A^t = A\}$  (matrices simétricas).

$S_1$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} A_1, A_2 \in S_1 &\Rightarrow A_1^t = A_1 \wedge A_2^t = A_2 \\ &\Rightarrow A_1^t + A_2^t = (A_1 + A_2)^t = A_1 + A_2 \\ &\Rightarrow A_1 + A_2 \in S_1. \end{aligned}$$

$S_1$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_1 &\Rightarrow A^t = A \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kA^t = (kA)^t = kA \\ &\Rightarrow kA \in S_1. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto  $S_1$  es un subespacio.

(b)  $S_2 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : A^t = -A\}$  (matrices antisimétricas).

$S_2$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} A_1, A_2 \in S_2 &\Rightarrow A_1^t = -A_1 \wedge A_2^t = -A_2 \\ &\Rightarrow A_1^t + A_2^t = (A_1 + A_2)^t = -(A_1 + A_2) \\ &\Rightarrow A_1 + A_2 \in S_2. \end{aligned}$$

$S_2$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_2 &\Rightarrow A^t = -A \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kA^t = (kA)^t = -kA \\ &\Rightarrow kA \in S_2. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto  $S_2$  es un subespacio.

(c)  $S_3 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : A_{ij} = 0 \text{ si } i > j\}$  (matrices triangulares superiores).

$S_3$  es cerrado para la suma:

$$A_1, A_2 \in S_3 \Rightarrow A_{1,ij} = 0 \wedge A_{2,ij} = 0, \text{ si } i > j$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow A_{1,ij} + A_{2,ij} &= (A_1 + A_2)_{ij} = 0 + 0 = 0, \text{ si } i > j \\ \Rightarrow A_1 + A_2 &\in S_3. \end{aligned}$$

$S_3$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_3 &\Rightarrow A_{ij} = 0, \text{ si } i > j \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kA_{ij} = (kA)_{ij} = k \cdot 0 = 0, \text{ si } i > j \\ &\Rightarrow kA \in S_3. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto  $S_3$  es un subespacio.

(d)  $S_4 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : A_{ij} = 0 \text{ si } i \neq j\}$  (matrices diagonales).

$S_4$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} A_1, A_2 \in S_4 &\Rightarrow A_{1,ij} = 0 \wedge A_{2,ij} = 0, \text{ si } i \neq j \\ &\Rightarrow A_{1,ij} + A_{2,ij} = (A_1 + A_2)_{ij} = 0 + 0 = 0, \text{ si } i \neq j \\ &\Rightarrow A_1 + A_2 \in S_4. \end{aligned}$$

$S_4$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_4 &\Rightarrow A_{ij} = 0, \text{ si } i \neq j \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kA_{ij} = (kA)_{ij} = k \cdot 0 = 0, \text{ si } i \neq j \\ &\Rightarrow kA \in S_4. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto  $S_4$  es un subespacio.

(e)  $S_5 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : A_{ij} = 0 \text{ si } i \neq j \text{ y } A_{11} = \dots = A_{nn}\}$  (matrices escalares).

$S_5$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} A_1, A_2 \in S_5 &\Rightarrow A_{1,ij} = 0 \text{ si } i \neq j, A_{1,11} = \dots = A_{1,nn} \wedge A_{2,ij} = 0 \text{ si } i \neq j, A_{2,11} = \dots = A_{2,nn} \\ &\Rightarrow A_{1,ij} + A_{2,ij} = (A_1 + A_2)_{ij} = 0 + 0 = 0, \text{ si } i \neq j \wedge A_{1,11} + A_{2,11} = \\ &\quad (A_1 + A_2)_{11} = \dots = A_{1,nn} + A_{2,nn} = (A_1 + A_2)_{nn} \\ &\Rightarrow A_1 + A_2 \in S_5. \end{aligned}$$

$S_5$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_5 &\Rightarrow A_{ij} = 0 \text{ si } i \neq j \wedge A_{11} = \dots = A_{nn} \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, kA_{ij} = (kA)_{ij} = k \cdot 0 = 0 \text{ si } i \neq j \wedge kA_{11} = (kA)_{11} = \dots = kA_{nn} = \\ &\quad (kA)_{nn} \\ &\Rightarrow kA \in S_5. \end{aligned}$$

Por lo tanto, el conjunto  $S_5$  es un subespacio.

