Física nuclear

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en **farmeandopau.com** ›
Última revisión: 1 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

El núcleo pesa menos que sus nucleones por separado: ese **defecto de masa**, por c^2, es la **energía de enlace**, y la energía de enlace **por nucleón** mide la estabilidad (máxima hacia el hierro y el níquel: por eso liberan energía la **fisión** y la **fusión**). Los núcleos inestables se desintegran (α, β^- con antineutrino, β^+, γ) según $N = N_0 e^{-\lambda t}$, con $T_{1/2} = \ln 2/\lambda$ y **actividad** $A = \lambda N$. Sale en **53 de las 68 convocatorias**, en las 17 comunidades; casi siempre, la ley de desintegración (46 de 68).

1 El núcleo atómico y la fuerza nuclear fuerte

El núcleo concentra casi toda la masa del átomo en un radio de unos 10^{-15}–10^{-14} m, entre 10 000 y 100 000 veces menor que el del átomo. Para estudiarlo necesitas tres números, una unidad de masa propia y una fuerza nueva que no viste en el bloque de campos.

- **Nucleones**: protones (carga $+e$) y neutrones (sin carga). **Número atómico** Z = número de protones (dice qué elemento es); **número de neutrones** N; **número másico** $A = Z + N$. Se escribe ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$: el ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ tiene 92 protones y $235 - 92 = 143$ neutrones.
- **Isótopos**: mismo Z y distinto A (${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ y ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$): mismo elemento, mismas propiedades químicas, distinto núcleo. **Isóbaros**: mismo A (${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ y ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$). **Núclido** (o nucleido): cada especie nuclear con un Z y un A concretos.
- **Unidad de masa atómica**: $1\ \mathrm{u}$ es la doceava parte de la masa de un átomo de ${}^{12}\mathrm{C}$: $1\ \mathrm{u} = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$, que equivale a una energía de $931{,}494\ \mathrm{MeV}$ (por $E = mc^2$). En unidades de masa atómica, $m_p = 1{,}007\,276\ \mathrm{u}$, $m_n = 1{,}008\,665\ \mathrm{u}$ y $m_e = 0{,}000\,549\ \mathrm{u}$ (CODATA). El neutrón pesa algo más que el protón.
- **Tamaño y densidad**: el radio crece como $R \approx r_0\, A^{1/3}$, con $r_0 \approx 1{,}2\ \mathrm{fm}$ ($1\ \mathrm{fm} = 10^{-15}$ m). Como el volumen es proporcional a A, **todos los núcleos tienen casi la misma densidad**: unos $2{,}3 \cdot 10^{17}\ \mathrm{kg/m^3}$. No te lo piden calcular, pero explica por qué los nucleones están «tocándose».
- **Fuerza nuclear fuerte**: es la que mantiene unidos los nucleones aunque los protones se repelen. Es **la más intensa** de las cuatro interacciones, **de muy corto alcance** (unos pocos fm: fuera del núcleo no se nota), **atractiva entre cualquier par de nucleones** (no depende de la carga: protón-protón, protón-neutrón y neutrón-neutrón; a distancias mucho menores que 1 fm se vuelve repulsiva, y por eso los nucleones no se aplastan unos contra otros) y **saturada** (cada nucleón solo se une a sus vecinos). Entre los quarks la transmiten los gluones (Tema 20).
- La **interacción nuclear débil** es la responsable de la desintegración β: convierte un neutrón en un protón o al revés (la ves en la sección de radiactividad).

POR QUÉ HACE FALTA LA FUERZA FUERTE

Calcula la fuerza eléctrica y la gravitatoria entre dos protones separados 2 fm (dentro de un núcleo). Datos: $K = 8{,}988 \cdot 10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$, $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$, $G = 6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$, $m_p = 1{,}673 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$.

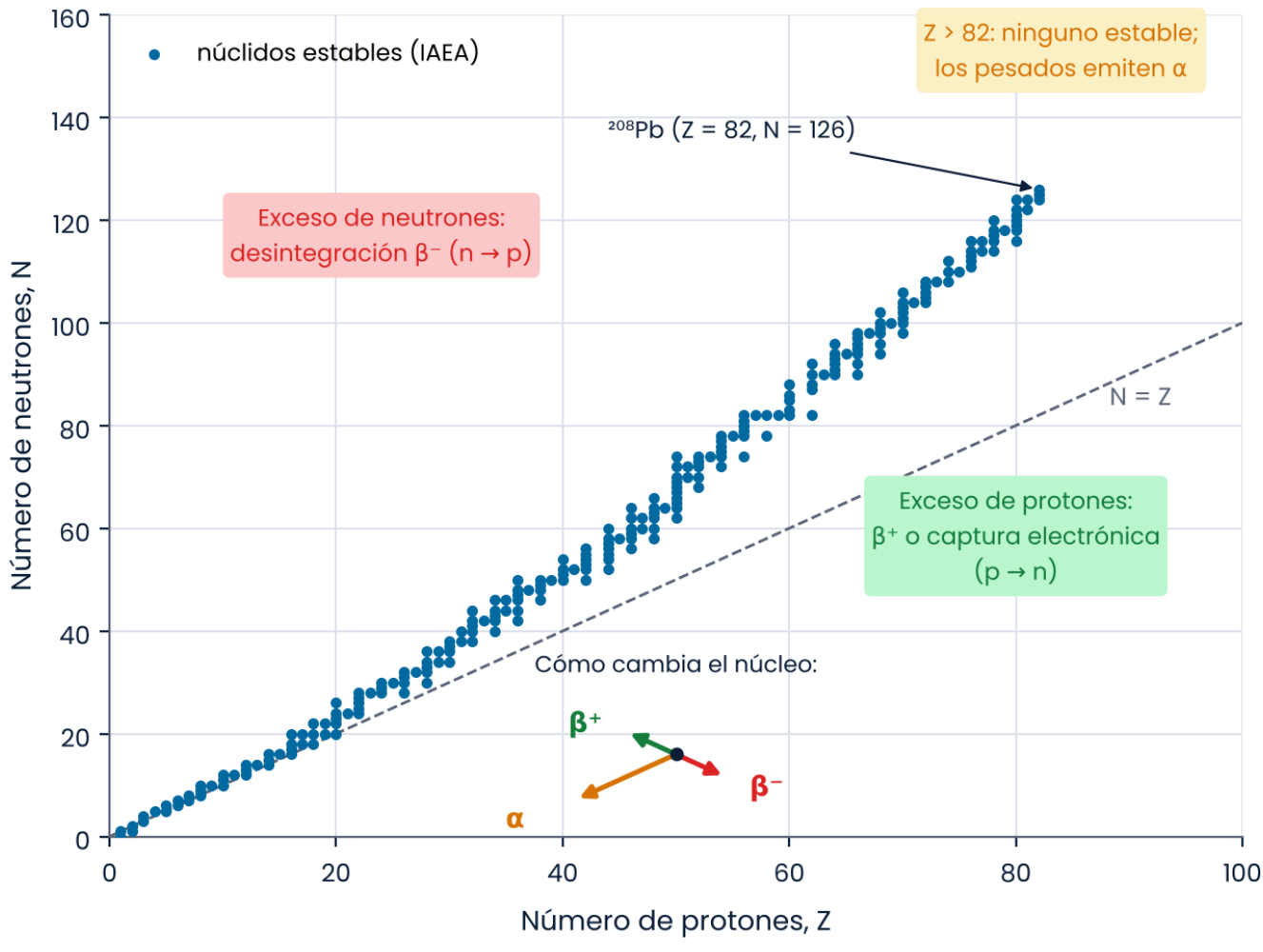
Respuesta modelo

$F_e = \frac{Ke^2}{r^2} = \frac{8{,}988 \cdot 10^{9} \cdot (1{,}602 \cdot 10^{-19})^2}{(2 \cdot 10^{-15})^2} = 57{,}7\ \mathrm{N}$ (repulsiva). $F_g = \frac{Gm_p^2}{r^2} = \frac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot (1{,}673 \cdot 10^{-27})^2}{(2 \cdot 10^{-15})^2} = 4{,}67 \cdot 10^{-35}\ \mathrm{N}$. El cociente es $F_e/F_g = 1{,}2 \cdot 10^{36}$.

Por qué puntúa. 57,7 N sobre una partícula de 10^{-27} kg es una barbaridad, y la gravedad no la compensa ni de lejos. Si el núcleo existe, es porque hay una fuerza atractiva todavía más intensa a esas distancias: la fuerte.

Andalucía: sin modelos nucleares

Las Directrices y orientaciones de Física 2026-27 dicen que las cuestiones sobre el núcleo «incidirán en la comprensión del modelo atómico y nuclear y en las características de las partículas constituyentes, pero no se exigirá, en ningún caso, el conocimiento de los modelos nucleares». Lo que tienes en esta sección (composición, isótopos, fuerza fuerte) sí entra.



Núclidos estables en el plano N–Z. Los estables ligeros están sobre la recta N = Z; los pesados necesitan más neutrones que protones, y por encima del plomo (Z = 82) no hay ninguno estable. Las flechas dicen cómo se mueve un núcleo: α, dos casillas abajo y dos a la izquierda; β^-, una a la derecha y una abajo; β^+, al revés (Baleares pidió dibujarlo en 2025). Datos: IAEA, Live Chart of Nuclides.

2 Defecto de masa, energía de enlace y estabilidad

Un núcleo pesa **menos** que la suma de sus protones y neutrones por separado. Esa masa que «falta» se liberó como energía al formarse el núcleo, y es la que habría que darle para separarlo en nucleones: la **energía de enlace**.

- **Defecto de masa**: $\Delta m = Z\,m_p + N\,m_n - m_{\text{núcleo}}$ (siempre positivo).
- **Energía de enlace**: $E_e = \Delta m\,c^2$. Si Δm está en u, multiplica por 931,5: $E_e(\text{MeV}) = \Delta m(\text{u}) \cdot 931{,}5$. Si lo quieres en julios, pasa Δm a kg y multiplica por c^2 ($1\ \text{MeV} = 1{,}602 \cdot 10^{-13}$ J).
- **Masa atómica o masa nuclear**: las tablas, y casi todos los exámenes, dan masas **atómicas**, con los Z electrones dentro. Hay dos formas correctas: restar los electrones, $m_{\text{núcleo}} = m_{\text{átomo}} - Z\,m_e$, o usar la masa del **átomo de hidrógeno** en lugar de la del protón: $\Delta m = Z\,m(^1\text{H}) + N\,m_n - m_{\text{átomo}}$ (así los electrones se cancelan). Mezclar masa atómica con m_p da un resultado algo más bajo.
- **Energía de enlace por nucleón**, E_e/A: es la que mide la **estabilidad**. Cuanto mayor, más energía cuesta arrancar cada nucleón y más estable es el núcleo. Para comparar dos núcleos, compara E_e/A, no E_e (un núcleo grande siempre tiene más energía de enlace total).
- **La curva**: sube muy deprisa en los núcleos ligeros (^{2}H: 1,11 MeV; el ^{4}He hace un pico, 7,07 MeV, porque es especialmente estable), llega a un máximo de unos **8,8 MeV hacia $A \approx 56$–62** (el mayor valor es el del ^{62}Ni, 8,795 MeV, muy poco por encima del ^{56}Fe, 8,790 MeV) y baja suavemente hasta unos 7,6 MeV en el uranio.
- **Consecuencia**: si unes núcleos ligeros (**fusión**) o rompes uno pesado en dos medianos (**fisión**), los productos están más ligados que los reactivos y **se libera energía**. Con núcleos de la zona del hierro no se gana nada ni de una forma ni de otra.
- **Banda de estabilidad**: los núcleos estables ligeros tienen $N \approx Z$; al crecer Z necesitan **más neutrones que protones** (aportan fuerza fuerte sin añadir repulsión eléctrica): en el ^{208}Pb, $N/Z = 126/82 \approx 1{,}54$. Por encima de $Z = 82$ no hay ningún núclido estable. Con exceso de neutrones el núcleo hace β^-; con exceso de protones, β^+ o captura electrónica; los muy pesados emiten α (lo ves en la figura de la primera sección).

