

**CHERNOBYL:
LA SERIE EXPLICADA**

Charla a cargo del ingeniero
nuclear Germán Theler.
Dirigida a estudiantes
de escuelas secundarias

VIE 11/10 - 09:30
Museo Municipal Usina
del Pueblo

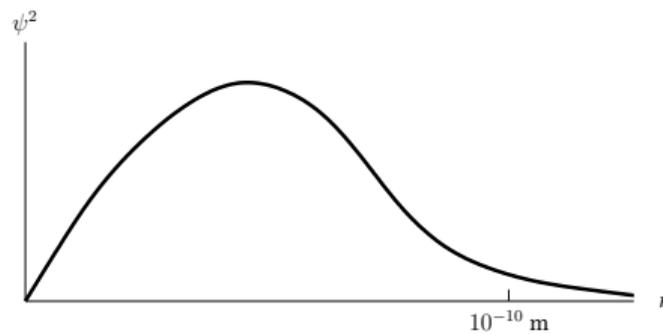
AGENDA DE
**LA CIENCIA,
LA TECNOLOGÍA
Y LA INNOVACIÓN
2019**



Ciudad de **Rafaela**
GOBIERNO MUNICIPAL

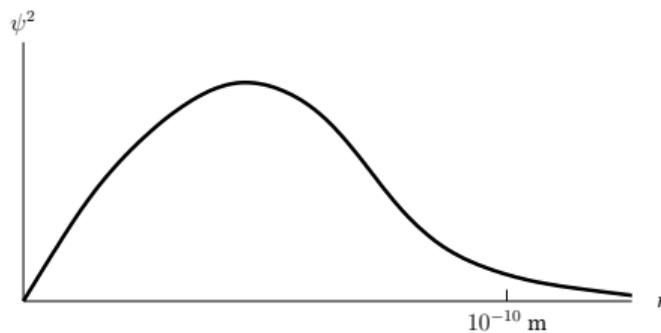
Tamaños característicos

- ▶ Radio de un átomo $\approx 10^{-10}$ m

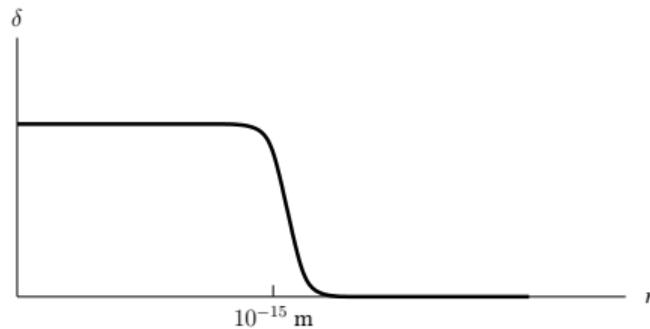


Tamaños característicos

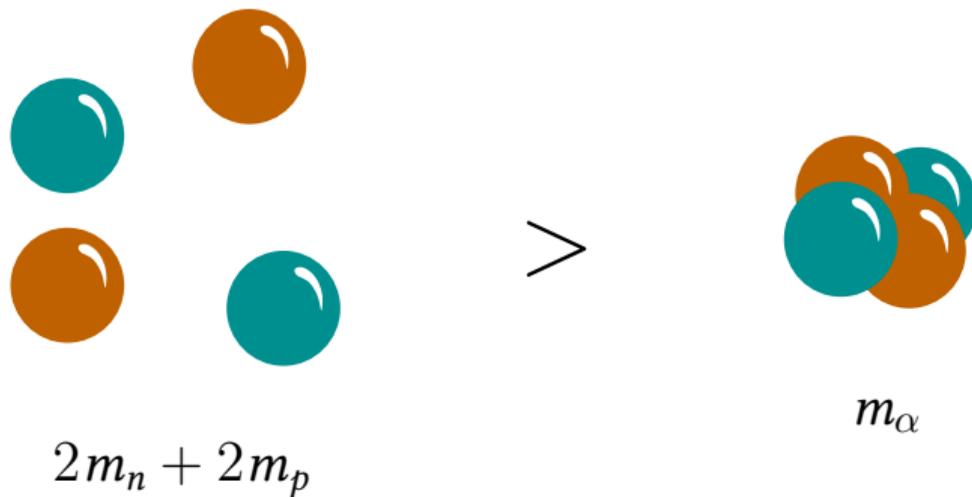
- ▶ Radio de un átomo $\approx 10^{-10}$ m