$$(f) S_6 = \{A \in \mathbb{R}^{n \times n} : \text{tr}(A) = 0\}.$$

$S_6$  es cerrado para la suma:

$$\begin{aligned} A_1, A_2 \in S_6 &\Rightarrow \text{tr}(A_1) = 0 \wedge \text{tr}(A_2) = 0 \\ &\Rightarrow \text{tr}(A_1) + \text{tr}(A_2) = \text{tr}(A_1 + A_2) = 0 + 0 = 0 \\ &\Rightarrow A_1 + A_2 \in S_6. \end{aligned}$$

$S_6$  es cerrado para la multiplicación de escalares:

$$\begin{aligned} A \in S_6 &\Rightarrow \text{tr}(A) = 0 \\ &\Rightarrow \forall k \in \mathbb{R}, k \text{tr}(A) = \text{tr}(kA) = k0 = 0 \\ &\Rightarrow kA \in S_6. \end{aligned}$$

**Ejercicio 2.***Dadas las matrices:*

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \text{ y } C = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix},$$

*calcular:*

**(a)**  $A + 3B - 3C$ .

$$\begin{aligned} A + 3B - 3C &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + 3 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} - 3 \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \\ A + 3B - 3C &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 9 & 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} \\ A + 3B - 3C &= \begin{pmatrix} 7 & 2 \\ 12 & 4 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

**(b)**  $A + 3(B - C)$ .

$$\begin{aligned} A + 3(B - C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + 3 \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \right] \\ A + 3(B - C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + 3 \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 4 & 1 \end{pmatrix} \\ A + 3(B - C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 6 & 0 \\ 12 & 3 \end{pmatrix} \\ A + 3(B - C) &= \begin{pmatrix} 7 & 2 \\ 12 & 4 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

**(c)**  $A - (B - 2C)$ .

$$\begin{aligned} A - (B - 2C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} - 2 \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \right] \\ A - (B - 2C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 2 & 0 \end{pmatrix} \right] \\ A - (B - 2C) &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \\ A - (B - 2C) &= \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ -5 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

**(d)**  $A - B + 2C$ .

$$\begin{aligned} A - B + 2C &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} + 2 \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \\ A - B + 2C &= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ -2 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$A - B + 2C = \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ -5 & 0 \end{pmatrix}.$$

**Ejercicio 3.**

Se consideran matrices de los siguientes tamaños:  $A \in \mathbb{R}^{4 \times 5}$ ,  $B \in \mathbb{R}^{5 \times 7}$ ,  $C \in \mathbb{R}^{7 \times 5}$ . Indicar cuáles de las siguientes operaciones son posibles. En caso afirmativo, indicar el tamaño (número de filas y de columnas) de la matriz resultado.

(a)  $AB$ .

Esta operación es posible, por lo que el tamaño de la matriz resultado es  $\mathbb{R}^{4 \times 7}$ .

(b)  $BA$ .

Esta operación no es posible.

(c)  $BC$ .

Esta operación es posible, por lo que el tamaño de la matriz resultado es  $\mathbb{R}^{5 \times 5}$ .

(d)  $CB$ .

Esta operación es posible, por lo que el tamaño de la matriz resultado es  $\mathbb{R}^{7 \times 7}$ .

(e)  $ABC$ .

Esta operación es posible, por lo que el tamaño de la matriz resultado es  $\mathbb{R}^{4 \times 5}$ .

(f)  $BCA$ .

Esta operación no es posible.

(g)  $BCBC$ .

Esta operación es posible, por lo que el tamaño de la matriz resultado es  $\mathbb{R}^{5 \times 5}$ .

(h)  $AA$ .

Esta operación no es posible.



**Ejercicio 4.**

Sean:  $A = \begin{pmatrix} 1 & -4 \\ -2 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}$  y  $B = \begin{pmatrix} 2 & -3 & 4 \\ -1 & 0 & 3 \end{pmatrix}$ . Calcular:

(a)  $A^t$ .

$$A^t = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 2 \\ -4 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

(b)  $B^t$ .

$$B^t = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -3 & 0 \\ 4 & 3 \end{pmatrix}.$$

(c)  $(AB)^t$ .

$$\begin{aligned} (AB)^t &= \left[ \begin{pmatrix} 1 & -4 \\ -2 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 & -3 & 4 \\ -1 & 0 & 3 \end{pmatrix} \right]^t \\ (AB)^t &= \left[ \begin{pmatrix} 6 & -3 & -8 \\ -5 & 6 & -5 \\ 4 & -6 & 8 \end{pmatrix} \right]^t \\ (AB)^t &= \begin{pmatrix} 6 & -5 & 4 \\ -3 & 6 & -6 \\ -8 & -5 & 8 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

(d)  $B^t A^t$ .

$$\begin{aligned} B^t A^t &= \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -3 & 0 \\ 4 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -2 & 2 \\ -4 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ B^t A^t &= \begin{pmatrix} 6 & -5 & 4 \\ -3 & 6 & -6 \\ -8 & -5 & 8 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

**Ejercicio 5.**

Dada una matriz  $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ , calcular los siguientes productos y analizar el resultado en términos de la matriz  $A$ . ¿Qué cambios producen los productos en la matriz  $A$ ?