Núclido	Δm (u)	E_e (MeV)	E_e/A (MeV/nucleón)
^{2}H	0,002 388	2,22	1,11
^{4}He	0,030 377	28,30	7,07
^{12}C	0,098 940	92,16	7,68
^{16}O	0,137 005	127,62	7,98
^{56}Fe	0,528 463	492,26	8,790
^{62}Ni	0,585 363	545,26	8,795
^{235}U	1,915 058	1783,9	7,59
^{238}U	1,934 194	1801,7	7,57

Calculado con las masas atómicas de la evaluación AME2020 (IAEA): Δm = Z·m(¹H) + N·m_n − m(átomo), con m(¹H) = 1,007 825 u, m_n = 1,008 665 u y 1 u = 931,494 MeV/c².

ENERGÍA DE ENLACE DEL HELIO-4

Calcula la energía de enlace y la energía de enlace por nucleón del $^4_2$He. Masas atómicas (AME2020): $m(^4\text{He}) = 4{,}002\,603$ u, $m(^1\text{H}) = 1{,}007\,825$ u; $m_n = 1{,}008\,665$ u; $1\ \text{u} = 931{,}5\ \text{MeV}/c^2$.

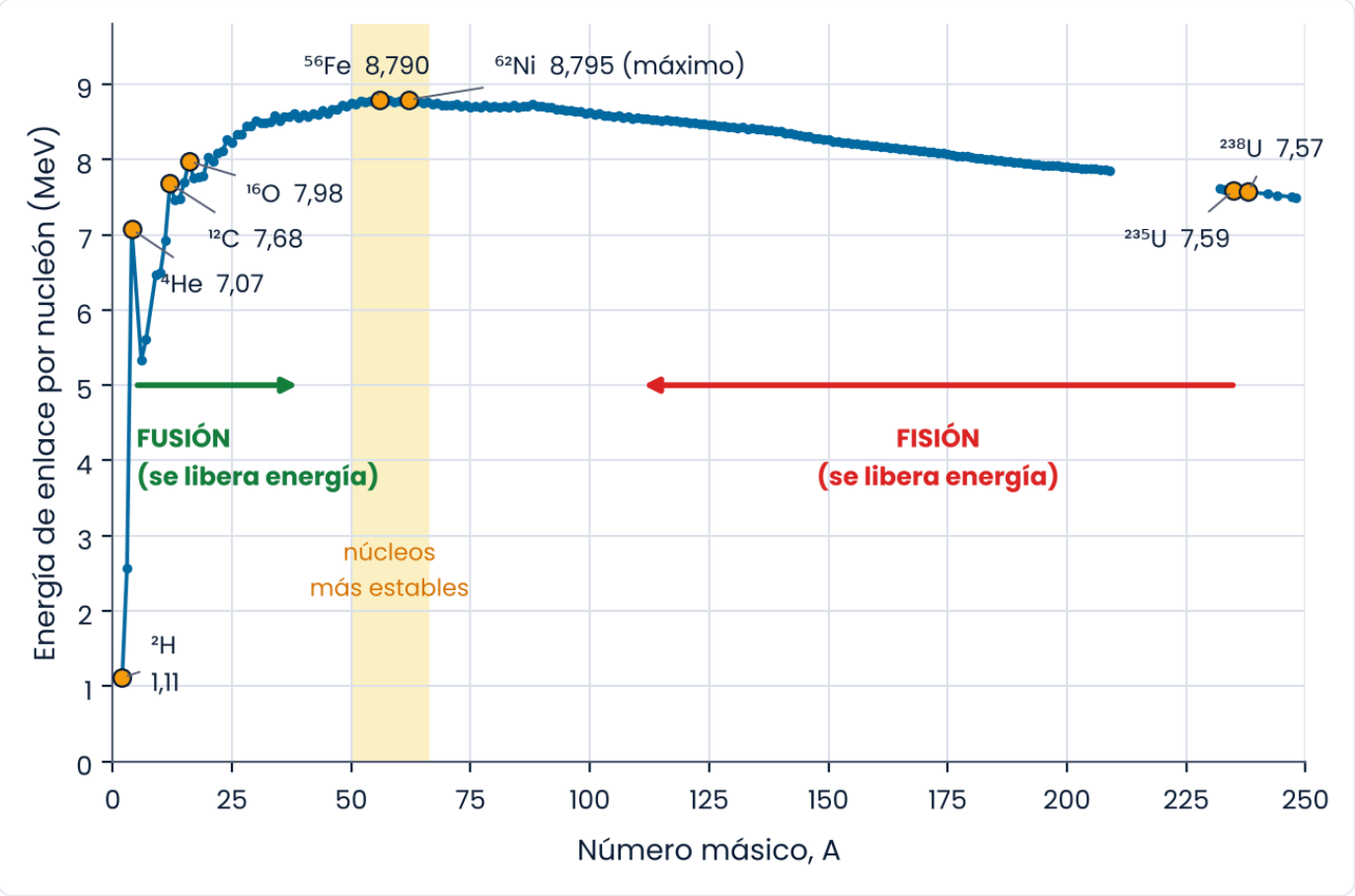
Respuesta modelo

Como te dan masas atómicas, usa la del hidrógeno: $\Delta m = 2 \cdot 1{,}007\,825 + 2 \cdot 1{,}008\,665 - 4{,}002\,603 = 0{,}030\,377$ u. $E_e = 0{,}030\,377 \cdot 931{,}5 = 28{,}30$ MeV, y por nucleón, $28{,}30/4 = 7{,}07$ MeV/nucleón.

Por qué puntúa. Si mezclas la masa atómica del helio con la del protón ($m_p = 1{,}007\,276$ u), te sale $\Delta m = 0{,}029\,279$ u y 6,82 MeV/nucleón (6,83 si pasas por julios con $1\ \text{u} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg, como en Andalucía): un 3,6 % menos, porque te dejas dentro la masa de los dos electrones.

Los datos de masa en los exámenes

Andalucía (2025 extraordinaria y reserva 4, 2026 extraordinaria) da masas atómicas junto a la masa del protón: con sus datos el ^{4}He sale a 6,83 MeV/nucleón, que es el valor que el propio examen de 2025 da como dato. Usa los datos tal como vienen: es lo que se corrige. Galicia da la masa del electrón para que pases de masa atómica a nuclear (2025 extraordinaria). Canarias 2025 ordinaria dio mp = 1,00759 u y mn = 1,00899 u, distintos de los habituales: úsalos igual. Asturias (ficha 2025-26) y la Comunitat Valenciana (documento de orientación 2026-27) piden interpretar la gráfica de energía de enlace por nucleón para comparar estabilidades.



Energía de enlace por nucleón frente al número másico. El máximo, hacia A ≈ 56–62, separa los núcleos que liberan energía al fusionarse (izquierda) de los que la liberan al fisionarse (derecha). Datos: AME2020 (IAEA), núclidos estables o de vida muy larga.

3 Radiactividad natural: α, β, γ y leyes de Soddy y Fajans

En 1896 Becquerel vio que las sales de uranio velaban placas fotográficas sin necesidad de luz; en 1898 Marie y Pierre Curie descubrieron el polonio y el radio. Un núcleo inestable se transforma **espontáneamente** en otro más estable emitiendo partículas o radiación. Es un proceso **nuclear**: no depende de la temperatura, de la presión ni del compuesto químico en que esté el átomo.

- **Leyes de Soddy y Fajans** (1913), en forma de ecuación: α: ${}^{A}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$; β^-: ${}^{A}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e$; β^+: ${}^{A}_{Z}\mathrm{X} \to {}^{A}_{Z-1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}e + \nu_e$; γ: ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}^* \to {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + \gamma$.
- El electrón de la β^- **no estaba en el núcleo**: se crea cuando un neutrón se transforma, $n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$ (interacción débil). En la β^+, $p \to n + e^+ + \nu_e$, que solo puede ocurrir dentro de un núcleo: un protón libre no puede, porque pesa menos que un neutrón.
- **Por qué hay que escribir el antineutrino**: los electrones β salen con energías repartidas en un espectro continuo, y sin otra partícula no se conservarían la energía ni el momento. Pauli propuso en 1930 una partícula neutra y casi sin masa; se detectó en 1956 (Cowan y Reines). En la β^- va un **antineutrino** $\bar{\nu}_e$ (conservación del número leptónico) y en la β^+, un **neutrino** ν_e. En Cataluña restan 0,25 si falta.
- **Captura electrónica**: el núcleo atrapa un electrón de la corteza, $p + e^- \to n + \nu_e$: Z baja 1 como en la β^+. Es la alternativa a la β^+ en núcleos con exceso de protones (el ${}^{40}\mathrm{K}$ hace β^- en el 89 % de los casos y captura

electrónica en el 11 %).

- **Series radiactivas**: los núcleos pesados llegan a uno estable tras una cadena de emisiones α y β^-. Hay tres series naturales: $^{238}\mathrm{U} \to {}^{206}\mathrm{Pb}$ (8 α y 6 β^-), $^{235}\mathrm{U} \to {}^{207}\mathrm{Pb}$ (7 α y 4 β^-) y $^{232}\mathrm{Th} \to {}^{208}\mathrm{Pb}$ (6 α y 4 β^-). En la del $^{238}\mathrm{U}$ está el $^{222}\mathrm{Rn}$, un gas que sale del suelo y se acumula en sótanos.
- **Cómo contar las α y las β de una serie**: solo la α cambia A, así que $n_\alpha = \Delta A/4$. Después, las β^- ajustan Z: $Z_{\text{final}} = Z_{\text{inicial}} - 2\,n_\alpha + n_\beta$.

Emisión	Qué es	Qué le pasa al núcleo	Penetración
α	Núcleo de ^{4}He (2 protones y 2 neutrones), carga +2e	A baja 4 y Z baja 2	La frena una hoja de papel o la piel; muy ionizante (peligrosa si se inhala o se ingiere, como el radón)
β^-	Electrón, acompañado de un antineutrino	A igual, Z sube 1 (un neutrón pasa a protón)	Unos milímetros de aluminio
β^+	Positrón (antipartícula del electrón), acompañado de un neutrino	A igual, Z baja 1 (un protón pasa a neutrón)	Como la β^-; el positrón se aniquila con un electrón y da dos fotones de 511 keV (la base del PET)
γ	Fotón de muy alta energía	Ni A ni Z cambian: el núcleo pasa de un estado excitado a otro de menos energía	Muy penetrante: hacen falta centímetros de plomo o un muro de hormigón

La γ suele acompañar a una α o una β, porque el núcleo hijo se queda excitado.