- ▶ Radio de un núcleo $\approx 10^{-14}$ m



Equivalencia entre masa y energía



$$\Delta E = \Delta mc^2$$

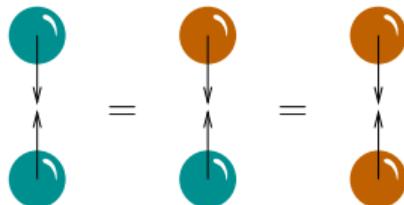
- ▶ Debe existir una **fuerza nuclear** de atracción entre nucleones

Características de la fuerza nuclear

- ▶ Es siempre atractiva



- ▶ No depende de la carga



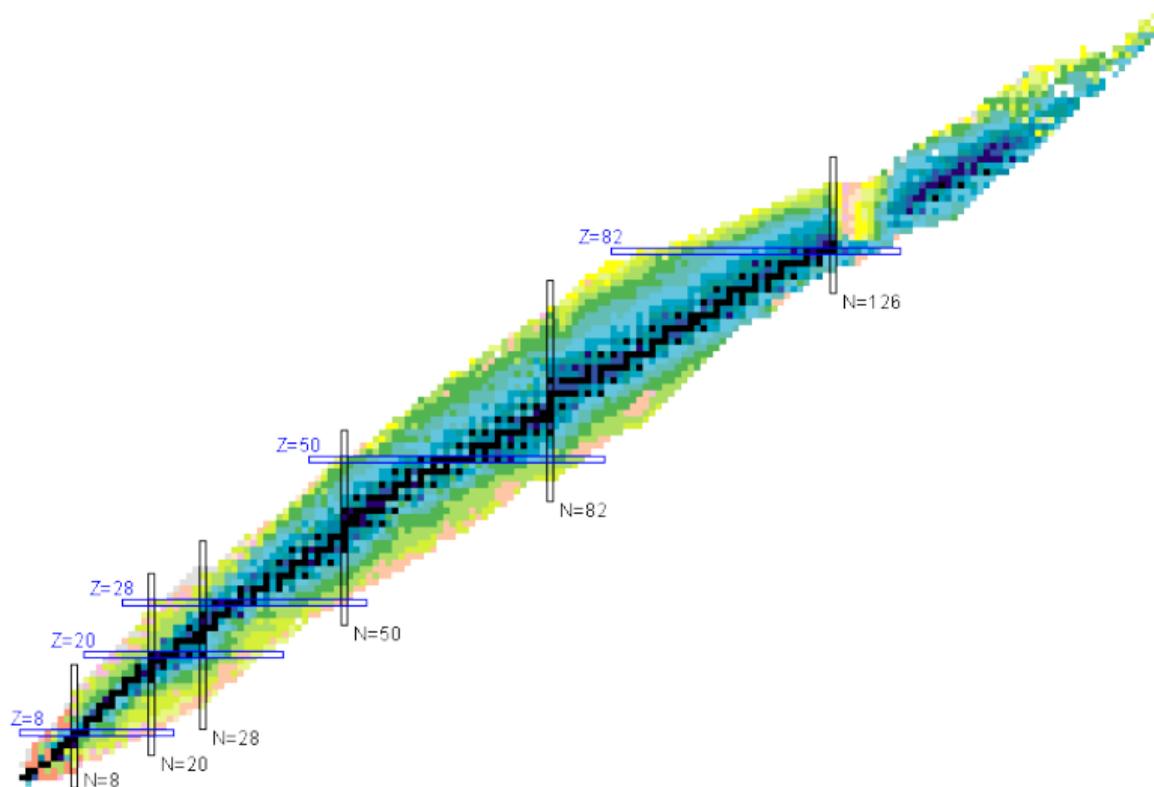
- ▶ Sí depende del spin



