

# Cálculo II

# Examen II

FACULTAD  
DE  
CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE GRANADA



Los Del DGIIM, [losdeldgiim.github.io](https://github.com/losdeldgiim)

Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas  
Universidad de Granada



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Eres libre de compartir y redistribuir el contenido de esta obra en cualquier medio o formato, siempre y cuando des el crédito adecuado a los autores originales y no persigas fines comerciales.

# Cálculo II

# Examen II

Los Del DGIIM, [losdeldgiim.github.io](https://github.com/losdeldgiim)

Arturo Olivares Martos

Granada, 2023

**Asignatura** Cálculo II.

**Curso Académico** 2021-22.

**Grado** Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas.

**Grupo** Único.

**Profesor** María Victoria Velasco Collado.

**Descripción** Convocatoria Extraordinaria.

**Fecha** 11 de julio de 2022.

**Ejercicio 1.** [1.5 puntos] Determinar, en función de los valores de  $c \in \mathbb{R}$ , el número de soluciones que la ecuación  $x^3 - 3x + c = 0$  tiene en el intervalo  $[0, 1]$ .

Definimos  $f(x) = x^3 - 3x + c = 0$ , y buscamos cuántas raíces tiene en dicho intervalo.

$$f(0) = c \quad f(1) = 1 - 3 + c = -2 + c$$

Estudiamos ahora la monotonía en dicho intervalo:

$$f'(x) = 3x^2 - 3 = 0 \iff x^2 = 1 \iff x = \pm 1$$

- Para  $x < -1$ :  $f'(x) > 0 \implies f$  estrictamente creciente.
- Para  $-1 < x < 1$ :  $f'(x) < 0 \implies f$  estrictamente decreciente.
- Para  $x > 1$ :  $f'(x) > 0 \implies f$  estrictamente creciente.

Por tanto, en nuestro intervalo  $[0, 1]$  tenemos que es continua y estrictamente decreciente.

- Para  $0 \leq c \leq 2$ :

Tenemos que  $f(0) \geq 0$  y  $f(1) \leq 0$ , por lo que por el Teorema de Bolzano hay una solución en  $[0, 1]$ . Además, como es estrictamente decreciente, tenemos que la solución es única.

- Para  $0 < c$ :

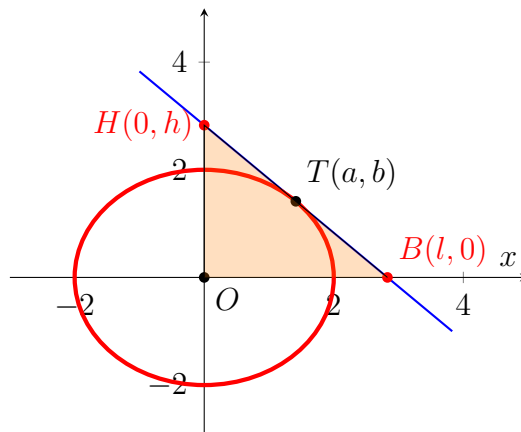
Tenemos que  $f(0) < 0$ , y al ser estrictamente decreciente, es el máximo absoluto del intervalo. Por tanto, no hay soluciones en el intervalo  $[0, 1]$ .

- Para  $2 < c$ :

Tenemos que  $f(1) > 0$ , y al ser estrictamente decreciente, es el mínimo absoluto del intervalo. Por tanto, no hay soluciones en el intervalo  $[0, 1]$ .

**Ejercicio 2.** [2 puntos] De todos los puntos  $(a, b)$  de la circunferencia de radio 2, ¿cuáles son los que tienen la propiedad de que la recta tangente a la circunferencia por dichos puntos determina con los ejes coordenados un triángulo de área mínima?

Restrinjo mi procedimiento al primer cuadrante; es decir, a calcular la recta formada con los semiejes positivos.