COMPLETAR EMISIONES

Completa: a) $^{238}_{92}\mathrm{U} \to {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + X$; b) $^{14}_{6}\mathrm{C} \to {}^{14}_{7}\mathrm{N} + Y + W$; c) $^{18}_{9}\mathrm{F} \to {}^{18}_{8}\mathrm{O} + Y + W$. Di de qué tipo es cada una.

Respuesta modelo

Conservando A y Z: a) X tiene $A = 238 - 234 = 4$ y $Z = 92 - 90 = 2$: es $^4_2\mathrm{He}$, emisión α. b) Y tiene $A = 0$ y $Z = 6 - 7 = -1$: es un electrón $^0_{-1}e$ y $W = \bar{\nu}_e$: emisión β^-. c) Y tiene $A = 0$ y $Z = 9 - 8 = +1$: es un positrón ^0_1e y $W = \nu_e$: emisión β^+ (el flúor-18 del PET).

Por qué puntúa. Escribe siempre las dos sumas (A arriba, Z abajo) aunque te parezcan obvias: es lo que justifica la respuesta.

CONTAR LAS EMISIONES DE UNA SERIE

¿Cuántas emisiones α y β^- hay entre el $^{238}_{92}\mathrm{U}$ y el $^{206}_{82}\mathrm{Pb}$?

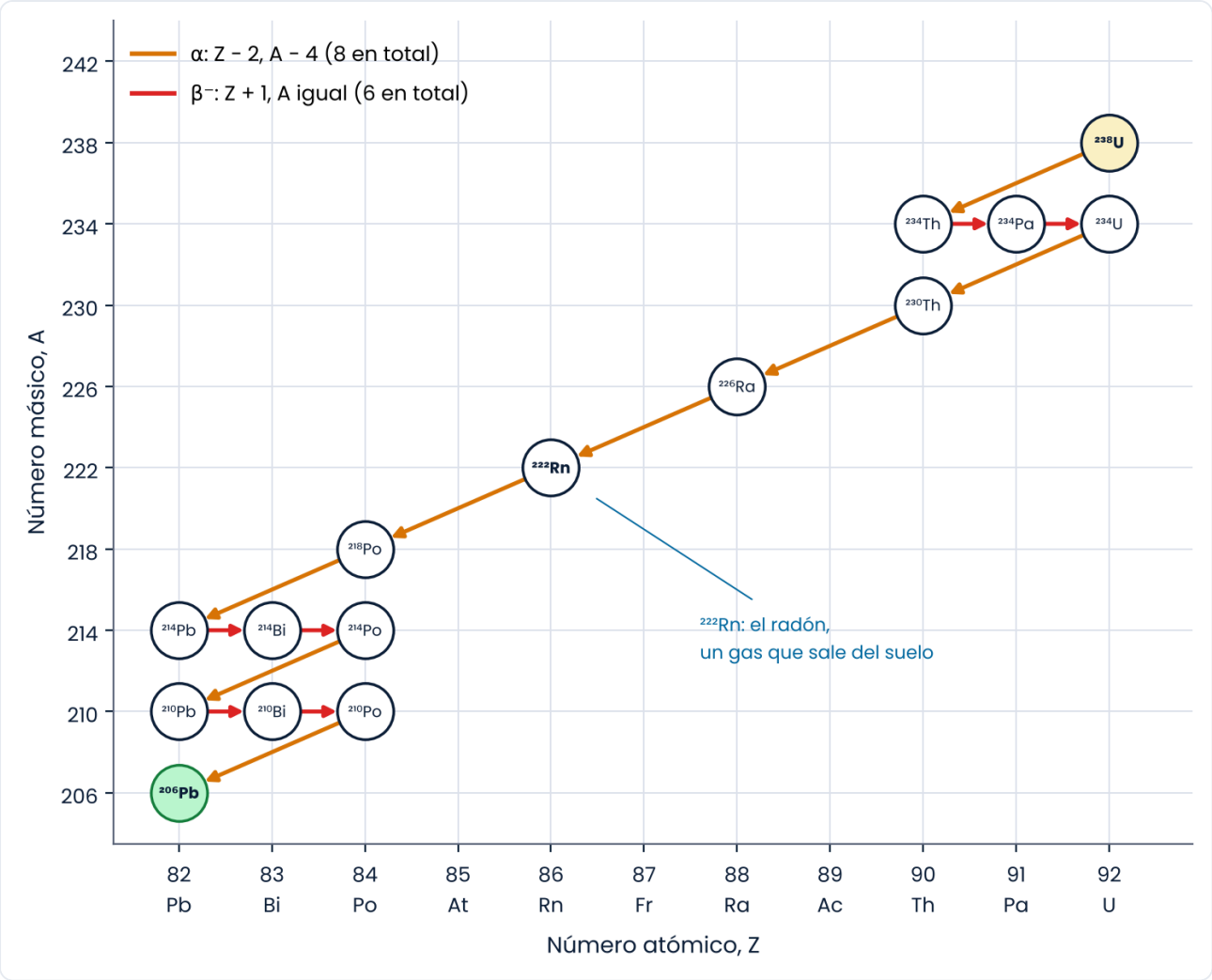
Respuesta modelo

$n_\alpha = (238 - 206)/4 = 8$. Con 8 α, Z bajaría a $92 - 16 = 76$; como el plomo tiene $Z = 82$, hacen falta $82 - 76 = 6$ emisiones β^-.

Por qué puntúa. Una serie solo con α no puede llegar al plomo: bajaría Z demasiado. Las β^- son las que compensan.

Lo que se conserva en toda emisión

El número de nucleones (la suma de los A) y la carga (la suma de los Z) son iguales a los dos lados. La masa no: los productos pesan menos y esa diferencia es la energía que se lleva la radiación.



Serie del uranio-238 en el plano A–Z. Cada flecha naranja es una emisión α (dos casillas a la izquierda y cuatro abajo); cada roja, una β^- (una casilla a la derecha). Ocho α y seis β^- llevan del ^{238}U al ^{206}Pb estable. Cadena principal según los datos de desintegración de la IAEA.

4 Ley de desintegración: constante, periodo y vida media

No se puede saber cuándo se va a desintegrar un núcleo concreto, pero sí cuántos lo harán en una muestra con muchísimos: los que se desintegran por unidad de tiempo son **proporcionales a los que quedan**.

- **Deducción de la ley**: $\dfrac{dN}{dt} = -\lambda N$. Separando variables e integrando entre $t = 0$ (hay N_0) y t (hay N):
  $$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \;\Rightarrow\; \ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t \;\Rightarrow\; N = N_0\, e^{-\lambda t}.$$
- **Constante de desintegración** λ (en s^{-1}): la probabilidad, por unidad de tiempo, de que un núcleo se desintegre. Es propia de cada núclido y no cambia con la temperatura, la presión ni el compuesto.
- **Periodo de semidesintegración** $T_{1/2}$: el tiempo que tarda en quedar **la mitad**. Se deduce poniendo $N = N_0/2$:
  $$\frac{N_0}{2} = N_0\, e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$
- **Vida media** τ: el tiempo **medio** que vive un núcleo antes de desintegrarse: $\tau = \dfrac{1}{\lambda}$. Por tanto $T_{1/2} = \tau \ln 2 \approx 0{,}693\,\tau$: **el periodo es más corto que la vida media**. Cuando $t = \tau$ queda $N_0/e \approx 0{,}368\,N_0$.
- Tras n periodos queda $N = N_0/2^n$; si el tiempo no es un número entero de periodos, $N = N_0\, 2^{-t/T_{1/2}}$, que es lo mismo que $N_0\, e^{-\lambda t}$.
- La misma ley vale para la **masa** del isótopo que queda, para los **moles** y para la **actividad**: $m = m_0\, e^{-\lambda t}$, $A = A_0\, e^{-\lambda t}$.
- **Lo que se ha desintegrado** es lo que falta: $N_0 - N = N_0\,(1 - e^{-\lambda t})$. Lee bien el enunciado: «se ha desintegrado el 20 %» significa que **queda** el 80 % ($N/N_0 = 0{,}80$); «desciende al 40 %» significa que queda el 40 %.

RELACIÓN ENTRE λ Y $T_{1/2}$

Deduce la relación entre la constante de desintegración y el periodo de semidesintegración.

Respuesta modelo

Por definición, en $t = T_{1/2}$ queda $N = N_0/2$. Llevándolo a la ley: $\frac{N_0}{2} = N_0\, e^{-\lambda T_{1/2}}$; simplificando N_0 y tomando logaritmos, $-\ln 2 = -\lambda T_{1/2}$, así que $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

Por qué puntúa. Lo han pedido así País Vasco (2026 ordinaria) y Andalucía (modelo 2027, con la actividad). La frase «por definición, queda la mitad» es la que justifica.

FRACCIONES CON PERIODOS

Una muestra se deja evolucionar durante tres periodos de semidesintegración. ¿Qué fracción de los núcleos queda y qué fracción se ha desintegrado?

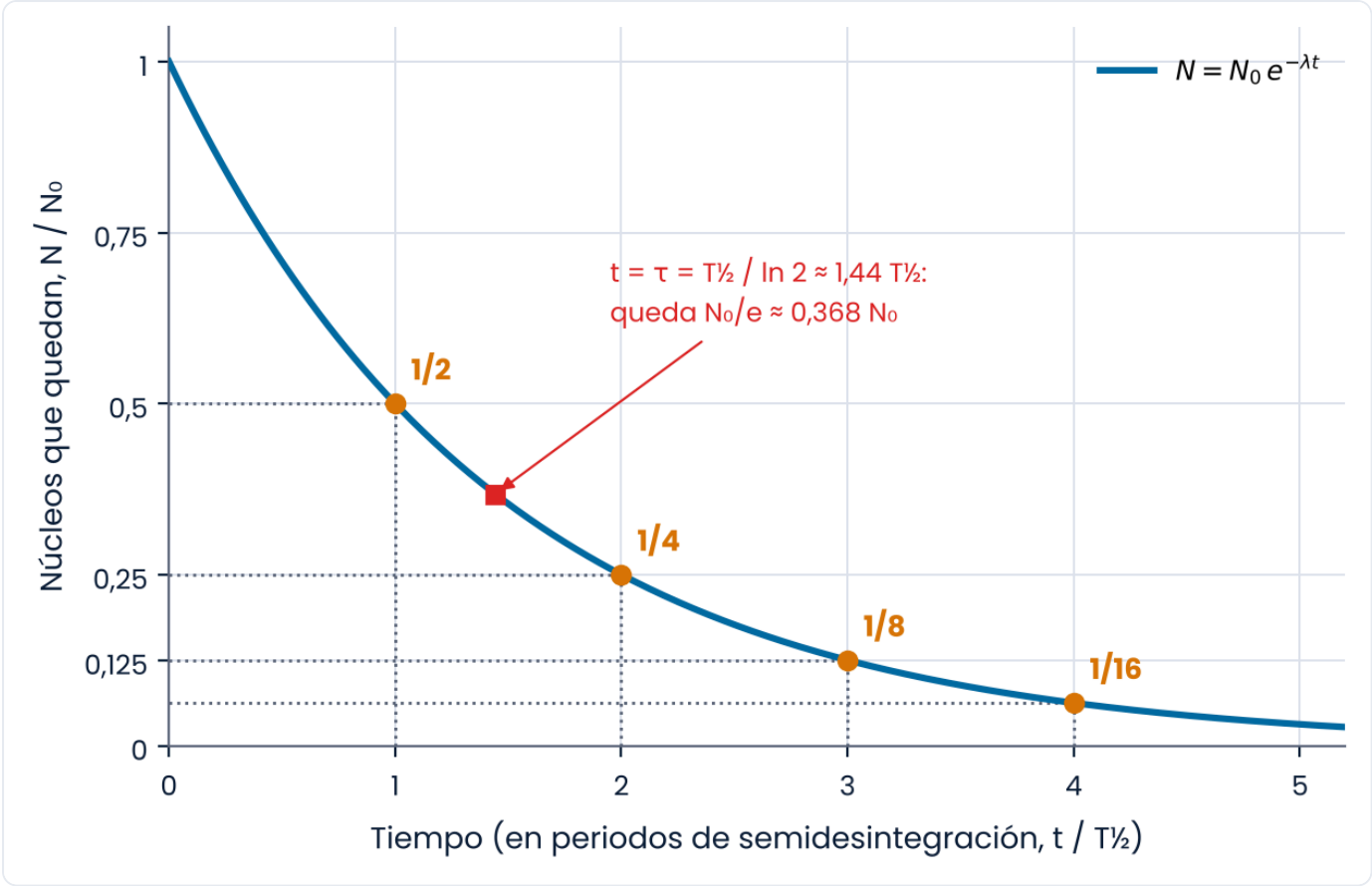
Respuesta modelo

Queda $N/N_0 = 1/2^3 = 1/8 = 12{,}5\ \%$. Se ha desintegrado $1 - 1/8 = 7/8 = 87{,}5\ \%$.