(a)  $A \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix}$  y  $\begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} A$ .

$$A \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ak & bj \\ ck & dj \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz  $A$  es que se multiplica la primera columna por  $k$  y la segunda columna por  $j$ .

$$\begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} ka & kb \\ jc & jd \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz  $A$  es que se multiplica la primera fila por  $k$  y la segunda fila por  $j$ .

(b)  $A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  y  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A$ .

$$A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz  $A$  es que se multiplica la primera columna por 1 y la segunda columna por 1.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz  $A$  es que se multiplica la primera fila por 1 y la segunda fila por 1.

(c)  $A \begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  y  $\begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A$ .

$$A \begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & ak + b \\ c & ck + d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz A es que a la segunda columna se le suma la primera columna por k.

$$\begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} a + kc & b + kd \\ c & d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz A es que a la primera fila se le suma la segunda fila por k.

$$(d) A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} y \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} A.$$

$$A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a + bk & b \\ c + dk & d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz A es que a la primera columna se le suma la segunda columna por k.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{pmatrix} A = \begin{pmatrix} a & b \\ ka + c & kb + d \end{pmatrix}.$$

Los cambios que se producen en la matriz A es que a la segunda fila se le suma la primera fila por k.

**Ejercicio 6.**

Analizar (mediante razonamientos y/o contraejemplos) la verdad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

(a) Si  $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , entonces,  $AB = BA$ .

Esta afirmación es FALSA.

Por ejemplo:

Si  $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  y  $B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ , entonces,  $AB = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  y  $BA = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ , por lo que  $AB \neq BA$ .

(b) Si  $A \in \mathbb{R}^{n \times m}$  y  $B \in \mathbb{R}^{m \times p}$  y  $AB = 0$ , entonces,  $A = 0$  o  $B = 0$ .

Esta afirmación es FALSA.

Por ejemplo:

Dadas  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$  y  $B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ ,  $AB = 0$ , pero ni  $A$  ni  $B$  son iguales a cero.

(c) Si  $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$  y  $AB = 0$ , entonces,  $BA = 0$ .

Esta afirmación es FALSA.

Por ejemplo:

Dadas  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  y  $B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ ,  $AB = 0$ , pero  $BA = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \neq 0$ .

(d) Si  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  y existe  $k \in \mathbb{N}$  tal que  $A^k = 0$ , entonces,  $A = 0$ .

Esta afirmación es FALSA.

Por ejemplo:

Si  $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ ,  $A^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ , pero  $A \neq 0$ .

(e) Si  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  y  $A^2 = A$ , entonces,  $A = I_n$  o  $A = 0$ .

Esta afirmación es FALSA.

Por ejemplo:

Si  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ ,  $A^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ , pero ni  $A = I_n$  ni  $A = 0$ .

(f) Si  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  y  $\text{tr}(AA^t) = 0$ , entonces,  $A = 0$ .

Esta afirmación es VERDADERA.

Dada  $A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$ , se tiene que su transpuesta es:

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Entonces, el producto entre  $A$  y  $A^t$ :

$$AA^t = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^n a_{1j}^2 & \cdots & \sum_{j=1}^n a_{1j}a_{nj} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{j=1}^n a_{nj}a_{1j} & \cdots & \sum_{j=1}^n a_{nj}^2 \end{pmatrix}$$

y la traza de este producto:

$$\text{tr}(AA^t) = \sum_{j=1}^n a_{1j}^2 + \dots + \sum_{j=1}^n a_{nj}^2$$

$$\text{tr}(AA^t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2$$

$$\text{tr}(AA^t) = \sum_{i,j=1}^n a_{ij}^2.$$

Por hipótesis, se tiene que:

$$\text{tr}(AA^t) = 0,$$

lo cual implica que  $\sum_{i,j=1}^n a_{ij}^2 = 0$ , que se cumple cuando  $a_{ij} = 0$ ,  $\forall i, j$ , es decir, cuando  $A =$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}.$$

