

# Ejercicios Tema 7

## Percepción

Curso 2021/2022

1. Dado un problema de clasificación en dos clases  $\{+1, -1\}$  con el siguiente conjunto de entrenamiento  $X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \mathbf{x}_4\}$ , donde  $\mathbf{x}_1 = (0, 2) \in \{-1\}$ ,  $\mathbf{x}_2 = (1, 0) \in \{+1\}$ ,  $\mathbf{x}_3 = (2, 1) \in \{-1\}$ ,  $\mathbf{x}_4 = (3, 3) \in \{+1\}$ . Se dispone de los siguientes 8 clasificadores débiles  $g_0, \dots, g_7$  definidos como sigue:

$$g_i(\mathbf{z}) = \begin{cases} s & \text{si } z_1 > t \\ -s & \text{en otro caso} \end{cases} \quad \#z_1 \text{ es la primera componente de } \mathbf{z}$$

donde el punto de corte  $t = \lfloor i/2 \rfloor + 1/2$ , y

$$s = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ es par} \\ -1 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Realiza una traza del algoritmo Adaboost para  $m=3$

2. Sean las siguientes muestras y clasificadores:

$$\mathbf{x}_1 = (0, 0) \in +1 \quad \mathbf{x}_2 = (2, 2) \in -1 \quad \mathbf{x}_3 = (1, 2) \in +1 \quad \mathbf{x}_4 = (0, 1) \in -1 \quad \mathbf{x}_5 = (-1, 1) \in +1$$

$$g_1(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 > 0 \\ -1 & z_1 \leq 0 \end{cases} \quad g_2(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 > 1 \\ -1 & z_2 \leq 1 \end{cases} \quad g_3(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 - z_1 > 0 \\ -1 & z_2 - z_1 \leq 0 \end{cases} \quad g_4(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 + z_2 \leq 3 \\ -1 & z_1 + z_2 > 3 \end{cases}$$

Aplica una iteración de AdaBoost para ese conjunto de datos y clasificadores indicando:

- Clasificador escogido  $C_1$
- Valor de  $\epsilon_1$
- Valor de  $\alpha_1$
- Actualización de los pesos para la siguiente iteración ( $w^{(2)}$ )

3. Sean las siguientes muestras y clasificadores:

$$\mathbf{x}_1 = (1, 1) \in +1 \quad \mathbf{x}_2 = (2, 1) \in -1 \quad \mathbf{x}_3 = (2, 2) \in +1 \quad \mathbf{x}_4 = (1, 3) \in -1$$

$$g_1(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 \leq 1,5 \\ -1 & z_1 > 1,5 \end{cases} \quad g_2(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 \leq 1,5 \\ -1 & z_2 > 1,5 \end{cases} \quad g_3(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 + z_2 > 4 \\ -1 & z_1 + z_2 \leq 4 \end{cases} \quad g_4(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 - z_1 \leq 1 \\ -1 & z_2 - z_1 > 1 \end{cases}$$

Aplicar una iteración de AdaBoost para ese conjunto de datos y clasificadores indicando:

- Clasificador escogido  $C_1$
- Valor de  $\epsilon_1$
- Valor de  $\alpha_1$
- Actualización de los pesos para la siguiente iteración ( $w^{(2)}$ )

4. Sean las siguientes muestras y clasificadores:

$$\mathbf{x}_1 = (1, 2) \in +1 \quad \mathbf{x}_2 = (-1, -1) \in +1 \quad \mathbf{x}_3 = (2, 0) \in -1 \quad \mathbf{x}_4 = (-2, 1) \in -1$$

$$g_1(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 \geq 0 \\ -1 & z_1 < 0 \end{cases} \quad g_2(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 \geq 0 \\ -1 & z_2 < 0 \end{cases} \quad g_3(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 + z_2 > 2 \\ -1 & z_1 + z_2 \leq 2 \end{cases} \quad g_4(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 - z_1 \geq 0 \\ -1 & z_2 - z_1 < 0 \end{cases}$$