Por qué puntúa. Cuando el tiempo es un número entero de periodos, no necesitas logaritmos.

«Vida media» que en realidad es el periodo

Varios exámenes oficiales llaman «vida media» a un valor que es el periodo de semidesintegración: Canarias (2025 extraordinaria y modelos 2026 y 2027, U-235 con $7{,}038 \cdot 10^8$ años), Asturias (2026 extraordinaria, U-235), Cataluña (2026 ordinaria, Cs-137 con 30,17 años), Navarra (2025 extraordinaria, Tc-99m con 6 h) y Cantabria (2025 ordinaria, Ga-68 con 67,7 min). En el examen usa el dato con el nombre que le da el enunciado: Asturias resolvió así su solución oficial, Cantabria puntúa la mitad si tomas como periodo lo que el enunciado llama vida media y Cataluña aceptó las dos lecturas en el apartado 4.1. Puedes añadir una línea diciendo que el valor real corresponde al periodo. Las Orientacions de Cataluña para 2027 dicen que no se pedirá («No es demanarà») el tratamiento matemático para obtener la ley a partir de la vida media; Aragón, en cambio, pidió en la ordinaria de 2026 «Demuestra la ley de desintegración radiactiva».



Curva de desintegración. En cada periodo de semidesintegración queda la mitad de lo que había; al cabo de una vida media (τ ≈ 1,44 T½) queda el 36,8 %.

5 Actividad: becquerel, curio y cómo resolver un problema

La **actividad** A es el número de desintegraciones por unidad de tiempo. Es lo que mide un detector y lo que te dan casi siempre en los problemas con contexto médico o ambiental.

- $A = -\dfrac{dN}{dt} = \lambda N$, y como N decrece exponencialmente, $A = A_0\, e^{-\lambda t}$.
- **Unidades**: el **becquerel**, $1\ \text{Bq} = 1$ desintegración por segundo (SI). El **curio**, $1\ \text{Ci} = 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq (aproximadamente la actividad de un gramo de radio-226). En medicina se usan MBq y GBq.
- Para que $A = \lambda N$ salga en Bq, **λ tiene que estar en s^{-1}**: si el periodo te lo dan en días o años, pásalo a segundos. Para cocientes (N/N_0, A/A_0, m/m_0) vale cualquier unidad de tiempo, siempre la misma.
- **De la masa a los núcleos**: $N = \dfrac{m}{M}\, N_A$, con M la masa molar en g/mol (numéricamente igual a la masa atómica en u). Al revés: $m = \dfrac{N\, M}{N_A}$.
- **Energía liberada** en un intervalo: núcleos desintegrados por energía de cada desintegración, $E = (N_0 - N)\, E_1$. No uses $A \cdot t$ salvo que el tiempo sea muy corto comparado con el periodo (la actividad no es constante).

Pasa el dato que te den ($T_{1/2}$, τ, o dos medidas) a λ: $\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 1/\tau$.

↓

Unidades: λ en s^{-1} si hay becquerelios o núcleos; si solo hay cocientes, todo en días o en años.

↓

Si hay masa: $N = mN_A/M$ y $A = \lambda N$.

↓

Aplica $X = X_0\, e^{-\lambda t}$ a la magnitud que te den (N, m o A) y despeja: $t = \dfrac{1}{\lambda} \ln \dfrac{X_0}{X}$.

↓

Resultado con unidades y comprueba que tiene sentido: queda menos de lo que había y el tiempo es positivo.

POR QUÉ EL CURIO SE DEFINIÓ CON EL RADIO

Calcula la actividad de 1 g de $^{226}\mathrm{Ra}$ ($T_{1/2} = 1600$ años; $M = 226{,}03$ g/mol; $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$; 1 año = 365,25 días).

Respuesta modelo

$T_{1/2} = 1600 \cdot 365{,}25 \cdot 86\,400 = 5{,}049 \cdot 10^{10}$ s, así que $\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 1{,}373 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{s}^{-1}$. $N = \dfrac{1}{226{,}03} \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23} = 2{,}664 \cdot 10^{21}$ núcleos. $A = \lambda N = 3{,}66 \cdot 10^{10}$ Bq $\approx 0{,}99$ Ci.

Por qué puntúa. El curio nació como «la actividad de un gramo de radio»; hoy se define exactamente como $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.

Unidades y cifras: lo que se penaliza

Extremadura puntúa aparte el paso de λ al SI antes de calcular N (0,2–0,3 puntos en 2026). Cataluña quita 0,25 por uno o más errores de unidades en un problema y 0,10 si das resultados con 6 o más cifras significativas o con solo una. Canarias exige tres cifras significativas desde 2027. País Vasco da en su tabla 1 año = $3{,}16 \cdot 10^7$ s (en la extraordinaria de 2026 su solucionario usó $3{,}15 \cdot 10^7$ s: a dos cifras da lo mismo).

6 Datación radiactiva

Si sabes cuánto había al principio y cuánto queda, la ley de desintegración te da el tiempo transcurrido: $t = \dfrac{1}{\lambda} \ln \dfrac{N_0}{N} = \dfrac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \dfrac{A_0}{A}$.

- **Carbono-14**: se forma continuamente en la alta atmósfera cuando los neutrones de los rayos cósmicos chocan con el nitrógeno: $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}n \to {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$. Pasa a $\mathrm{CO_2}$, lo toman las plantas y, a través de ellas, los animales: **mientras un ser vive**, su proporción de $^{14}\mathrm{C}$ es la de la atmósfera.
- **Al morir** deja de incorporar carbono y el $^{14}\mathrm{C}$ se desintegra (β^-, a $^{14}\mathrm{N}$). Se compara la actividad **por gramo de carbono** de la muestra con la de un ser vivo actual: esa es la A_0.
- **Qué periodo usar**: casi todos los exámenes dan **5730 años**; Galicia y Navarra han usado **5570 años**, y el valor evaluado actual (IAEA) es 5700 ± 30 años. Usa siempre el del enunciado.
- **Hasta dónde sirve**: unos 50 000 años. Después queda menos del 0,3 % del $^{14}\mathrm{C}$ y no se mide bien. Para rocas se usan núclidos de periodo mucho más largo: $^{40}\mathrm{K}$ ($1{,}25 \cdot 10^9$ años), $^{238}\mathrm{U}$ ($4{,}47 \cdot 10^9$ años) o el $^{26}\mathrm{Al}$ (Madrid 2025 ordinaria). El método del carbono-14 lo desarrolló Willard Libby (premio Nobel de Química de 1960).
- Si la actividad de la muestra y la de referencia vienen en unidades distintas (una por hora y otra por día), **homogeneízalas** antes de dividir (Castilla y León, modelo).

DATACIÓN CON PERIODOS ENTEROS

Una madera tiene el 25 % de la actividad por gramo de una madera actual. ¿Qué antigüedad tiene? ($T_{1/2} = 5730$ años)

Respuesta modelo

$25\ \% = 1/4 = 1/2^2$: han pasado **dos periodos**, $t = 2 \cdot 5730 = 11\,460$ años.

Por qué puntúa. Antes de sacar la calculadora, mira si la fracción es una potencia de 1/2.

DATACIÓN CON LOGARITMOS

Un hueso tiene un tercio de la actividad por gramo de un hueso actual. ¿Qué edad tiene? ($T_{1/2} = 5730$ años)

Respuesta modelo

$t = \dfrac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \dfrac{A_0}{A} = \dfrac{5730}{\ln 2} \ln 3 = 9{,}08 \cdot 10^3$ años.

Por qué puntúa. Comprueba el orden de magnitud: un tercio está entre 1/2 y 1/4, así que la edad debe estar entre uno y dos periodos (entre 5730 y 11 460 años). Lo está.

7 Reacciones nucleares, fisión y fusión

En una reacción nuclear, un núcleo choca con una partícula (neutrón, protón, α…) o con otro núcleo y se transforma. La primera transmutación artificial la hizo Rutherford en 1919: $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$.

- **Se conservan**: el número de nucleones (suma de A), la carga (suma de Z), la energía total (contando la masa como energía), el momento lineal y el número leptónico. Notación: neutrón ${}^{1}_{0}n$, protón ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ o ${}^{1}_{1}p$, $\alpha = {}^{4}_{2}\mathrm{He}$, electrón ${}^{0}_{-1}e$, positrón ${}^{0}_{1}e$, deuterio ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$, tritio ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$.
- **Energía de la reacción**: $Q = \left(\sum m_{\text{reactivos}} - \sum m_{\text{productos}}\right) c^2$. Si $Q > 0$ se libera energía; si $Q < 0$ hay que aportarla. Por ejemplo, ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{0}n$ (con la que Irène Curie y Frédéric Joliot descubrieron en 1934 la radiactividad artificial) tiene $Q = -2{,}64$ MeV.
- **Fisión**: un núcleo pesado ($^{235}\mathrm{U}$, $^{239}\mathrm{Pu}$) absorbe un neutrón lento, se rompe en dos núcleos medianos y suelta 2 o 3 neutrones: ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}n$, con $Q = 173$ MeV (masas AME2020). Contando la energía que sueltan después los fragmentos al desintegrarse, cada fisión da **unos 200 MeV**. La descubrieron Hahn y Strassmann (diciembre de 1938) y la explicaron Meitner y Frisch (1939).
- **Reacción en cadena**: los neutrones de una fisión provocan otras. Si de media cada fisión provoca exactamente una nueva, la reacción se mantiene estable (**reactor** en funcionamiento normal); si provoca más, el número de fisiones crece exponencialmente: en una **bomba** se busca que crezca sin control en una fracción de segundo, con uranio o plutonio muy enriquecidos (el combustible de un reactor, poco enriquecido, no puede explotar como una bomba). Hace falta una **masa crítica** mínima de combustible. Un reactor tiene **combustible** (uranio enriquecido en $^{235}\mathrm{U}$), **moderador** (agua: frena los neutrones para que fisionen mejor), **barras de control** (absorben neutrones, por ejemplo con boro o cadmio) y un **refrigerante** que lleva el calor a una turbina y un alternador (Tema 11).
- **En España** funcionan 7 reactores en 5 centrales (Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Vandellós II y Trillo), con 7398,77 MW según el Ministerio para la Transición Ecológica; la nuclear dio el **19 %** de la electricidad generada en 2025 (Red Eléctrica). Los residuos radiactivos los gestiona Enresa.
- **Fusión**: dos núcleos ligeros se unen en uno más pesado: ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n$, con $Q = 17{,}6$ MeV. Para acercarlos hay que vencer la repulsión eléctrica: hace falta un gas ionizado (plasma) a más de cien millones de grados, confinado con campos magnéticos (tokamak).
- **El Sol** funde hidrógeno en helio (cadena protón-protón). El balance neto es $4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{0}_{1}e + 2\,\nu_e$, y libera 26,7 MeV por cada núcleo de helio (contando la aniquilación de los positrones).
- **ITER** (Cadarache, Francia) es el gran experimento internacional de fusión: su objetivo es $Q \geq 10$, es decir, 500 MW de potencia de fusión con 50 MW de calentamiento. En el calendario de 2024, la operación científica empieza en 2034 y la de deuterio-tritio, en 2039. La agencia europea que aporta la parte de la UE, **Fusion for Energy**, tiene su sede en **Barcelona**; el CIEMAT opera el stellarator TJ-II en Madrid, y en Granada se construye IFMIF-DONES, para probar materiales de los futuros reactores.