- ▶ Tiene un muy corto alcance $\approx 2 \times 10^{-15}$ m

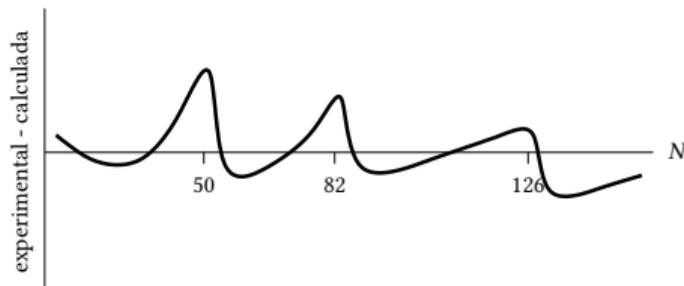


La tabla de los nucleídos

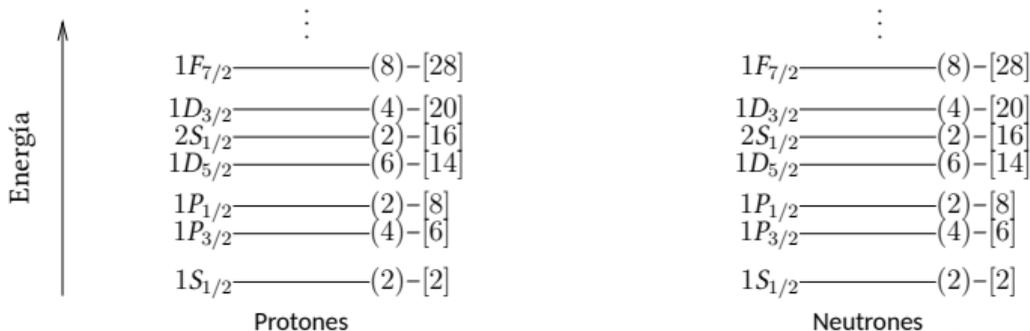


El modelo de capas

- ▶ Energía de unión del último neutrón vs. N



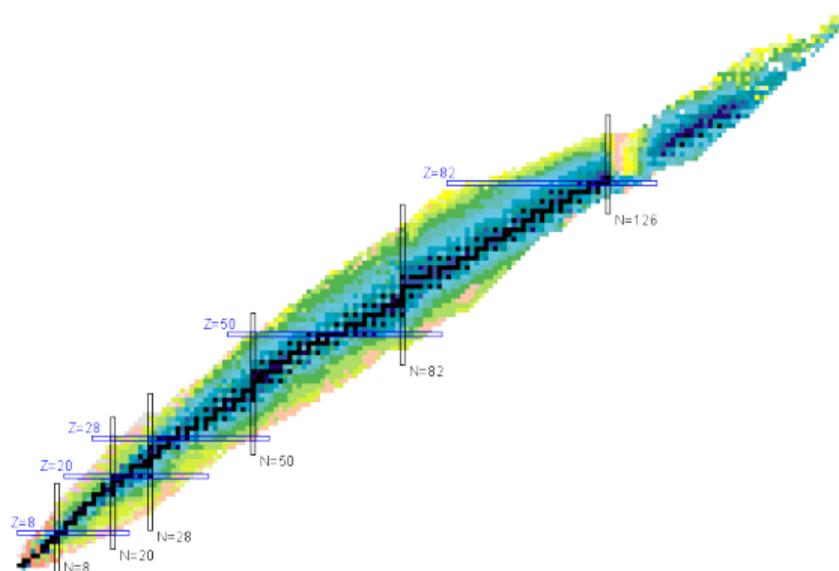
- ▶ Parece que los nucleones se acomodan en capas, diferentes para protones y neutrones por el campo coulombiano