En el primer cuadrante, tenemos que la ecuación de la circunferencia es  $y = \sqrt{r^2 - x^2}$ . Sea la recta buscada es  $t(x) = m_t x + n$ . Para hallar  $m_t$ , empleamos la interpretación geométrica de la derivada:

$$y'(x) = \frac{-2x}{2\sqrt{r^2 - x^2}} \implies y'(a) = m_t = \frac{-a}{\sqrt{r^2 - a^2}}$$

Para hallar  $n$ , tenemos que el punto  $T$  pertenece a la circunferencia, por lo que:

$$b = \sqrt{r^2 - a^2}$$

No obstante, tenemos que

$$t(a) = b = \frac{-a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \cdot a + n$$

Igualando ambas expresiones de  $b$ , obtenemos que:

$$\frac{-a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \cdot a + n = \sqrt{r^2 - a^2} \implies -a^2 + \sqrt{r^2 - a^2}n = r^2 - a^2 \implies n = \frac{r^2}{\sqrt{r^2 - a^2}}$$

Por tanto, la recta es:

$$t(x) = \frac{-a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \cdot x + \frac{r^2}{\sqrt{r^2 - a^2}}$$

Para hallar  $h, l$ , como  $t(0) = h$  y  $0 = t(l)$ , tenemos que:

$$t(l) = 0 \iff \frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \cdot l = \frac{r^2}{\sqrt{r^2 - a^2}} \iff al = r^2 \iff l = \frac{r^2}{a}$$

$$t(0) = h \iff h = \frac{r^2}{\sqrt{r^2 - a^2}}$$

La función a minimizar es, por tanto:

$$A : ]0, r[ \longrightarrow \mathbb{R}$$

$$a \longrightarrow A(a) = \frac{1}{2}lh = \frac{r^4}{2a\sqrt{r^2 - a^2}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{r^8}{a^2(r^2 - a^2)}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{r^8}{-a^4 + a^2r^2}}$$

Como  $A(a) \geq 0$ , tenemos que minimizar  $A$  equivale a minimizar  $A^2$ . Por tanto,

$$(A^2)'(a) = -\frac{r^8(-4a^3 + 2ar^2)}{4a^4(r^2 - a^2)^2} = 0 \iff 4a^3 = 2ar^2 \iff a = \sqrt{\frac{r^2}{2}} = \frac{r}{\sqrt{2}}$$

Comprobemos que se trata de un mínimo relativo:

■ Para  $0 < a < \frac{r}{\sqrt{2}}$ :

$$(A^2)'(a) < 0 \iff -4a^3 + 2ar^2 > 0 \iff 2ar^2 > 4a^3 \iff r^2 > 2a^2 \iff r > \sqrt{2}a \iff \frac{r}{\sqrt{2}} > a$$

Por tanto, tenemos que es estrictamente decreciente en este intervalo.

- Para  $a > \frac{r}{\sqrt{2}}$ :

$$(A^2)'(a) > 0 \iff -4a^3 + 2ar^2 < 0 \iff 2ar^2 < 4a^3 \iff r^2 < 2a^2 \iff r < \sqrt{2}a \iff \frac{r}{\sqrt{2}} < a$$

Por tanto, tenemos que es estrictamente creciente en este intervalo.

Por tanto, se ha demostrado que  $a = \frac{r}{\sqrt{2}}$  es un mínimo relativo. Además, es absoluto, ya que es el único extremo relativo de una función continua.

Por tanto, tenemos que:

$$a = \frac{r}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \quad b = \sqrt{r^2 - a^2} = \sqrt{r^2 - \frac{r^2}{2}} = \sqrt{\frac{r^2}{2}} = \frac{r}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

Por tanto, tenemos que el único punto en el primer cuadrante con la propiedad buscada es el punto  $(\sqrt{2}, \sqrt{2})$ . Como la circunferencia se encuentra centrada en el  $(0, 0)$ , tenemos que el resto de puntos son:

$$(\pm\sqrt{2}, \pm\sqrt{2})$$

**Ejercicio 3. [2 puntos]** Sea  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  una función de  $C^\infty(\mathbb{R})$  tal que  $f(0) = 3$ . Supongamos  $0 \leq f(x) \leq 4 - x$  y que  $f'(x) = f(x) + x$ , para cada  $x \in \mathbb{R}$ . Calcular  $f\left(\frac{1}{10}\right)$  con tres cifras decimales exactas.