Tras aplicar una primera iteración de AdaBoost se elige  $C_1 = g_3$ , con  $\alpha_1 = \frac{1}{2} \ln 3$ , y los pesos se actualizan a  $w^{(2)} = (\frac{1}{6}, \frac{3}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6})$ . Se pide aplicar una segunda iteración de AdaBoost para ese conjunto de datos y clasificadores indicando:

- a) Clasificador escogido  $C_2$ .
- b) Valor de  $\epsilon_2$ .
- c) Valor de  $\alpha_2$ .
- d) Actualización de los pesos para la siguiente iteración ( $w^{(3)}$ ).

5. Sean las siguientes muestras y clasificadores:

$$\mathbf{x}_1 = (0, 0) \in -1 \quad \mathbf{x}_2 = (0, 1) \in -1 \quad \mathbf{x}_3 = (1, 0) \in -1 \quad \mathbf{x}_4 = (1, 1) \in +1$$

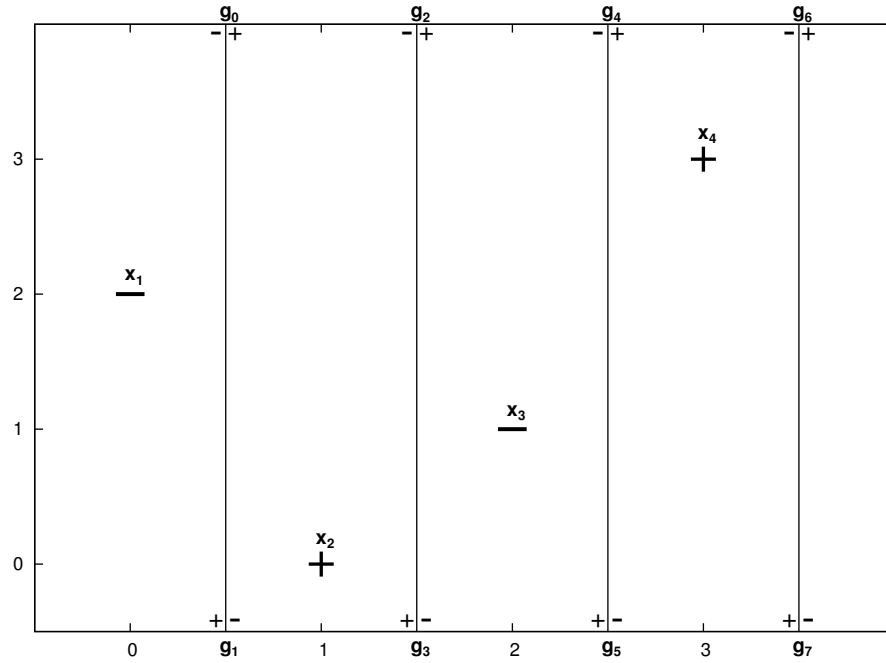
$$g_0(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_1 \geq 0,5 \\ -1 & z_1 < 0,5 \end{cases} \quad g_1(\mathbf{z}) = \begin{cases} -1 & z_1 \geq 0,5 \\ +1 & z_1 < 0,5 \end{cases} \quad g_2(\mathbf{z}) = \begin{cases} +1 & z_2 \geq 0,5 \\ -1 & z_2 < 0,5 \end{cases} \quad g_3(\mathbf{z}) = \begin{cases} -1 & z_2 \geq 0,5 \\ +1 & z_2 < 0,5 \end{cases}$$

Tras aplicar una primera iteración de AdaBoost se elige  $C_1 = g_3$ , con  $\alpha_1 = \frac{1}{2} \ln 3$ , y los pesos se actualizan a  $w^{(2)} = (\frac{1}{6}, \frac{3}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6})$ . Se pide aplicar una segunda iteración de AdaBoost para ese conjunto de datos y clasificadores indicando:

- a) Clasificador escogido  $C_2$ .
- b) Valor de  $\epsilon_2$ .
- c) Valor de  $\alpha_2$ .
- d) Actualización de los pesos para la siguiente iteración ( $w^{(3)}$ ).