**Ejercicio 7.**

Clasificar cada uno de los siguientes sistemas lineales. Cuando el sistema sea compatible determinado, obtener la solución. Cuando el sistema sea compatible indeterminado, describir el conjunto de todas las soluciones. Si es incompatible, no hacer nada. En cada caso, describir, además, el conjunto de las soluciones del sistema homogéneo asociado.

$$(a) \begin{cases} 3x + 5y = 2 \\ -2x + 4y = 6 \end{cases}$$

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 5 \\ -2 & 4 \end{pmatrix}, A_b = \begin{pmatrix} 3 & 5 & | & 2 \\ -2 & 4 & | & 6 \end{pmatrix}.$$

$$F_1 = \frac{1}{3} F_1 \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & \frac{5}{3} & | & \frac{2}{3} \\ -2 & 4 & | & 6 \end{pmatrix}$$

$$F_2 = F_2 + 2F_1 \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & \frac{5}{3} & | & \frac{2}{3} \\ 0 & \frac{22}{3} & | & \frac{22}{3} \end{pmatrix}$$

$$F_2 = \frac{3}{22} F_2 \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & \frac{5}{3} & | & \frac{2}{3} \\ 0 & 1 & | & 1 \end{pmatrix}$$

$$F_1 = \frac{5}{3} F_2 \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & | & -1 \\ 0 & 1 & | & 1 \end{pmatrix}.$$

$$x = -1.$$

$$y = 1.$$

$$x = 0.$$

$$y = 0.$$

Por lo tanto, este sistema es compatible determinado, ya que  $r(A) = r(A_b) = n = 2$ , y su solución es  $x = -1$  e  $y = 1$ . Además, el conjunto de las soluciones del sistema homogéneo asociado es  $x = 0$  e  $y = 0$ .

$$(b) \begin{cases} x - 2y = 0 \\ 2x + y = 0 \\ x + 3y = 1 \end{cases}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 2 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}, A_b = \begin{pmatrix} 1 & -2 & | & 0 \\ 2 & 1 & | & 0 \\ 1 & 3 & | & 1 \end{pmatrix}.$$

$$F_2 = F_2 - 2F_1 \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & -2 & | & 0 \\ 0 & 5 & | & 0 \\ 1 & 3 & | & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 F_2 = \frac{1}{5} F_2 & \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & -2 & | & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 \\ 1 & 3 & | & 1 \end{pmatrix} \\
 F_3 = F_3 - F_1 & \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & -2 & | & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 \\ 0 & 5 & | & 1 \end{pmatrix} \\
 F_3 = \frac{1}{5} F_3 & \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & -2 & | & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 \\ 0 & 5 & | & 1 \end{pmatrix} \\
 F_1 = F_1 + 2F_2 & \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & | & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 \\ 0 & 5 & | & 1 \end{pmatrix} \\
 F_3 = F_3 - 5F_2 & \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & | & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 \\ 0 & 0 & | & 1 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

$$x = 0.$$

$$y = 0.$$

Por lo tanto, este sistema es incompatible, ya que  $r(A) = 2 \neq r(A_b) = 3$ , y no tiene solución. Además, el conjunto de las soluciones del sistema homogéneo asociado es  $x = 0$  e  $y = 0$ .

$$(c) \left\{ \right.$$

$$(d) \left\{ \right.$$

$$(e) \left\{ \right.$$

$$(f) \left\{ \right.$$

$$(g) \left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right\} .$$

$$(h) \left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right\} .$$



**Ejercicio 20 (\*).**

Sean  $A = \begin{pmatrix} \alpha - 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & \alpha - 2 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$  y  $B \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  una matriz tal que  $\det(B) = -2$ . Hallar todos los valores de  $\alpha \in \mathbb{R}$  para los cuales el sistema  $BA^2x = BAx$  tiene una única solución.