Al pedir tres cifras decimales exactas, tenemos que el error de aproximación ha de ser menor que  $10^{-4}$ . Por el resto de Lagrange tenemos que:

$$R_{n,0}^f(x) = \frac{f^{(n+1)}(c)}{(n+1)!} \cdot x^{n+1} \quad c \in [0, x]$$

Acotamos para  $x = \frac{1}{10}$ :

$$\begin{aligned} \left| R_{n,0}^f\left(\frac{1}{10}\right) \right| &= \left| \frac{f^{(n+1)}(c)}{(n+1)!} \cdot \frac{1}{10^{n+1}} \right| = \frac{|f^{(n+1)}(c)|}{(n+1)!} \cdot \frac{1}{10^{n+1}} \leq \frac{1}{10^4} \iff \\ &\iff |f^{(n+1)}(c)| \leq (n+1)!10^{n-3} \end{aligned}$$

Acotamos ahora cada derivada en el intervalo  $\left[0, \frac{1}{10}\right]$ :

- Para  $n = 1$ :

Tenemos que  $f'(x) = f(x) + x$ . Por tanto,

$$f'(x) = f(x) + x \leq 4 - x + x = 4 \quad f'(x) = f(x) + x \geq x \geq 0$$

Por tanto,  $0 \leq f'(x) \leq 4$ .

- Para  $n = 2$ :

Tenemos que  $f''(x) = f'(x) + 1$ . Por tanto,  $1 \leq f''(x) \leq 5$ .

- Para  $n \in \mathbb{N}, n \geq 3$ :

Se demuestra por inducción que  $f^{(n)}(x) = f^{(n-1)}(x)$ . Por tanto, como  $1 \leq f''(x) \leq 5$ , se tiene que  $1 \leq f^{(n)}(x) \leq 5$ .

Por tanto, como  $1 \leq f^n(x) \leq 5$  para todo  $n \geq 3$  natural, calculemos un valor de  $n$  que cumple la desigualdad obtenida por la acotación del resto de Lagrange:

$$|f^{n+1}(c)| \leq 5 \leq (n+1)!10^{n-3}$$

Vemos que  $n = 3$  lo cumple, ya que  $(4)! \cdot 10^0 = 4! = 24 \geq 5$ . Por tanto, tenemos que una aproximación con tres cifras decimales exactas se obtendría con el polinomio de grado 3 centrado en el 0.

$$P_{3,0}^f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2}x^2 + \frac{f'''(0)}{6}x^3$$

Tenemos que  $f(0) = 3$  por el enunciado. Por tanto,

$$f'(0) = f(0) + 0 = 3 \quad f''(0) = f'(0) + 1 = 4 \quad f'''(0) = f''(0) = 4$$

Por tanto,

$$P_{3,0}^f(x) = 3 + 3x + 2x^2 + \frac{2}{3}x^3$$

La aproximación buscada es:

$$P_{3,0}^f\left(\frac{1}{10}\right) = 3 + \frac{3}{10} + \frac{2}{100} + \frac{2}{3 \cdot 10^3} = 3,320$$

**Ejercicio 4. [2.5 puntos]** Sea  $F : [0, +\infty[ \rightarrow \mathbb{R}$  la función dada por  $F(x) = \int_x^{2x} e^{-t^2} dt$  para cada  $x \geq 0$ .

1. Determinar los puntos en los que  $F$  alcanza sus extremos relativos y/o absolutos.

Veamos en primer lugar que el integrando está acotado. Sea  $f(x) = e^{-x^2}$ . Tenemos que  $f'(x) = -2xe^{-x^2} < 0$ , por lo que es estrictamente decreciente. Además,  $f(0) = e^0 = 1$ , y  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = e^{-\infty} = 0$ . Por tanto, está acotada por 1. Como también es continua, tenemos que es Riemman Integrable. Por tanto, tenemos que:

$$F(x) = \int_x^{2x} e^{-t^2} dt = \int_0^{2x} e^{-t^2} dt - \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Como es Riemman Integrable y continua, por el TFC, tenemos que  $F$  es continua y derivable en  $\mathbb{R}_0^+$  con:

$$\begin{aligned} F'(x) &= 2e^{-(2x)^2} - e^{-x^2} = 2e^{-4x^2} - e^{-x^2} = 0 \iff 2e^{-4x^2} = e^{-x^2} \iff \\ &\iff 2e^{-4x^2+x^2} = 1 \iff -3x^2 = \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln 2 \iff x = \sqrt{\frac{\ln 2}{3}} \end{aligned}$$

Estudiamos su monotonía:

- Para  $x < \sqrt{\frac{\ln 2}{3}}$ :

$$\begin{aligned} F'(x) = 2e^{-4x^2} - e^{-x^2} > 0 &\iff 2e^{-4x^2} > e^{-x^2} \iff \\ &\iff 2e^{-4x^2+x^2} > 1 \iff -3x^2 > \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln 2 \iff x < \sqrt{\frac{\ln 2}{3}} \end{aligned}$$

Por tanto, tenemos que  $F'(x)$  es estrictamente creciente.