Fisión

núcleo pesado → dos medianos

- Rompe un núcleo pesado (^{235}U, ^{239}Pu) con un neutrón lento
- Unos 200 MeV por reacción (≈ 0,85 MeV por nucleón)
- Reacción en cadena: centrales nucleares actuales y bombas atómicas
- Deja residuos radiactivos de vida larga

Fusión

dos ligeros → uno más pesado

- Une núcleos ligeros (deuterio y tritio)
- 17,6 MeV por reacción (≈ 3,5 MeV por nucleón: más energía por kilogramo)
- Es la energía de las estrellas; en la Tierra aún es experimental (ITER)
- Necesita temperaturas enormes y confinamiento; el deuterio es abundante (está en el agua) y el tritio se obtiene del litio

ESTIMAR LA ENERGÍA DE FISIÓN CON LA CURVA

Usa la curva de energía de enlace por nucleón para estimar la energía de una fisión del $^{235}\mathrm{U}$.

Respuesta modelo

El $^{235}\mathrm{U}$ está a unos 7,6 MeV/nucleón y los fragmentos medianos, a unos 8,4–8,5 MeV/nucleón. Cada uno de los 236 nucleones gana unos 0,85 MeV: $236 \cdot 0{,}85 \approx 200$ MeV.

Por qué puntúa. Es la justificación cualitativa que pide Andalucía: la fisión libera energía porque los productos están en una zona más alta de la curva.

ENERGÍA POR KILOGRAMO

Compara la energía por kilogramo de combustible de la fisión del $^{235}\mathrm{U}$ (200 MeV por fisión), de la fusión D–T (17,6 MeV por reacción) y de la combustión del metano ($5{,}5 \cdot 10^{7}$ J/kg).

Respuesta modelo

Fisión: $\dfrac{200 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}}{235 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}} = 8{,}2 \cdot 10^{13}$ J/kg. Fusión: $\dfrac{17{,}6 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-13}}{5{,}03 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}} = 3{,}4 \cdot 10^{14}$ J/kg. La fisión da $1{,}5 \cdot 10^{6}$ veces más energía por kilogramo que el metano, y la fusión, unas cuatro veces más que la fisión.

Por qué puntúa. 5,03 u es la masa de un deuterio más un tritio. Las energías nucleares son del orden de MeV por núcleo; las químicas, de eV por molécula.

Lo que piden en fisión y fusión

Andalucía (orientaciones 2026-27): «comprensión de ambos tipos de reacciones nucleares y su justificación cualitativa a partir de la curva de estabilidad nuclear», con especial atención a la conservación de la masa-energía y del número de nucleones; los problemas «podrán incluir el ajuste de reacciones nucleares y/o balances masa-energía». En Aragón, el criterio de la extraordinaria de 2026 tenía un ejemplo cambiado: en las estrellas hay fusión y en las centrales nucleares actuales, fisión.

8 Aplicaciones y protección radiológica

Las radiaciones α, β, γ (y los rayos X) son **ionizantes**: arrancan electrones de los átomos que atraviesan. Por eso sirven para diagnosticar y curar, y por eso pueden dañar el ADN. En España las regula el Real Decreto 1029/2022 y vela por su seguridad el **Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)**.

- **Dosis absorbida** D: energía absorbida por unidad de masa. Unidad: el **gray**, $1\ \mathrm{Gy} = 1\ \mathrm{J/kg}$.
- **Dosis equivalente** $H = w_R\, D$: tiene en cuenta que no todas las radiaciones hacen el mismo daño. Según el anexo I del Real Decreto 1029/2022, $w_R = 1$ para fotones y electrones, 2 para protones y **20 para partículas alfa**. Unidad: el **sievert** (Sv), que también es J/kg.
- **Dosis efectiva** E: suma de las dosis equivalentes de cada órgano multiplicadas por su sensibilidad (w_T). Se mide en Sv y es en la que se dan los límites.
- **Límites del Real Decreto 1029/2022**: **20 mSv por año oficial** para los trabajadores expuestos (art. 11), **1 mSv por año oficial** para los miembros del público (art. 15) y 6 mSv para los estudiantes de 16 a 18 años que usan fuentes en sus estudios (art. 13). No incluyen el fondo natural ni las pruebas médicas que te hagan como paciente.
- **Principios** (art. 6): **justificación** (el beneficio debe compensar el daño), **optimización** (mantener las dosis individuales, la probabilidad de exposición y el número de personas expuestas «lo más bajos que sea razonablemente posible») y **limitación** de dosis. En la práctica: menos **tiempo**, más **distancia** (la intensidad de una fuente puntual baja con $1/r^2$) y **blindaje** (papel para α, aluminio o plástico para β, plomo u hormigón para γ).
- **Lo que recibe de media una persona en España** (CSN, *Dosis de radiación*, actualización 2025): radón, 1,15 mSv al año (la mayor fuente natural); radiación gamma del suelo y los materiales, 0,48; rayos cósmicos, 0,39;

alimentos, 0,29 (0,17 del ^{40}K); y usos médicos, 0,83 mSv (estimación de UNSCEAR para un país del nivel sanitario de España).

- **Radón**: el nivel de referencia es **300 Bq/m³** de promedio anual en viviendas, edificios públicos y lugares de trabajo (Real Decreto 1029/2022, art. 72). La media en las casas españolas es de 24 Bq/m³ (CSN). Se combate ventilando y sellando el suelo.
- **Irradiación y contaminación**: estar **irradiado** es haber recibido radiación de una fuente externa (con α, β o γ no te vuelves radiactivo); estar **contaminado** es tener material radiactivo encima o dentro del cuerpo.

Isótopo (periodo)	Emite	Para qué se usa
^{18}F (109,8 min)	β^+	PET: glucosa marcada que se acumula en los tumores; los dos fotones de la aniquilación se detectan en coincidencia
^{68}Ga (67,7 min)	β^+	PET de tumores neuroendocrinos y de próstata
^{99m}Tc (6,01 h)	γ de 140 keV	Gammagrafías (huesos, corazón, tiroides): la técnica más usada en medicina nuclear
^{131}I (8,03 días)	β^- y γ	Tratamiento del hipertiroidismo y del cáncer de tiroides
^{60}Co (5,27 años)	β^- y γ	Radioterapia (bomba de cobalto) y esterilización de material médico y de alimentos
^{14}C (5700 años)	β^-	Datación de restos orgánicos
^{241}Am (432,6 años)	α	Detectores de humo
^{238}Pu (87,7 años)	α	Generadores termoeléctricos de sondas espaciales (Voyager)

Periodos: IAEA, Live Chart of Nuclides (ENSDF). La radioterapia actual usa sobre todo aceleradores lineales de electrones y braquiterapia.

Becquerel no es sievert

El becquerel mide cuántas desintegraciones por segundo tiene la fuente. El gray y el sievert miden lo que le pasa a quien recibe la radiación: la energía absorbida y su efecto biológico.

9 Qué te piden en tu comunidad

La física nuclear sale en 53 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades, y ningún documento oficial la excluye entera: Andalucía y Cataluña dejan fuera partes concretas (mira su fila). Lo que cambia es el formato y la forma de corregir.

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Andalucía	En 7 de 9 exámenes (con las reservas): energía de enlace (^{3}He, ^{226}Ra, ^{4}He), ajuste de reacciones, α y β, C-14, Co-60. El modelo 2027 trae el I-131 en el ejercicio obligatorio.	Sin modelos nucleares; estabilidad cualitativa con la curva; los problemas de desintegración «se limitarán» a la ley, la actividad, la constante y el periodo; fisión y fusión con ajuste y balance masa-energía.
Aragón	Radiactividad (2025 ordinaria; en 2026 ordinaria, «demuestra la ley de desintegración»; 2026 extraordinaria, radioisótopo de hospital) y fisión y fusión (2026 extraordinaria, obligatoria).	Si el verbo es «demuestra» o «deduce», haz la deducción completa (integra dN/dt = -λN).
Asturias	Periodo a partir de dos medidas de actividad (2025 ordinaria), U-238 (2026 ordinaria), fisión del U-235 y completar reacciones (2026 extraordinaria).	Su ficha 2025-26 pide interpretar las gráficas (A - Z)/Z y de energía de enlace por nucleón para comparar estabilidades.
Illes Balears	C-14 (2025 ordinaria, obligatoria), desintegraciones en el plano N–Z, serie del U-238 y actividad (2026).	El formulario trae A = $A_0e^{(-\lambda t)}$, λ = ln 2/T½ y el periodo del C-14 (5730 años).
Canarias	En 4 de 4: energía de enlace de ^{3}H y ^{3}He, actividad del U-235, Cs-137 del polvo de calima, Pu-238 de la Voyager.	Llaman «vida media» al periodo del U-235 (2025 extraordinaria y modelos). Desde 2027, tres cifras significativas.