En primer lugar, se reexpresa el sistema de la siguiente manera:

$$BA^2x = BAx$$

$$BA^2x - BAx = 0_{3 \times 1}$$

$$B(A^2 - A)x = 0_{3 \times 1}$$

A su vez, como se sabe que  $|B| \neq 0$  ( $= -2$ ), se tiene que  $B$  es inversible, es decir, que existe la matriz  $B^{-1}$ , por lo cual lo anterior se reduce a:

$$B^{-1}B(A^2 - A)x = B^{-1} * 0_{3 \times 1}$$

$$I(A^2 - A)x = 0_{3 \times 1}$$

$$(A^2 - A)x = 0_{3 \times 1}.$$

Operando sobre la matriz  $(A^2 - A)$ , se llega a:

$$(A^2 - A) = A(A - I)$$

$$(A^2 - A) = \begin{pmatrix} \alpha - 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & \alpha - 2 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix} \left[ \begin{pmatrix} \alpha - 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & \alpha - 2 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right]$$

$$(A^2 - A) = \begin{pmatrix} \alpha - 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & \alpha - 2 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha - 3 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & \alpha - 2 \\ 3 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(A^2 - A) = \begin{pmatrix} (\alpha - 2)(\alpha - 3) & 0 & 0 \\ 2(\alpha - 3) + 3(\alpha - 2) & \alpha - 2 & 0 \\ 3(\alpha - 3) + 5 & 0 & \alpha - 2 \end{pmatrix}.$$

Luego, se computa el determinante de esta matriz  $(A^2 - A)$ :

$$|A^2 - A| = (\alpha - 2)(\alpha - 3)(\alpha - 2)(\alpha - 2)$$

$$|A^2 - A| = (\alpha - 2)^3(\alpha - 3).$$

Por último, para que el sistema  $BA^2x = BAx$  tenga una única solución, este determinante debe ser distinto de cero:

$$|A^2 - A| = 0$$

$$(\alpha - 2)^3(\alpha - 3) = 0.$$

$$\alpha_1 = 2; \alpha_2 = 3.$$

El lado izquierdo de esta ecuación es igual a cero (i) cuando  $(\alpha - 2)^3 = 0$ , lo cual sucede si  $\alpha = 2$ , o (ii) cuando  $(\alpha - 3) = 0$ , lo cual sucede si  $\alpha = 3$ .

Por lo tanto, los valores de  $\alpha \in \mathbb{R}$  para los cuales el sistema  $BA^2x = BAx$  tiene una única solución son  $\mathbb{R} - \{2, 3\}$ .

**Ejercicio 21.**

**Ejercicio 22.**

**Trabajo Práctico N° 3:**  
**Autovalores y Autovectores.**

**Ejercicio 1.**

**Ejercicio 21 (\*).**

Sea  $A \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  una matriz tal que  $\lambda = 1$  es autovalor de  $A$ ,  $\text{tr}(A) = 2$  y  $\det(A) = -2$ .

(a) Hallar todos los autovalores de  $A$ .

En primer lugar, se sabe que 1 es autovalor de la matriz  $A \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ .

Luego, sabiendo que la traza de una matriz es igual a la suma de sus autovalores y que  $\text{tr}(A) = 2$ , se tiene:

$$2 = 1 + \lambda_2 + \lambda_3$$

$$2 - 1 = \lambda_2 + \lambda_3$$

$$1 = \lambda_2 + \lambda_3.$$

También, sabiendo que el determinante de la matriz  $A$  es igual al producto de todos los autovalores y que  $\det(A) = -2$ , se tiene:

$$-2 = \lambda_2 \lambda_3.$$

Entonces, se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} 1 = \lambda_2 + \lambda_3 \\ -2 = \lambda_2 \lambda_3 \end{cases}.$$

Despejando  $\lambda_3$  de la segunda ecuación, se tiene:

$$\lambda_3 = \frac{-2}{\lambda_2}, \lambda_2 \neq 0.$$

Luego, reemplazando en la primera ecuación, se obtiene:

$$1 = \lambda_2 + \frac{-2}{\lambda_2}$$

$$1 = \frac{\lambda_2^2 - 2}{\lambda_2}$$

$$\lambda_2 = \lambda_2^2 - 2$$

$$\lambda_2^2 - \lambda_2 - 2 = 0, \lambda_2 \neq 0.$$

Resolviendo mediante el método de Bhaskara, se hallan los autovalores faltantes:

$$\lambda_2, \lambda_3 = \frac{-(-1) \pm \sqrt{(-1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-2)}}{2 \cdot 1}$$

$$\lambda_2, \lambda_3 = \frac{1 \pm \sqrt{1+8}}{2}$$

$$\lambda_2, \lambda_3 = \frac{1 \pm \sqrt{9}}{2}$$

$$\lambda_2, \lambda_3 = \frac{1 \pm 3}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{1-3}{2} = \frac{-2}{2} = -1.$$

$$\lambda_3 = \frac{1+3}{2} = \frac{4}{2} = 2.$$

Por lo tanto, los autovalores de A son:  $\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = -1$  y  $\lambda_3 = 2$ .