- Para  $x > \sqrt{\frac{\ln 2}{3}}$ :

$$\begin{aligned} F'(x) = 2e^{-4x^2} - e^{-x^2} < 0 &\iff 2e^{-4x^2} < e^{-x^2} \iff \\ &\iff 2e^{-4x^2+x^2} < 1 \iff -3x^2 < \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln 2 \iff x > \sqrt{\frac{\ln 2}{3}} \end{aligned}$$

Por tanto, tenemos que  $F'(x)$  es estrictamente decreciente.

Por tanto,  $x = \sqrt{\frac{\ln 2}{3}}$  es un máximo relativo. Por ser  $F$  continua y ser el único extremo relativo, tenemos que es también máximo absoluto.

Como  $F(0) = 0$ , veamos si es un mínimo absoluto. Veamos si  $\exists c \in \mathbb{R} \mid F(c) < 0$ .

Como  $f(x) > 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^+$ , tenemos que  $\int_a^b f(x) dx > 0 \quad \forall b > a$ . Por tanto, como  $2x > x \quad \forall x \in \mathbb{R}^+$ , tenemos que:

$$0 < F(x) \quad \forall x \in \mathbb{R}^+$$

Por tanto, como  $F(x) > 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^+$  y  $F(0) = 0$ , tenemos que  $x = 0$  es un mínimo absoluto.

## 2. Estudiar la concavidad de $F$ . ¿Tiene $F$ algún punto de inflexión?

Tenemos que  $F$  es dos veces derivable, con:

$$\begin{aligned} F''(x) = -8x \cdot 2e^{-4x^2} + 2xe^{-x^2} = 0 &\iff e^{-x^2} = 8e^{-4x^2} \iff -x^2 = \ln(8) - 4x^2 \iff \\ &\iff 3x^2 - \ln 8 = 0 \iff x = \sqrt{\frac{\ln 8}{3}} \end{aligned}$$

donde he supuesto que  $x = 0$  no puede ser un punto de inflexión, ya que no es un punto interior.

Veamos si efectivamente ese valor es un punto de inflexión estudiando su concavidad:

- Para  $x < \sqrt{\frac{\ln 8}{3}}$ :

$$\begin{aligned} F''(x) = -8x \cdot 2e^{-4x^2} + 2xe^{-x^2} < 0 &\iff e^{-x^2} < 8e^{-4x^2} \iff -x^2 < \ln(8) - 4x^2 \iff \\ &\iff 3x^2 - \ln 8 < 0 \iff x < \sqrt{\frac{\ln 8}{3}} \end{aligned}$$

Por tanto, tenemos que en este intervalo es cóncava hacia abajo.



- Para  $x > \sqrt{\frac{\ln 8}{3}}$ :

$$\begin{aligned} F''(x) = -8x \cdot 2e^{-4x^2} + 2xe^{-x^2} > 0 &\iff e^{-x^2} > 8e^{-4x^2} \iff -x^2 > \ln(8) - 4x^2 \iff \\ &\iff 3x^2 - \ln 8 > 0 \iff x > \sqrt{\frac{\ln 8}{3}} \end{aligned}$$

Por tanto, tenemos que en este intervalo es cóncava hacia arriba.

Por tanto, como hay un cambio de curvatura, tenemos que  $x = \sqrt{\frac{\ln 8}{3}}$  es un punto de inflexión.

3. Demostrar que  $0 \leq F(x) \leq xe^{-x^2}$ , para cada  $x \geq 0$ . ¿Cuánto vale  $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x)$ ?

En el primer apartado de este ejercicio se ha demostrado que  $F(x) > 0 \quad \forall x \in \mathbb{R}^+$  y  $F(0) = 0$ , por lo que se tiene la primera desigualdad.