Comunidad	Cómo ha caído en 2025–2026	Lo que tienes que saber
Cantabria	Las ordinarias: Ga-68 en un laboratorio de radiofármacos (2025) y actividad que baja al 40 % (2026).	Confundir vida media y periodo puntúa la mitad; «desciende al 40 %» es A/A_0 = 0,4 (usar 0,6 es el error típico).
Castilla-La Mancha	Energía de enlace del Pb-208 (2025 extraordinaria), F-18 en PET (2026 ordinaria), datación con C-14 (2026 extraordinaria). Modelo 2027: E = mc² en el Sol.	La ecuación y el cálculo puntúan por separado.
Castilla y León	En las cuatro, en el bloque 4: Sr-90 (2025 ordinaria), Tc-99m y fisión del U-235 (2025 extraordinaria), datación de una roca con K-40 → Ar-40 (2026 ordinaria) y radiofármaco (2026 extraordinaria).	Su currículo cita las leyes de Soddy-Fajans. Errores leves (unidades, cifras): -0,1 cada uno, hasta un 20 % de la pregunta.
Cataluña	En las 6 pruebas de 2025–2026 (contando las dos de reserva), en el ejercicio 4: reacción β^- o serie del U-238 más actividad, siempre con contexto (I-131, Na-24, K-40 del cuerpo humano, Cs-137 de Chernóbil, radón, tritio de Fukushima).	Sin antineutrino, -0,25. Sus Orientacions 2027 dicen que no se pedirá deducir la ley desde la vida media ni la descripción técnica del detector Geiger-Müller.
Comunitat Valenciana	Po-218 (2025 ordinaria), I-131 (extraordinaria de julio de 2025), Tc-99m (2026 ordinaria); modelo con Ra-226.	Su documento de orientación pide interpretar la curva de energía de enlace por nucleón, explicar la reacción en cadena y la datación.
Extremadura	Pregunta 7: defecto de masa del P-31 (2025 extraordinaria) y actividad (2026, una con la gráfica N(t)).	Pasa λ al SI antes de calcular N. Si olvidas dividir por A en la energía por nucleón, como máximo la mitad del apartado.
Galicia	En 4 de 4, como problema a elegir de la pregunta 4: C-14, I-131, energía de enlace del C-14.	Te da la masa del electrón para pasar de masa atómica a nuclear. Planteamiento, 75 %; cálculo, 25 %.
La Rioja	En 4 de 4, siempre ley de desintegración: U-234, radio, Ra-226, C-14.	«No se pedirán demostraciones» (guía 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): problema directo de periodo, constante y porcentajes.
Madrid	En 5 de las 6 pruebas de 2025–2026 (contando los dos exámenes coincidentes): Al-26 (datación), Tc-99m, Ra-228, Rn-222, I-131.	Unidades del SI; nota por apartados en múltiplos de 0,1. Defecto de masa y reacciones no han caído en 2025–2026, pero están en su decreto.
Murcia	En 4 de 4: fusión $^2H + {}^3H$, I-123 y Tc-99m a partir de una tabla, I-131, energía de enlace del ^4He.	Sus especificaciones 2027 incluyen defecto de masa, energía de enlace por nucleón, fisión, fusión y radioterapia. A veces no dan c: sábetela.
Navarra	En 2025: C-14 (una momia) y Tc-99 (en realidad, el Tc-99m) con la radiación γ. En 2026 no ha caído.	Una ley mal identificada o mal aplicada deja la pregunta a 0.
País Vasco	En 2026, como opción D2: C-14 (ordinaria) y Pu-239 (extraordinaria).	Tabla de datos común con 1 año = $3{,}16 \cdot 10^7$ s; -0,1 por unidades y por redondeo.

10 Ejercicio resuelto: constante, periodo y átomos desintegrados del radón-222 (Madrid 2026)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 4.A (BLOQUE DE FÍSICA RELATIVISTA, CUÁNTICA, NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS; A ELEGIR ENTRE 4.A Y 4.B; 2,5 PUNTOS)

El radón (Rn) es un gas que aparece en las cadenas radiactivas naturales. En España, se calcula que entre 1500 y 2000 cánceres de pulmón al año son debidos a la desintegración del isótopo $^{222}\mathrm{Rn}$ acumulado en el interior de las casas, sobre todo en sótanos y edificios poco ventilados. Datos: Número de Avogadro, $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$; masa atómica del radón 222, $M_{Rn} = 222$ u.

a) Sabiendo que la cantidad de átomos del $^{222}\mathrm{Rn}$ disminuye en un 16,6 % en un día, calcule la constante de desintegración del $^{222}\mathrm{Rn}$ y su periodo de semidesintegración. (1 punto)

b) Si disponemos inicialmente de 1 mg de $^{222}\mathrm{Rn}$, ¿cuántos átomos se desintegrarán en nueve días? (1,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** te dan qué fracción desaparece en un tiempo conocido. Con la ley de desintegración sacas λ y, con λ, el periodo.
2. Ojo con la lectura: «disminuye en un 16,6 %» quiere decir que **queda** el $100 - 16{,}6 = 83{,}4\ \%$: $N/N_0 = 0{,}834$ al cabo de $t = 1$ día $= 86\,400$ s.
3. $N = N_0\, e^{-\lambda t} \Rightarrow \lambda = -\dfrac{\ln(N/N_0)}{t} = -\dfrac{\ln 0{,}834}{86\,400\ \text{s}} = 2{,}10 \cdot 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$.
4. Periodo: $T_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda} = \dfrac{0{,}693}{2{,}10 \cdot 10^{-6}\ \text{s}^{-1}} = 3{,}30 \cdot 10^{5}$ s, que son $3{,}30 \cdot 10^{5}/86\,400 = 3{,}82$ días.

SOLUCIÓN $\lambda = 2{,}10 \cdot 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$ y $T_{1/2} = 3{,}30 \cdot 10^{5}$ s $= 3{,}82$ días. Coincide con el valor tabulado del radón-222 (3,82 días, IAEA): por eso se acumula en casa unos días antes de desintegrarse.

Apartado b)

1. **La idea:** pasa la masa a número de átomos y calcula cuántos **faltan** al cabo de 9 días (los desintegrados), no cuántos quedan.
2. Átomos iniciales (la masa atómica 222 u equivale a una masa molar de 222 g/mol): $N_0 = \dfrac{m}{M} N_A = \dfrac{1 \cdot 10^{-3}\ \text{g}}{222\ \text{g/mol}} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1} = 2{,}71 \cdot 10^{18}$ átomos.
3. Fracción que queda a los 9 días. Como cada día queda el 83,4 % de lo del día anterior, $N/N_0 = 0{,}834^{9} = 0{,}195$ (es lo mismo que $e^{-\lambda t}$ con $t = 9 \cdot 86\,400$ s).
4. Desintegrados: $\Delta N = N_0 - N = N_0\,(1 - e^{-\lambda t}) = 2{,}71 \cdot 10^{18} \cdot (1 - 0{,}195) = 2{,}18 \cdot 10^{18}$ átomos.
5. **Comparación con la solución oficial:** da $2{,}19 \cdot 10^{18}$ porque redondea antes N_0 a $2{,}72 \cdot 10^{18}$ (es $2{,}7117 \cdot 10^{18}$) y λ a $2{,}1 \cdot 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$. A dos cifras, las dos son $2{,}2 \cdot 10^{18}$: si arrastras los decimales, te sale 2,18.

SOLUCIÓN Se desintegran $\Delta N = 2{,}18 \cdot 10^{18}$ átomos de ^{222}Rn en nueve días, el 80 % de los que había: en algo más de dos periodos queda menos de una quinta parte.

Lo que puntúa. Los criterios de Madrid no dan reparto por pasos: cada pregunta vale 2,5 puntos, con la nota de cada apartado «desglosada en múltiplos de 0,1 puntos», y se valora «la identificación de los principios y leyes físicas involucradas», «la inclusión de pasos detallados» y «el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional». La solución oficial (un «documento de trabajo orientativo») escribe la ley $N = N_0 e^{-\lambda t}$ con $N/N_0 = 1 - 0{,}166$, saca $\lambda = 2{,}1 \cdot 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$ y $T_{1/2} = 3{,}82$ días, y en b) calcula $N_0 = N_A m / M_{Rn}$ y $\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$.

Error típico que te quita puntos. Poner $N/N_0 = 0{,}166$ (lo que se va) en lugar de 0,834 (lo que queda): sale $\lambda = 2{,}08 \cdot 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$, diez veces mayor. En b), dar los átomos que **quedan** ($5{,}3 \cdot 10^{17}$) en vez de los que se desintegran, o mezclar días y segundos en el exponente.

11 Ejercicio resuelto: desintegración β⁻ del yodo-131 y actividad de una pastilla (Cataluña 2025)

PAU CATALUÑA 2025 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · EJERCICIO 4 (OBLIGATORIO; 2,5 PUNTOS; VERSIÓN EN CASTELLANO PUBLICADA POR LA COMISIÓN)

El isótopo de yodo 131 ($Z = 53$) se utiliza en radioterapia para tratar determinadas enfermedades de la tiroides, especialmente el hipertiroidismo y el cáncer de tiroides. Este isótopo se desintegra y da lugar al xenón 131 estable ($Z = 54$). [Figura: cuadrícula en blanco con el eje horizontal «Tiempo (días)» de 0 a 7.] Datos: Número de Avogadro: $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$. $m(^{131}\text{I}) = 131$ g/mol. El periodo de semidesintegración del yodo 131 es de 8,02 días.

a) Escriba la reacción de desintegración de este isótopo. Complete la reacción nuclear con todas las partículas que intervienen en la reacción y justifique la respuesta. ¿De qué tipo de desintegración se trata? (1,25 puntos)

b) Si a un paciente se le suministra una pastilla de I-131 con una actividad de $40{,}0 \times 10^6$ Bq, ¿qué masa de yodo 131 contiene esta pastilla? ¿Qué actividad tendrá el I-131 al cabo de una semana? Represente en la cuadrícula de abajo la evolución de la actividad durante esta semana en función del tiempo en días. La curva debe tener como mínimo tres puntos calculados. (1,25 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** el número másico no cambia (131 → 131) y el atómico sube uno (53 → 54): eso solo lo hace una desintegración β^-, en la que un neutrón del núcleo se convierte en protón.
2. Planteamos ${}^{131}_{53}\mathrm{I} \to {}^{131}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{x}_{y}?$. Conservación del número de nucleones: $131 = 131 + x \Rightarrow x = 0$. Conservación de la carga: $53 = 54 + y \Rightarrow y = -1$. La partícula es un electrón, ${}^{0}_{-1}e$.
3. Para que se conserven la energía y el momento (el electrón sale con un espectro continuo de energías) y el número leptónico, tiene que salir también un **antineutrino electrónico** $\bar{\nu}_e$.
4. Reacción completa:

$$ {}^{131}_{53}\mathrm{I} \to {}^{131}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e $$

   En el núcleo ha ocurrido $n \to p + e^- + \bar{\nu}_e$.

SOLUCIÓN ${}^{131}_{53}\mathrm{I} \to {}^{131}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e$: desintegración β^-.

Apartado b)

1. **La idea:** de la actividad sacas el número de núcleos con $A = \lambda N$ (con λ en s^{-1}, porque A está en Bq), y de los núcleos, la masa. Después aplicas $A = A_0 e^{-\lambda t}$.
2. $T_{1/2} = 8{,}02$ días $= 8{,}02 \cdot 86\,400$ s $= 6{,}93 \cdot 10^5$ s, y $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T_{1/2}} = 1{,}00 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{s}^{-1}$.
3. Núcleos: $N = \dfrac{A}{\lambda} = \dfrac{40{,}0 \cdot 10^6\ \mathrm{Bq}}{1{,}00 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{s}^{-1}} = 4{,}00 \cdot 10^{13}$ núcleos.
4. Masa: $m = \dfrac{N\,M}{N_A} = \dfrac{4{,}00 \cdot 10^{13} \cdot 131\ \mathrm{g/mol}}{6{,}022 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}} = 8{,}70 \cdot 10^{-9}$ g (unos 9 nanogramos: la actividad de un fármaco radiactivo corresponde a una masa diminuta).
5. Al cabo de una semana, $t = 7$ días: $A = A_0\, e^{-\lambda t} = 40{,}0 \cdot 10^6 \cdot e^{-\ln 2 \cdot 7/8{,}02} = 40{,}0 \cdot 10^6 \cdot 0{,}546 = 2{,}18 \cdot 10^7$ Bq (aquí λt es adimensional, así que puedes poner los dos tiempos en días).
6. Para la gráfica, calcula $A(t) = 40{,}0 \cdot 2^{-t/8{,}02}$ MBq con t en días: $t = 0$: 40,0 MBq; $t = 1$: 36,7; $t = 2$: 33,7; $t = 3$: 30,9; $t = 4$: 28,3; $t = 5$: 26,0; $t = 6$: 23,8; $t = 7$: 21,8 MBq. Ejes con nombre y unidades («Actividad (MBq)» y «Tiempo (días)»), escala vertical de 0 a 40 MBq y una curva suave que baja cada vez más despacio (en una semana, menos de un periodo, parece casi recta).