(b) Decidir si  $A^T$  es o no diagonalizable.

Se sabe que la matriz  $A \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  tiene n (3) autovalores distintos (inciso anterior) y que los n (3) autovectores asociados a estos autovalores distintos son linealmente independientes (teorema).

También, dado que la matriz A tiene n (3) autovectores linealmente independientes, se sabe que la matriz A es diagonalizable (teorema).

Entonces, esta matriz  $A \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  se puede expresar de la siguiente manera:

$$A = PDP^{-1},$$

donde  $D, P \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ , tal que D es diagonal y P es inversible.

Si se aplica transpuesta a ambos lados de la igualdad, se tiene:

$$\begin{aligned} A^T &= (PDP^{-1})^T \\ A^T &= (P^{-1})^T D^T P^T. \end{aligned}$$

Sabiendo que toda matriz diagonal es simétrica ( $D = D^T$ ) y que la transpuesta de la inversa de una matriz es igual a la inversa de la transpuesta de esa matriz, se tiene:

$$A^T = (P^T)^{-1} D P^T.$$

Por último, sabiendo que la inversa de la inversa de una matriz es la propia matriz, esta última igualdad se puede reexpresar de la siguiente manera:

$$A^T = (P^T)^{-1} D ((P^T)^{-1})^{-1}.$$

Por lo tanto,  $A^T$  es diagonalizable, ya que es  $A^T$  es semejante a una matriz diagonal, es decir, existen  $D, (P^T)^{-1} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ , tal que D es diagonal y  $(P^T)^{-1}$  es inversible.

**Trabajo Práctico N° 4:**  
**Forma de Jordan y Formas Cuadráticas.**

**Ejercicio 1.**



**Ejercicio 8 (\*).**

Dada la forma cuadrática  $q: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$  definida por:

$$q(x, y, z) = ax^2 + ay^2 + (a-1)z^2 + 2xy,$$

donde  $a \in \mathbb{R}$  es fijo, clasificar  $q$  para los distintos valores de  $a$ .

En primer lugar, para clasificar la forma cuadrática  $q: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$  para los distintos valores de  $a$ , es necesario encontrar la matriz asociada a  $q$  (matriz  $A$ ). En términos generales, la forma cuadrática  $q$  puede ser escrita en términos de esta matriz  $A$  como:

$$q(x, y, z) = (x \ y \ z) A \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}.$$

En particular, se tiene:

$$q(x, y, z) = (x \ y \ z) \begin{pmatrix} a & 1 & 0 \\ 1 & a & 0 \\ 0 & 0 & a-1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}.$$

Luego, es necesario encontrar los autovalores de la matriz asociada  $A$ :

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

$$\det \left( \begin{pmatrix} a & 1 & 0 \\ 1 & a & 0 \\ 0 & 0 & a-1 \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right) = 0$$

$$\det \left( \begin{pmatrix} a & 1 & 0 \\ 1 & a & 0 \\ 0 & 0 & a-1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} \right) = 0$$

$$\det \left( \begin{pmatrix} a-\lambda & 1 & 0 \\ 1 & a-\lambda & 0 \\ 0 & 0 & a-1-\lambda \end{pmatrix} \right) = 0$$

$$\begin{vmatrix} a-\lambda & 1 & 0 \\ 1 & a-\lambda & 0 \\ 0 & 0 & a-1-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$(a-1-\lambda)[(a-\lambda)(a-\lambda)-1] = 0$$

$$(a-1-\lambda)[(a-\lambda)^2 - 1] = 0.$$

Entonces, los autovalores son los valores de  $\lambda$  que anulan el polinomio característico de  $A$ :

$$a-1-\lambda = 0$$

$$\lambda_1 = a-1.$$

$$(a-\lambda)^2 - 1 = 0$$

$$(a-\lambda)^2 = 1$$

$$\sqrt{(a-\lambda)^2} = \sqrt{1}$$

$$|a-\lambda| = 1$$

$$a - \lambda = \pm 1$$

$$\lambda = a \mp 1$$

$$\lambda_2 = a - 1.$$

$$\lambda_3 = a + 1.$$

Se tiene que los autovalores de la matriz asociada A son:  $\lambda_1 = a - 1$ ,  $\lambda_2 = a - 1$  y  $\lambda_3 = a + 1$ .