# Soluciones

- La representación gráfica de los clasificadores débiles definidos es la siguiente:



Primeramente, se realiza la inicialización con pesos iguales para cada muestra:

	$w^{(1)}$
$x_1$	$\frac{1}{4}$
$x_2$	$\frac{1}{4}$
$x_3$	$\frac{1}{4}$
$x_4$	$\frac{1}{4}$

**1ª iteración** Se calcula el error de cada clasificador débil teniendo el peso de cada muestra:

	$\epsilon^{(1)}$
	$x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4$
$g_0$	$0 + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{1}{4}$
$g_1$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$
$g_2$	$0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$
$g_3$	$\frac{1}{4} + 0 + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$
$g_4$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + 0 = \frac{1}{4}$
$g_5$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$
$g_6$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$
$g_7$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$

Observamos que hay un empate en error entre el clasificador  $g_0$  y  $g_4$ , seleccionamos el clasificador  $C_1 = g_0$  de manera arbitraria, y calculamos su peso en esta iteración  $\alpha_1$

$$m = 1 \rightarrow C_1 = g_0 \quad \epsilon_1 = \frac{1}{4} \quad \alpha_1 = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - \frac{1}{4}}{\frac{1}{4}} \right) = 0,5493$$

Empezamos a construir el clasificador resultante, ponderando el clasificador débil  $C_1 = g_0$  por su peso  $\alpha_1$  y también podemos calcular el error de este clasificador resultante sobre el conjunto de entrenamiento.

$$G(\mathbf{x}) = \alpha_1 C_1(\mathbf{x}) = 0,5493 \cdot g_0(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Error} = 0,25$$

Actualizamos el peso de cada muestra para la siguiente iteración:

	$w^{(1)}$	$w^{(2)}$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{0,5493} \approx \frac{3}{6}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$

**2ª iteración** Calculamos el error de cada clasificador teniendo en cuenta los nuevos pesos de cada muestra:

	$\epsilon^{(1)}$	$\epsilon^{(2)}$
	$\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$	$\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$
$g_0$	$0 + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{1}{4}$	$0 + 0 + \frac{3}{6} + 0 = \frac{3}{6}$
$g_1$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + 0 + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$
$g_2$	$0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + \frac{3}{6} + 0 = \frac{4}{6}$
$g_3$	$\frac{1}{4} + 0 + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + 0 + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$
$g_4$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + 0 = \frac{1}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + 0 + 0 = \frac{1}{6}$
$g_5$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + \frac{3}{6} + \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$
$g_6$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + 0 + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$
$g_7$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + \frac{3}{6} + 0 = \frac{4}{6}$

El clasificador de mínimo de error con los nuevos pesos es  $C_2 = g_4$  y calculamos su peso  $\alpha_2$ :

$$m = 2 \rightarrow C_2 = g_4 \quad \epsilon_2 = \frac{1}{6} \quad \alpha_2 = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - \frac{1}{6}}{\frac{1}{6}} \right) = 0,8047$$

Añadimos un nuevo término  $0,8047 \cdot g_4(\mathbf{x})$  al clasificador resultante  $G(\mathbf{x})$  y estimamos su error en el conjunto de entrenamiento:

$$G(\mathbf{x}) = \alpha_1 C_1(\mathbf{x}) + \alpha_2 C_2(\mathbf{x}) = 0,5493 \cdot g_0(\mathbf{x}) + 0,8047 \cdot g_4(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Error} = 0,25$$

Actualizamos el peso de cada muestra para la siguiente iteración:

	$w^{(1)}$	$w^{(2)}$	$w^{(3)}$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{1}{10}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{0,8047} \approx \frac{5}{10}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{0,5493} \approx \frac{3}{6}$	$\frac{3}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{3}{10}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{1}{10}$