SOLUCIÓN La pastilla contiene $m = 8{,}70 \cdot 10^{-9}$ g de ${}^{131}\mathrm{I}$; a la semana su actividad es $2{,}18 \cdot 10^7$ Bq, algo más de la mitad de la inicial (ha pasado menos de un periodo).

Lo que puntúa. Pauta oficial (traducida del catalán): en a), 1,0 punto por la reacción conservando el número másico y la carga, con el antineutrino («Si no se indica el antineutrino, hay que restar 0,25 p.»; vale escribir ${}^{0}_{-1}\beta$ o e^-; «No hace falta que el estudiante detalle las operaciones relacionadas con la conservación de la carga y del número másico») y 0,25 por decir que es una β^-. En b), 0,5 por la masa ($8{,}70 \cdot 10^{-9}$ g), 0,25 por la actividad a la semana ($2{,}18 \cdot 10^7$ Bq) y 0,5 por la «representación gráfica correctamente escalada, con títulos y unidades». Criterio general: uno o más errores de unidades en un problema, -0,25.

Error típico que te quita puntos. Olvidar el antineutrino o poner un neutrino (-0,25). En b), calcular λ en días^{-1} ($0{,}0864\ \mathrm{d}^{-1}$) y dividir la actividad en Bq entre él: el número de núcleos sale 86 400 veces menor. Y en la gráfica, ejes sin unidades o puntos sin calcular.

12 Ejercicio resuelto: desintegración y energía de enlace del carbono-14 (Galicia 2025)

PAU GALICIA 2025 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 4.2.1 (PROBLEMA A ELEGIR ENTRE 4.2.1 Y 4.2.2; 1,5 PUNTOS)

El ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ es un emisor beta (−) cuyos átomos tienen una masa de 14,0032 u. DATOS: $c = 3 \times 10^{8}\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$; $m_p = 1{,}0073$ u; $m_n = 1{,}0087$ u; $m_e = 5{,}5 \cdot 10^{-4}$ u; $1\ \mathrm{u} = 931{,}5\ \mathrm{MeV{\cdot}}c^{-2}$.

a) Determine los números atómico y másico del átomo resultante del decaimiento del ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$. (0,75 puntos)

b) Calcule la energía de enlace del núcleo de ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$. (0,75 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** en una desintegración β^- un neutrón pasa a protón: A no cambia y Z sube una unidad. Lo justificas con las leyes de conservación.
2. ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e$. Nucleones: $14 = A + 0 \Rightarrow A = 14$. Carga: $6 = Z + (-1) \Rightarrow Z = 7$.
3. $Z = 7$ es el nitrógeno: ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e$.

SOLUCIÓN El átomo resultante tiene $Z = 7$ y $A = 14$: es nitrógeno-14, ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$.

Apartado b)

1. **La idea:** la energía de enlace es el defecto de masa por c^2. Te dan la masa del **átomo**, que incluye 6 electrones: hay que quitarlos para tener la masa del **núcleo** (por eso dan m_e).
2. Masa del núcleo: $m_{\text{núcleo}} = m_{\text{átomo}} - 6\,m_e = 14{,}0032 - 6 \cdot 0{,}00055 = 13{,}9999$ u.
3. Defecto de masa (6 protones y $14 - 6 = 8$ neutrones): $\Delta m = 6\,m_p + 8\,m_n - m_{\text{núcleo}} = 6 \cdot 1{,}0073 + 8 \cdot 1{,}0087 - 13{,}9999 = 0{,}1135$ u.
4. Energía de enlace: $E_e = \Delta m\,c^2 = 0{,}1135\ \mathrm{u} \cdot 931{,}5\ \mathrm{MeV/u} = 105{,}7$ MeV (que es 7,55 MeV por nucleón).
5. **Por qué no sale exactamente el valor de las tablas:** con las masas de la AME2020 la energía de enlace del ${}^{14}\mathrm{C}$ es 105,28 MeV. La diferencia (0,4 %) viene de los datos redondeados a cuatro decimales: Δm es la resta de dos números muy parecidos (14,1134 - 13,9999) y amplifica el redondeo. Con los datos del examen, el resultado correcto es 105,7 MeV.

SOLUCIÓN $E_e = 105{,}7$ MeV ($1{,}69 \cdot 10^{-11}$ J): la energía que habría que dar al núcleo de carbono-14 para separarlo en sus 14 nucleones.

Lo que puntúa. Criterios oficiales: «Por la determinación de los números atómico y másico: hasta 0,75 puntos» y «Por el cálculo de la energía de enlace: hasta 0,75 puntos». La solución oficial (en gallego) escribe la reacción con el electrón, saca $A = 14$ y $Z = 7$ por conservación y calcula $\Delta m = 6\,m_p + 8\,m_n + 6\,m_e - m_{^{14}\mathrm{C}} = 0{,}1135$ u y $E = 105{,}73$ MeV, que es lo mismo que restar los electrones a la masa atómica. Criterios generales de Galicia (traducidos del gallego): en los problemas numéricos se valora «la formulación un 75 % y la resolución numérica un 25 %», y la falta o el error de unidades es un error leve (-0,25).

Error típico que te quita puntos. No restar los electrones: con $\Delta m = 6\,m_p + 8\,m_n - 14{,}0032$ sale 0,1102 u y 102,7 MeV, un 3 % menos. El otro error típico es quedarse en el defecto de masa sin multiplicar por 931,5 (o por c^2 con la masa en kg).

Conceptos clave

Número másico

Número de nucleones (protones más neutrones) del núcleo: $A = Z + N$.

Isótopos

Núclidos del mismo elemento (mismo Z) con distinto número de neutrones y, por tanto, distinto A.

Unidad de masa atómica

La doceava parte de la masa de un átomo de carbono-12: $1\ \mathrm{u} = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg, equivalente a 931,494 MeV.

Fuerza nuclear fuerte

La interacción que une los nucleones: la más intensa, de alcance de unos pocos femtómetros, atractiva entre cualquier par de nucleones (repulsiva solo a distancias mucho menores que 1 fm) e independiente de la carga.

Defecto de masa

Diferencia entre la suma de las masas de los nucleones por separado y la masa del núcleo: $\Delta m = Z m_p + N m_n - m_{\text{núcleo}}$.

Energía de enlace

Energía que se libera al formarse un núcleo a partir de sus nucleones, o que hay que darle para separarlos: $E_e = \Delta m\, c^2$.

Energía de enlace por nucleón

Energía de enlace dividida entre A. Mide la estabilidad del núcleo; es máxima (unos 8,8 MeV) hacia A ≈ 56–62.

Desintegración alfa

Emisión de un núcleo de helio-4: A baja 4 y Z baja 2.

Desintegración beta menos

Un neutrón del núcleo se convierte en protón y se emiten un electrón y un antineutrino: A no cambia y Z sube 1.

Desintegración beta más

Un protón del núcleo se convierte en neutrón y se emiten un positrón y un neutrino: A no cambia y Z baja 1.

Radiación gamma

Fotón de alta energía que emite un núcleo al pasar de un estado excitado a otro de menos energía; no cambia ni A ni Z.

Constante de desintegración

Probabilidad por unidad de tiempo de que un núcleo se desintegre (λ, en s^{-1}). Es propia de cada núclido.

Periodo de semidesintegración

Tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de los núcleos de una muestra: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.

Vida media

Tiempo medio que vive un núcleo antes de desintegrarse: $\tau = 1/\lambda = T_{1/2} / \ln 2$. Es mayor que el periodo.

Actividad

Número de desintegraciones por unidad de tiempo: $A = \lambda N$. Se mide en becquerelios (1 Bq = 1 desintegración por segundo); 1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq.

Fisión nuclear

Ruptura de un núcleo pesado, provocada por un neutrón, en dos núcleos medianos y varios neutrones, con liberación de unos 200 MeV.

Fusión nuclear

Unión de dos núcleos ligeros en uno más pesado, con liberación de energía (17,6 MeV en la del deuterio con el tritio). Es la fuente de energía de las estrellas.

Reacción en cadena

Sucesión de fisiones en la que los neutrones de cada una provocan otras. Controlada en los reactores; sin control, en las bombas.

Sievert

Unidad de dosis equivalente y efectiva (J/kg ponderado por el tipo de radiación y el órgano). Mide el efecto biológico de la radiación.

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

λ en s⁻¹

Si hay becquerelios o núcleos, **λ en s^{-1}**: pasa días y años a segundos. Con cocientes (A/A_0, m/m_0), cualquier unidad de tiempo, la misma en todo.

Periodo ≠ vida media

$T_{1/2} = \ln 2/\lambda$ y $\tau = 1/\lambda$. Si el enunciado llama vida media a un periodo, **usa el dato como lo nombra** (y dilo en una línea).

A y Z

En toda reacción, **la suma de A y la suma de Z son iguales a los dos lados**. Escríbelo. En la β^- va un **antineutrino**; en la β^+, un neutrino.

Masa → núcleos

$N = m\,N_A/M$ y $A = \lambda N$. La masa atómica en u es la masa molar en g/mol.

Estabilidad

Se compara con la **energía de enlace por nucleón**, no con la total. Más E_e/A, más estable.

Masas atómicas

Si te dan masas atómicas, usa $m(^1\mathrm{H})$ o resta los electrones ($Z\,m_e$). Si el examen da otros datos, **úsalos tal cual**.

Qué queda y qué se va

«Disminuye un 16,6 %» → queda 0,834. «Desciende al 40 %» → queda 0,40. Los **desintegrados** son $N_0 - N$.

Cómo te lo pueden preguntar

- Ley de desintegración: constante de desintegración, periodo de semidesintegración y vida media, núcleos, masa o actividad que quedan, tiempo para llegar a un valor, datación con carbono-14 u otro isótopo, casi siempre con contexto médico o ambiental: sale en 46 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades.
- Reacciones nucleares: completar o ajustar reacciones (A y Z), identificar emisiones α, β^- y β^+, series radiactivas: sale en 14 de las 68 convocatorias, en 8 comunidades.
- Defecto de masa, energía de enlace y por nucleón, comparación de estabilidades, energía liberada en una fisión o una fusión: sale en 11 de las 68 convocatorias, en 8 comunidades.
- Aplicaciones y naturaleza de las radiaciones (qué es la radiación γ y su uso en medicina, ejemplos de fisión y de fusión): sale en 2 de las 68 convocatorias, en 2 comunidades, y casi siempre como contexto de un problema de desintegración.