Por lo tanto, la forma cuadrática  $q: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$  es:

- definida positiva                      si  $a > 1$ ,                      ya que  $\lambda_1 > 0$ ,  $\lambda_2 > 0$  y  $\lambda_3 > 0$ .
- semidefinida positiva                  si  $a = 1$ ,                      ya que  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = 0$  y  $\lambda_3 > 0$ .
- definida negativa                      si  $a < -1$ ,                      ya que  $\lambda_1 < 0$ ,  $\lambda_2 < 0$  y  $\lambda_3 < 0$ .
- semidefinida negativa                  si  $a = -1$ ,                      ya que  $\lambda_1 < 0$ ,  $\lambda_2 < 0$  y  $\lambda_3 = 0$ .
- indefinida                                  si  $-1 < a < 1$ , ya que  $\lambda_1 < 0$ ,  $\lambda_2 < 0$  y  $\lambda_3 > 0$ .

**Trabajo Práctico N° 5:**  
**Ecuaciones en Diferencias.**

**Ejercicio 1.**

**Ejercicio 2.**

**Ejercicio 3.**

**Ejercicio 4.**

**Ejercicio 5.**

**Ejercicio 6.**



## **Ejercicio 7 (\*).**

Resolver la siguiente ecuación en diferencia de orden 2:

$$y_{t+2} - 3y_{t+1} - 4y_t = 2^t + t^3.$$

Se parte de saber que la solución general de una ecuación en diferencias son las soluciones de la ecuación homogénea asociada a ésta más la solución particular:

$$y_t = y_t^h + y_t^p.$$

Siendo así, en primer lugar, se buscan las soluciones de la ecuación homogénea asociada a la ecuación en diferencias:

$$y_{t+2} - 3y_{t+1} - 4y_t = 0.$$

Sea  $y_t = r^t$ , se tiene:

$$\begin{aligned} r^{t+2} - 3r^{t+1} - 4r^t &= 0 \\ r^t (r^2 - 3r - 4) &= 0. \end{aligned}$$

Resolviendo mediante el método de Bhaskara, se hallan las soluciones de la ecuación homogénea:

$$\begin{aligned} r_1, r_2 &= \frac{-(-3) \pm \sqrt{(-3)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-4)}}{2 \cdot 1} \\ r_1, r_2 &= \frac{3 \pm \sqrt{9+16}}{2} \\ r_1, r_2 &= \frac{3 \pm \sqrt{25}}{2} \\ r_1, r_2 &= \frac{3 \pm 5}{2} \\ r_1 &= \frac{3+5}{2} = \frac{8}{2} = 4. \\ r_2 &= \frac{3-5}{2} = \frac{-2}{2} = -1. \end{aligned}$$

Entonces, la solución homogénea es la siguiente:

$$y_t^h = C_1 4^t + C_2 (-1)^t.$$

En segundo lugar, dado que 1 no es raíz de la ecuación  $r^2 - 3r - 4 = 0$ , se propone la siguiente solución particular:

$$y_t^p = k_1 2^t + k_2 t^3 + k_3 t^2 + k_4 t + k_5.$$

Resolviendo en la ecuación en diferencias, se tiene:

$$\begin{aligned} &[k_1 2^{t+2} + k_2 (t+2)^3 + k_3 (t+2)^2 + k_4 (t+2) + k_5] - \\ &3 [k_1 2^{t+1} + k_2 (t+1)^3 + k_3 (t+1)^2 + k_4 (t+1) + k_5] - \\ &4 (k_1 2^t + k_2 t^3 + k_3 t^2 + k_4 t + k_5) = \end{aligned}$$

$$[k_1 2^{t+2} + k_2 (t^3 + 6t^2 + 12t + 8) + k_3 (t^2 + 4t + 4) + k_4 t + 2k_5] - \\ 3 [k_1 2^{t+1} + k_2 (t^3 + 3t^2 + 3t + 1) + k_3 (t^2 + 2t + 1) + k_4 t + k_5] - \\ (4k_1 2^t + 4k_2 t^3 + 4k_3 t^2 + 4k_4 t + 4k_5) =$$

$$k_1 2^{t+2} + k_2 t^3 + 6k_2 t^2 + 12k_2 t + 8k_2 + k_3 t^2 + 4k_3 t + 4k_3 + k_4 t + 2k_5 - \\ 3 [k_1 2^{t+1} + k_2 t^3 + 3k_2 t^2 + 3k_2 t + k_2 + k_3 t^2 + 2k_3 t + k_3 + k_4 t + k_4 + k_5] - \\ 4k_1 2^t - 4k_2 t^3 - 4k_3 t^2 - 4k_4 t - 4k_5 =$$

