# Ejercicios resueltos de la segunda prueba

Impactos Medioambientales

Suelo, salud, agua y recursos

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026



Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Versión v1.0

# Índice general

Problema 1. Riesgo por un suelo y un pozo contaminados . . . . . 2
Problema 2. Huella hídrica gris de un vertido . . . . . 3
Problema 3. Duración de las reservas con demanda creciente . . . . . 3
Problema 4. Pico de Hubbert . . . . . 3

**Tabla de resultados** **4**

**Resumen**

Cuatro problemas originales para la segunda prueba. Los datos toxicológicos son los del enunciado (no se deben tomar como valores oficiales). Cifras calculadas con Python.

## Problema 1. Riesgo por un suelo y un pozo contaminados

**Enunciado**

Junto a una antigua escombrera de mina, un adulto vive sobre un suelo con 40 mg/kg de un metaloide y bebe agua de un pozo con 0,02 mg/L del mismo elemento. Datos: $RfD = 3 \cdot 10^{-4}$ mg/kg·día, $SF = 1{,}5$ (mg/kg·día)$^{-1}$, ingestión de suelo 100 mg/día, agua 2 L/día, $EF = 350$ días/año, $ED = 30$ años, $BW = 70$ kg. Calcula $HQ$, $HI$ y el riesgo cancerígeno. ¿Qué concentración en suelo daría un riesgo de $10^{-5}$ por esa sola vía?

Ingestión de suelo.

No cancerígenos ($AT = 30 \cdot 365$):

$$I_{nc} = \frac{40 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 30}{70 \cdot 30 \cdot 365} = 5{,}48 \cdot 10^{-5} \qquad HQ = \frac{5{,}48 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-4}} = 0{,}18$$

Cancerígenos ($AT = 25\,550$ días):

$$I_c = 2{,}35 \cdot 10^{-5} \qquad R = 2{,}35 \cdot 10^{-5} \cdot 1{,}5 = 3{,}5 \cdot 10^{-5}$$

Ingestión de agua:

$$I_{nc} = \frac{0{,}02 \cdot 2 \cdot 350}{70 \cdot 365} = 5{,}48 \cdot 10^{-4} \qquad HQ = 1{,}83 \qquad I_c = 2{,}35 \cdot 10^{-4} \qquad R = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$$

Total:

$$HI = 0{,}18 + 1{,}83 = \underline{2{,}0} > 1 \qquad R_{total} = \underline{3{,}9 \cdot 10^{-4}} > 10^{-5}$$

El riesgo es inaceptable en los dos criterios y lo domina el agua del pozo: la primera medida es cortar esa vía (abastecimiento alternativo).

Concentración admisible en suelo para $R = 10^{-5}$:

$$C_S = \frac{10^{-5}}{1{,}5} \cdot \frac{70 \cdot 25\,550}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 30} = \underline{11{,}4 \text{ mg/kg}}$$

## Problema 2. Huella hídrica gris de un vertido

> **Enunciado**
>
> Una instalación vierte 12 t/año de nitrógeno a un río cuya concentración natural es 1 mg/L. El estándar de calidad es 10 mg/L. Calcula la huella hídrica gris.

$$HH_{gris} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{12 \cdot 10^9 \text{ mg}}{(10 - 1) \text{ mg/L}} = 1{,}33 \cdot 10^9 \text{ L} = \boxed{1{,}33 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Es el volumen de agua dulce que "se reserva" para asimilar el vertido aunque no se extraiga ni un litro.

## Problema 3. Duración de las reservas con demanda creciente

> **Enunciado**
>
> Las reservas de un mineral para baterías son 28 Mt y la producción actual 0,24 Mt/año. Calcula el cociente $R/P$ y los años que durarían si la producción creciera un 8 % anual.

$$\frac{R}{P} = \frac{28}{0{,}24} = 117 \text{ años} \qquad T = \frac{\ln(1 + 0{,}08 \cdot 116{,}7)}{0{,}08} = \boxed{29 \text{ años}}$$

Con crecimiento exponencial las reservas duran la cuarta parte de lo que sugiere el $R/P$. En la práctica las reservas también crecen (precios, exploración, tecnología), pero el ejemplo muestra por qué preocupa el suministro de minerales críticos.

## Problema 4. Pico de Hubbert

> **Enunciado**
>
> Un recurso tiene $URR = 2000$ unidades y su producción acumulada sigue una logística con $b = 0{,}06$ año$^{-1}$ y punto medio en 2045. ¿Cuándo y de qué valor es el pico de producción? ¿Qué cantidad se habrá extraído en ese momento?

$$P(t) = b\,Q\left(1 - \frac{Q}{URR}\right) \;\Rightarrow\; \text{máximo con } Q = \frac{URR}{2}$$

$$P_{max} = \frac{b\,URR}{4} = \frac{0{,}06 \cdot 2000}{4} = \boxed{30 \text{ unidades/año}}$$

El pico es en 2045, con 1000 unidades extraídas (la mitad del recurso recuperable).

## Tabla de resultados

| Problema | Bloque | Resultado principal |
|---|---|---|
| 1 | Riesgos | $HI = 2{,}0$; riesgo $3{,}9 \cdot 10^{-4}$; $C_S$ admisible 11,4 mg/kg |
| 2 | Agua | $HH_{gris} = 1{,}33\,\mathrm{hm}^3$/año |
| 3 | Recursos | $R/P = 117$ años; 29 años con crecimiento del 8 % |
| 4 | Recursos | Pico de 30 unidades/año en 2045 |