No lo confundas

- **Periodo de semidesintegración con vida media:** $T_{1/2} = \ln 2/\lambda$ es el tiempo en que queda la mitad; $\tau = 1/\lambda$ es la vida media de un núcleo, y es 1,44 veces mayor.
- **Actividad con número de núcleos:** la actividad son desintegraciones por segundo (Bq); los núcleos son los que quedan sin desintegrar. A = λN.
- **Lo que queda con lo que se ha desintegrado:** si queda el 30 %, se ha desintegrado el 70 %.
- **Masa atómica con masa nuclear:** la atómica incluye los Z electrones. Para la energía de enlace, réstalos o usa la masa del átomo de hidrógeno.
- **Energía de enlace con energía de enlace por nucleón:** la estabilidad se mide con la segunda.
- **Fisión con fusión:** la fisión rompe núcleos pesados; la fusión une ligeros. Las estrellas funcionan con fusión y las centrales nucleares actuales, con fisión.
- **β^- con β^+:** en la β^- sale un electrón y un antineutrino y Z sube; en la β^+, un positrón y un neutrino y Z baja.
- **Becquerel con sievert:** el becquerel mide la fuente (desintegraciones por segundo); el sievert, el efecto en la persona.
- **Irradiación con contaminación:** recibir radiación de una fuente externa no te vuelve radiactivo; tener material radiactivo encima o dentro, sí.

Ponte a prueba

PAU País Vasco 2026 (ordinaria), Bloque D, problema D2 (a elegir entre D1 y D2; 2,5 puntos). Diez gramos de unos restos óseos contienen actualmente $9{,}5 \times 10^8$ átomos de carbono-14 por gramo. Se sabe que, en el momento de la muerte del animal del que proceden esos huesos, la proporción isotópica era la del carbono atmosférico, es decir, había $6{,}9 \times 10^9$ átomos de C-14 por gramo. a) (1,00 punto) 1. Escribe la expresión para la ley de desintegración exponencial radiactiva y explica el significado físico de cada magnitud. (0,25 puntos) 2. Haz una representación gráfica cualitativa de la ley; esto es, dibuja la curva e indica en la figura las magnitudes y sus correspondientes unidades. (0,25 puntos) 3. Deduce la relación entre la constante de desintegración λ y el periodo de semidesintegración $t_{1/2}$. (0,25 puntos) 4. Calcula la constante de desintegración λ del C-14, sabiendo que $t_{1/2}(\text{C-14}) = 5730$ años. (0,25 puntos) b) (0,50 puntos) 1. Calcula el número total de átomos de C-14 que contiene actualmente la muestra de 10 g. (0,25 puntos) 2. Calcula el número total de átomos de C-14 que contenía la misma muestra en el momento de la muerte. (0,25 puntos) c) Estima la antigüedad de los restos óseos. (1,00 punto) 1. Plantea la ecuación de desintegración con los datos del problema. (0,25 puntos) 2. Resuelve simbólicamente para obtener la expresión del tiempo t. (0,50 puntos) 3. Calcula el resultado numérico, y exprésalo en años. (0,25 puntos)

Solución: a) $N(t) = N_0\, e^{-\lambda t}$: N_0, núcleos de C-14 en el momento de la muerte; N, los que quedan al cabo de un tiempo t; λ, constante de desintegración (probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, en s^{-1} o año^{-1}). La gráfica es una exponencial decreciente que empieza en N_0 para $t = 0$ (eje vertical: N, en núcleos; eje horizontal: t, en años) y pasa por $N_0/2$ en $t_{1/2}$. Con $N = N_0/2$ en $t = t_{1/2}$: $\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$. $\lambda = \ln 2 / 5730 = 1{,}21 \cdot 10^{-4}\ \text{año}^{-1}$ ($3{,}83 \cdot 10^{-12}\ \text{s}^{-1}$ con 1 año = $3{,}16 \cdot 10^7$ s). b) Ahora: $N = 9{,}5 \cdot 10^8 \cdot 10 = 9{,}5 \cdot 10^9$ átomos; al morir: $N_0 = 6{,}9 \cdot 10^9 \cdot 10 = 6{,}9 \cdot 10^{10}$ átomos. c) $\ln(N/N_0) = -\lambda t \Rightarrow t = \dfrac{1}{\lambda} \ln \dfrac{N_0}{N} = \dfrac{\ln(6{,}9 \cdot 10^{10} / 9{,}5 \cdot 10^9)}{1{,}21 \cdot 10^{-4}\ \text{año}^{-1}} = 1{,}64 \cdot 10^4$ años. El solucionario oficial da «≈ 16360 años» y acepta «≈ 16400 años»; con su propio $\lambda = 1{,}21 \cdot 10^{-4}\ \text{año}^{-1}$ salen 16 387 años (el 16 360 es un pequeño desliz de cálculo) y con λ sin redondear, 16 390 años, así que $1{,}64 \cdot 10^4$ años es la respuesta.

PAU Castilla y León 2025 (extraordinaria), Bloque 4, Opción B, pregunta 9 (a elegir entre las opciones A y B del bloque; 2 puntos). Considere la siguiente reacción de fisión: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{89}_{36}\text{Kr} + {}^{144}_{56}\text{Ba} + 3\,{}^{1}_{0}n$. a) Calcule la energía liberada en el proceso. Exprese el resultado en MeV. (1 punto) b) Durante un partido de fútbol se estima que el consumo de energía es próximo a 25000 kW·h. Calcule la cantidad de U expresada en gramos que sería necesaria para suministrar esta energía. (1 punto) Datos: $m_U = 235{,}043931$ u; $m_{Kr} = 88{,}917835$ u; $m_{Ba} = 143{,}922955$ u; $m_n = 1{,}008665$ u. (De la tabla de constantes del examen: $c_0 = 3{,}00 \cdot 10^8\ \text{m s}^{-1}$; 1 u = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg; 1 eV = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J; $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$.)

Solución: a) Las masas son atómicas, pero los electrones se cancelan (92 a la izquierda, 36 + 56 = 92 a la derecha). $\Delta m = (235{,}043931 + 1{,}008665) - (88{,}917835 + 143{,}922955 + 3 \cdot 1{,}008665) = 0{,}185811$ u $= 0{,}185811 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 3{,}08 \cdot 10^{-28}$ kg. $E = \Delta m\, c^2 = 2{,}78 \cdot 10^{-11}$ J $= 2{,}78 \cdot 10^{-11} / 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 1{,}74 \cdot 10^8$ eV $= 174$ MeV por fisión (con 1 u = 931,5 MeV, 173 MeV). b) $E_{\text{total}} = 25\,000\ \text{kW·h} \cdot 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J/(kW·h)} = 9{,}0 \cdot 10^{10}$ J. Fisiones: $9{,}0 \cdot 10^{10} / 2{,}78 \cdot 10^{-11} = 3{,}24 \cdot 10^{21}$, que son $3{,}24 \cdot 10^{21} / 6{,}022 \cdot 10^{23} = 5{,}38 \cdot 10^{-3}$ mol de ${}^{235}\text{U}$; masa: $5{,}38 \cdot 10^{-3} \cdot 235{,}04 = 1{,}27$ g. Algo más de un gramo de uranio-235 da la electricidad de un partido entero.

PAU Andalucía 2026 (extraordinaria), Ejercicio D, apartado b1 (a elegir entre b1 y b2; 1,5 puntos). En 1952 Estados Unidos detonó la primera bomba de hidrógeno de la historia en una remota isla del Pacífico. En dicha detonación se forma helio $^4_2\mathrm{He}$ a partir de deuterio $^2_1\mathrm{H}$ y tritio $^3_1\mathrm{H}$. i) (0,5 puntos) Deduzca razonadamente la reacción nuclear que tiene lugar en dicho proceso. ii) (0,75 puntos) Calcule la energía liberada al formarse un núcleo de helio. iii) (0,25 puntos) Calcule la energía de enlace por nucleón para el $^4_2\mathrm{He}$. $c = 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m\ s^{-1}}$; $m(^4_2\mathrm{He}) = 4{,}002603$ u; $m(^3_1\mathrm{H}) = 3{,}016049$ u; $m(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}014102$ u; $m_n = 1{,}008665$ u; $m_p = 1{,}007276$ u; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Solución: i) $^2_1\mathrm{H} + {}^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^A_Z X$. Nucleones: $2 + 3 = 4 + A \Rightarrow A = 1$; carga: $1 + 1 = 2 + Z \Rightarrow Z = 0$: X es un neutrón. $^2_1\mathrm{H} + {}^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0 n$ (fusión). ii) $\Delta m = 2{,}014102 + 3{,}016049 - 4{,}002603 - 1{,}008665 = 0{,}018883$ u $= 3{,}13 \cdot 10^{-29}$ kg; $E = \Delta m\, c^2 = 2{,}82 \cdot 10^{-12}$ J por núcleo de helio (17,6 MeV). Aquí no hay problema con los electrones: hay dos a cada lado. iii) Con los datos del examen: $\Delta m = 2\, m_p + 2\, m_n - m(^4\mathrm{He}) = 0{,}029279$ u $\Rightarrow E_e = 4{,}37 \cdot 10^{-12}$ J y $E_e/A = 1{,}09 \cdot 10^{-12}$ J/nucleón (6,83 MeV/nucleón). **Matiz:** 4,002603 u es la masa del **átomo** de helio; combinándola con la masa del protón se cuelan dos electrones. Lo correcto sería usar la masa del átomo de hidrógeno (1,007825 u, que el examen no da): 7,07 MeV/nucleón. Con los datos del examen, lo que se corrige es 6,83 MeV/nucleón; si quieres, añade una línea con el matiz.

Fuentes

1. Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, enseñanzas mínimas del Bachillerato (Física, bloque D: «Núcleos atómicos y estabilidad de isótopos. Radiactividad natural y otros procesos nucleares»)
2. Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (arts. 6, 11, 13, 15 y 72; anexo I)
3. Consejo de Seguridad Nuclear: «Dosis de radiación» (SDB-04.07, actualización 2025)
4. IAEA, Atomic Mass Data Center: evaluación de masas atómicas AME2020 (masas y energías de enlace usadas en las tablas, la curva y los ejemplos)
5. IAEA, Live Chart of Nuclides (periodos de semidesintegración y núclidos estables)
6. NIST, valores CODATA de las constantes físicas fundamentales (u, masas del protón, del neutrón y del electrón)
7. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: centrales nucleares en España
8. Red Eléctrica: nota de prensa del Informe del Sistema Eléctrico 2025 (11-3-2026)
9. ITER Organization: resumen de la rueda de prensa sobre el nuevo calendario (julio de 2024)
10. Andalucía: Directrices y orientaciones generales PAU, Física, curso 2026-27
11. Cataluña: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
12. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física (PAU) 2026-27
13. Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027
14. PAU Comunidad de Madrid 2026, extraordinaria: examen, criterios y soluciones de Física
15. PAU Cataluña 2025, extraordinaria: examen de Física (castellano)
16. PAU Cataluña 2025, extraordinaria: criterios de corrección de Física (catalán)
17. PAU Galicia 2025, extraordinaria: examen de Física
18. PAU Galicia 2025, extraordinaria: criterios específicos de evaluación de Física (castellano)
19. PAU Galicia 2025, extraordinaria: criterios y soluciones de Física (gallego; las soluciones solo se publican en gallego)
20. PAU País Vasco 2026, ordinaria: examen de Física
21. PAU País Vasco 2026, ordinaria: solucionario y criterios de Física
22. PAU Castilla y León 2025, extraordinaria: examen de Física
23. PAU Andalucía 2026, extraordinaria: examen de Física

Imágenes: Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib).

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 1 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.