**3ª iteración** Calculamos el error de cada clasificador teniendo en cuenta los nuevos pesos de cada muestra:

	$\epsilon^{(1)}$	$\epsilon^{(2)}$	$\epsilon^{(3)}$
	$\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$	$\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$	$\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$
$g_0$	$0 + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{1}{4}$	$0 + 0 + \frac{3}{6} + 0 = \frac{3}{6}$	$0 + 0 + \frac{3}{10} + 0 = \frac{3}{10}$
$g_1$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + 0 + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$	$\frac{1}{10} + \frac{5}{10} + 0 + \frac{1}{10} = \frac{6}{10}$
$g_2$	$0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + \frac{3}{6} + 0 = \frac{4}{6}$	$0 + \frac{5}{10} + \frac{3}{10} + 0 = \frac{8}{10}$
$g_3$	$\frac{1}{4} + 0 + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + 0 + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$	$\frac{1}{10} + 0 + 0 + \frac{1}{10} = \frac{2}{10}$
$g_4$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + 0 = \frac{1}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + 0 + 0 = \frac{1}{6}$	$0 + \frac{5}{10} + 0 + 0 = \frac{5}{10}$
$g_5$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + \frac{3}{6} + \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$	$\frac{1}{10} + 0 + \frac{3}{10} + \frac{1}{10} = \frac{5}{10}$
$g_6$	$0 + \frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$0 + \frac{1}{6} + 0 + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$	$0 + \frac{5}{10} + 0 + \frac{1}{10} = \frac{6}{10}$
$g_7$	$\frac{1}{4} + 0 + \frac{1}{4} + 0 = \frac{2}{4}$	$\frac{1}{6} + 0 + \frac{3}{6} + 0 = \frac{4}{6}$	$\frac{1}{10} + 0 + \frac{3}{10} + 0 = \frac{4}{10}$

El clasificador de mínimo de error con los nuevos pesos es  $C_2 = g_3$  y calculamos su peso  $\alpha_3$ :

$$m = 3 \rightarrow C_2 = g_3 \quad \epsilon_2 = \frac{2}{10} \quad \alpha_2 = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - \frac{2}{10}}{\frac{2}{10}} \right) = 0,6931$$

Añadimos un nuevo término al clasificador resultante y el error en el conjunto de entrenamiento es cero:

$$G(\mathbf{x}) = 0,5493 \cdot g_0(\mathbf{x}) + 0,8047 \cdot g_4(\mathbf{x}) + 0,6931 \cdot g_3(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Error} = 0,0$$

Aunque ya no sería necesario, actualizamos el peso de cada muestra:

	$w^{(1)}$	$w^{(2)}$	$w^{(3)}$	$w^{(4)}$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} \cdot e^{0,6931} \approx 0,25$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{0,8047} \approx \frac{5}{10}$	$\frac{5}{10} \cdot e^{-0,6931} \approx 0,3125$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{0,5493} \approx \frac{3}{6}$	$\frac{3}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{3}{10}$	$\frac{3}{10} \cdot e^{-0,6931} \approx 0,1875$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \cdot e^{-0,5493} \approx \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-0,8047} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} \cdot e^{0,6931} \approx 0,25$

## 2. (Examen Recuperación Junio 2017)

Tabla de acierto/fallo:

	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\mathbf{x}_1$	X	X	X	✓
$\mathbf{x}_2$	X	X	✓	✓
$\mathbf{x}_3$	✓	✓	✓	✓
$\mathbf{x}_4$	✓	✓	X	X
$\mathbf{x}_5$	X	X	✓	✓

Pesos iniciales:  $w^{(1)} = (\frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5})$

Error de clasificación ponderado por  $w^{(1)}$ :

$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\frac{3}{5}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{5}$

$$C_1 = g_4$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{5}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \ln 4 = \ln 2$$

	$w^{(1)} \exp(-y_i \alpha_1 C_1(\mathbf{x}_i))$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{10}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{1}{10}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{10}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{2}{5} = \frac{4}{10}$
$\mathbf{x}_5$	$\frac{1}{10}$
Suma total	$\frac{4}{5} = \frac{8}{10}$

$$w^{(2)} = (\frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{1}{2}, \frac{1}{8})$$