$$k_1 2^{t+2} + k_2 t^3 + 6k_2 t^2 + 12k_2 t + 8k_2 + k_3 t^2 + 4k_3 t + 4k_3 + k_4 t + 2k_5 - \\ (3k_1 2^{t+1} + 3k_2 t^3 + 9k_2 t^2 + 9k_2 t + 3k_2 + 3k_3 t^2 + 6k_3 t + 3k_3 + 3k_4 t + 3k_4 + 3k_5) - \\ 4k_1 2^t - 4k_2 t^3 - 4k_3 t^2 - 4k_4 t - 4k_5 = 2^t + t^3$$

$$k_1 2^{t+2} + k_2 t^3 + 6k_2 t^2 + 12k_2 t + 8k_2 + k_3 t^2 + 4k_3 t + 4k_3 + k_4 t + 2k_5 - \\ 3k_1 2^{t+1} - 3k_2 t^3 - 9k_2 t^2 - 9k_2 t - 3k_2 - 3k_3 t^2 - 6k_3 t - 3k_3 - 3k_4 t - 3k_4 - 3k_5 - \\ 4k_1 2^t - 4k_2 t^3 - 4k_3 t^2 - 4k_4 t - 4k_5 = 2^t + t^3$$

$$-6k_1 2^t - 6k_2 t^3 - (3k_2 + 6k_3) t^2 + (3k_2 - 2k_3 - 6k_4) t + (5k_2 + k_3 - k_4 - 6k_5) = 2^t + t^3$$

Luego, se tiene que las constantes  $k_1, k_2, k_3, k_4$  y  $k_5$ , respectivamente, son iguales a:

$$-6k_1 2^t = 2^t$$

$$k_1 = \frac{2^t}{-6 \cdot 2^t}$$

$$k_1 = \frac{-1}{6}.$$

$$-6k_2 t^3 = t^3$$

$$k_2 = \frac{t^3}{-6t^3}$$

$$k_2 = \frac{-1}{6}.$$

$$-(3k_2 + 6k_3) t^2 = 0$$

$$3k_2 + 6k_3 = \frac{0}{-t^2}$$

$$3k_2 + 6k_3 = 0$$

$$6k_3 = -3k_2$$

$$k_3 = \frac{-3k_2}{6}$$

$$k_3 = \frac{-1}{2} k_2$$

$$k_3 = \frac{-1}{2} \left( \frac{-1}{6} \right)$$

$$k_3 = \frac{1}{12}.$$

$$(3k_2 - 2k_3 - 6k_4) t = 0$$

$$3k_2 - 2k_3 - 6k_4 = \frac{0}{t}$$

$$3k_2 - 2k_3 - 6k_4 = 0$$

$$6k_4 = 3k_2 - 2k_3$$

$$k_4 = \frac{3k_2 - 2k_3}{6}$$

$$k_4 = \frac{1}{2} k_2 - \frac{1}{3} k_3$$

$$k_4 = \frac{1}{2} \left( \frac{-1}{6} \right) - \frac{1}{3} \frac{1}{12}$$

$$k_4 = \frac{-1}{12} - \frac{1}{36}$$

$$k_4 = \frac{-1}{9}.$$

$$5k_2 + k_3 - k_4 - 6k_5 = 0$$

$$6k_5 = 5k_2 + k_3 - k_4$$

$$k_5 = \frac{5k_2 + k_3 - k_4}{6}$$

$$k_5 = \frac{5}{6} k_2 + \frac{1}{6} k_3 - \frac{1}{6} k_4$$

$$k_5 = \frac{5}{6} \left(\frac{-1}{6}\right) + \frac{1}{6} \frac{1}{12} - \frac{1}{6} \left(\frac{-1}{9}\right)$$

$$k_5 = \frac{-5}{36} + \frac{1}{72} + \frac{1}{54}$$

$$k_5 = \frac{-1863}{17496}.$$

Entonces, la solución particular es la siguiente:

$$y_t^p = \frac{-1}{6} 2^t - \frac{1}{6} t^3 + \frac{1}{12} t^2 - \frac{1}{9} t - \frac{1863}{17496}.$$

Por lo tanto, la solución general de la ecuación en diferencias de orden 2 es:

$$y_t = C_1 4^t + C_2 (-1)^t - \frac{1}{6} 2^t - \frac{1}{6} t^3 + \frac{1}{12} t^2 - \frac{1}{9} t - \frac{1863}{17496}.$$