Además, por el Teorema del Valor Medio para las integrales, tenemos que  $\forall x \in \mathbb{R}_0^+, \exists c \in [x, 2x]$  tal que:

$$F(x) = \int_x^{2x} f(t) dt = f(c)(2x - x) = xf(c)$$

Además, se ha demostrado que  $f(t)$  es estrictamente decreciente. Como  $c \in [x, 2x]$ , tenemos que  $x \leq c \implies f(x) \geq f(c)$ . Por tanto,

$$F(x) = xf(c) \leq xf(x)$$

Uniendo lo demostrado, tenemos que:

$$0 \leq F(x) \leq xf(x) \quad \forall x \geq 0$$

como queríamos demostrar.

Para calcular el límite en  $+\infty$  de  $F(x)$ , calculamos primero el siguiente límite:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} xf(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{e^{x^2}} \stackrel{L'H\hat{o}pital}{=} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{2xe^{x^2}} = 0$$

Por tanto, por el Teorema del Sandwich, tenemos que:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 0$$

4. Estudiar la continuidad uniforme de la función  $H(x) := \frac{F(x)}{\sqrt{x}}$  en el intervalo  $]0, 1[$ .

$$\lim_{x \rightarrow 0} H(x) = \left[ \frac{0}{0} \right] \stackrel{L'H\hat{o}pital}{=} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F'(x)}{\frac{1}{2\sqrt{x}}} = \lim_{x \rightarrow 0} 2\sqrt{x} (2e^{-4x^2} - e^{-x^2}) = 0 \cdot (2e^0 - e^0) = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} H(x) = F(1)$$

Por tanto, definiendo  $H(1) = F(1) \in \mathbb{R}$  y  $H(0) = 0$ , tenemos que  $H$  es una función continua. Por tanto, como existe una ampliación del dominio continua, tenemos que  $H$  es uniformemente continua en  $]0, 1[$ .

**Ejercicio 5. [2 puntos]** Calcular el área de la región acotada limitada por la gráfica de la curva de ecuación  $\left(\frac{x}{5}\right)^2 + \left(\frac{y}{4}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$ .

Tenemos que la función es:

$$y^{\frac{2}{3}} = 4^{\frac{2}{3}} \left(1 - \frac{x^2}{25}\right) \implies y^2 = 16 \left(1 - \frac{x^2}{25}\right)^3 \implies y = \pm 4 \sqrt{\left(1 - \frac{x^2}{25}\right)^3}$$

Calculo solo el área que se encuentra por encima del eje OX, que será la mitad del área. Los puntos de corte con el eje OX son:

$$0 = \pm 4 \sqrt{\left(1 - \frac{x^2}{25}\right)^3} \iff 1 - \frac{x^2}{25} = 0 \iff x = \pm 5$$

Como la función es par, basta con hallar el área del primer cuadrante, que será un cuarto del área total.

$$\begin{aligned} \frac{A}{4} &= \int_0^5 4 \sqrt{\left(1 - \frac{x^2}{25}\right)^3} dx = 4 \int_0^5 \sqrt{\left(\frac{25 - x^2}{25}\right)^3} dx = \frac{4}{125} \int_0^5 \sqrt{(25 - x^2)^3} dx = \\ &= \left[ \begin{array}{l} 5 \operatorname{sen} t = x \quad t \in [0, \frac{\pi}{2}] \\ 5 \cos t dt = dx \end{array} \right] = \frac{4}{125} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(25 - 25 \operatorname{sen}^2 t)^3} 5 \cos t dt = \\ &= \frac{4}{125} \cdot 5 \cdot 125 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - \operatorname{sen}^2 t)^3} \cos t dt = 20 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^4 t dt \end{aligned}$$

Tenemos que  $\cos^2 x = \frac{1 + \cos(2x)}{2}$ . Por tanto,

$$\cos^4 x = \left(\frac{1 + \cos(2x)}{2}\right)^2 = \frac{1 + \cos^2(2x) + 2 \cos(2x)}{4} = \frac{1 + \frac{1 + \cos(4x)}{2} + 2 \cos(2x)}{4}$$

Por tanto,

$$\begin{aligned} \frac{A}{4} &= 20 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^4 t dt = 20 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \cos(4t) + \frac{1}{2} \cos(2t) dt = \\ &= 20 \left[ \frac{3t}{8} + \frac{1}{32} \operatorname{sen}(4t) + \frac{1}{4} \operatorname{sen}(2t) \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 20 \left[ \frac{3\pi}{16} \right] = \frac{15\pi}{4} \end{aligned}$$

Por tanto, tenemos que el área es  $A = 15\pi u^2$ .