## 3. (Examen Junio 2017)

Tabla de acierto/fallo:

	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\mathbf{x}_1$	✓	✓	X	✓
$\mathbf{x}_2$	✓	X	✓	X
$\mathbf{x}_3$	X	X	X	✓
$\mathbf{x}_4$	X	✓	✓	✓

Pesos iniciales:  $w^{(1)} = (\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$

Error de clasificación ponderado por  $w^{(1)}$ :

$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

$$C_1 = g_4$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{4}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \ln 3$$

	$w^{(1)} \exp(-y_i \alpha_1 C_1(\mathbf{x}_i))$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{4\sqrt{3}}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{\sqrt{3}}{4}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{4\sqrt{3}}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{1}{4\sqrt{3}}$
Suma total	$\frac{\sqrt{3}}{2}$

$$w^{(2)} = (\frac{1}{6}, \frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6})$$

## 4. (Examen Junio 2018)

Tabla de acierto/fallo:

	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\mathbf{x}_1$	✓	✓	✓	✓
$\mathbf{x}_2$	X	X	X	✓
$\mathbf{x}_3$	X	X	✓	✓
$\mathbf{x}_4$	✓	X	✓	X

Pesos:  $w^{(2)} = (\frac{1}{6}, \frac{3}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6})$

Error de clasificación ponderado por  $w^{(2)}$ :

$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$\frac{4}{6}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{1}{6}$

$$C_2 = g_4$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{6}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} \ln 5$$

	$w^{(1)} \exp(-y_i \alpha_2 C_2(x_i))$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{6\sqrt{5}}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{3}{6\sqrt{5}}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{6\sqrt{5}}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{\sqrt{5}}{6}$
Suma total	$\frac{\sqrt{5}}{3}$

$$w^{(3)} = (\frac{1}{10}, \frac{3}{10}, \frac{1}{10}, \frac{5}{10})$$

5. (Examen Recuperación P2 Junio 2018)

	$\epsilon^{(2)}$
	$\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \mathbf{x}_3 \ \mathbf{x}_4$
$g_0$	$0 + 0 + \frac{1}{6} + 0 = \frac{1}{6}$
$g_1$	$\frac{1}{6} + \frac{3}{6} + 0 + \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$
$g_2$	$0 + \frac{3}{6} + 0 + 0 = \frac{3}{6}$
$g_3$	$\frac{1}{6} + 0 + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$

$$m = 2 \rightarrow C_2 = g_0 \quad \epsilon_2 = \frac{1}{6} \quad \alpha_2 = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - \frac{1}{6}}{\frac{1}{6}} \right) = \frac{1}{2} \ln 5$$

$$G(\mathbf{x}) = \alpha_1 C_1(\mathbf{x}) + \alpha_2 C_2(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \ln 3 \cdot g_3(\mathbf{x}) + \frac{1}{2} \ln 5 \cdot g_0(\mathbf{x}) \rightarrow \text{Error} = 0,25$$

	$w^{(2)} \cdot \exp(-y_i \alpha_2 C_2(x_i))$	$w^{(3)}$
$\mathbf{x}_1$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-\frac{1}{2} \ln 5} = \frac{1}{6\sqrt{5}}$	$\frac{1}{18}$
$\mathbf{x}_2$	$\frac{3}{6} \cdot e^{\frac{1}{2} \ln 5} = \frac{15}{6\sqrt{5}}$	$\frac{15}{18}$
$\mathbf{x}_3$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-\frac{1}{2} \ln 5} = \frac{1}{6\sqrt{5}}$	$\frac{1}{18}$
$\mathbf{x}_4$	$\frac{1}{6} \cdot e^{-\frac{1}{2} \ln 5} = \frac{1}{6\sqrt{5}}$	$\frac{1}{18}$
Suma	$\frac{18}{6\sqrt{5}}$	