Decaimiento radioactivo

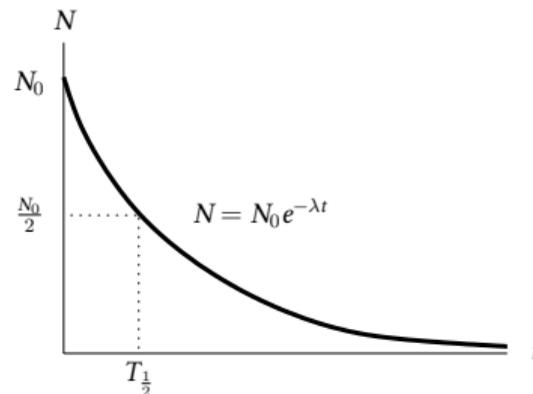
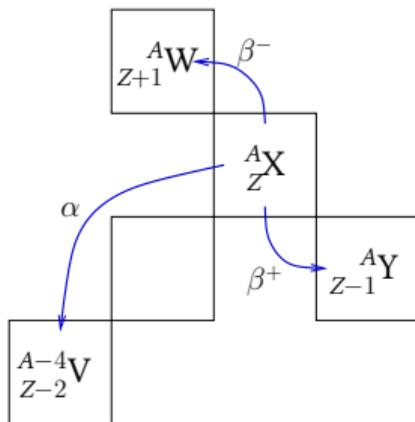
► Nomenclatura de partículas

- α = núcleo de ${}^4_2\text{He}$
- β^- = electrón proveniente del núcleo
- β^+ = positrón proveniente del núcleo
- γ = fotón de energía $h\nu \gtrsim 100 \text{ keV}$



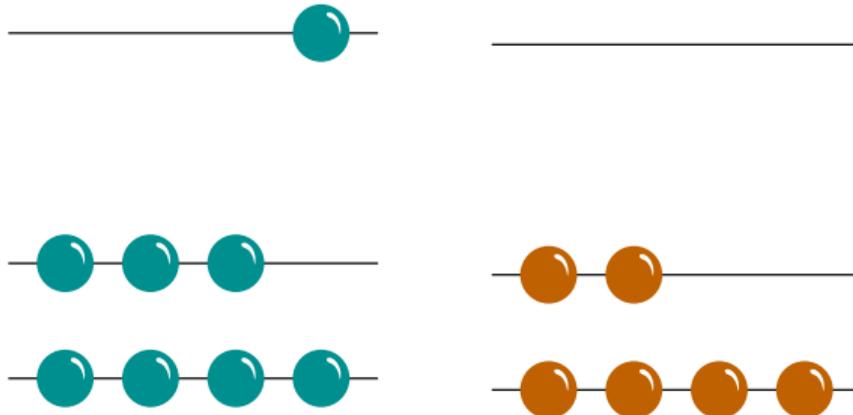
Decaimiento radioactivo

$^{195}_{80}\text{Hg}$ 10.53 H ε	$^{196}_{80}\text{Hg}$ Estable 0.15%	$^{197}_{80}\text{Hg}$ 64.14 H ε	$^{198}_{80}\text{Hg}$ Estable 9.97%	$^{199}_{80}\text{Hg}$ Estable 16.87%	$^{200}_{80}\text{Hg}$ Estable 23.10%	$^{201}_{80}\text{Hg}$ Estable 13.18%
$^{194}_{79}\text{Au}$ 38.02 H ε	$^{195}_{79}\text{Au}$ 186.098 D ε	$^{196}_{79}\text{Au}$ 6.1669 D ε	$^{197}_{79}\text{Au}$ Estable 100%	$^{198}_{79}\text{Au}$ 2.6956 D β ⁻	$^{199}_{79}\text{Au}$ 3.139 D β ⁻	$^{200}_{79}\text{Au}$ 48.4 M β ⁻
$^{193}_{78}\text{Pt}$ 50 Y ε	$^{194}_{78}\text{Pt}$ Estable 32.967%	$^{195}_{78}\text{Pt}$ Estable 33.832%	$^{196}_{78}\text{Pt}$ Estable 25.242%	$^{197}_{78}\text{Pt}$ 19.8915 H β ⁻	$^{198}_{78}\text{Pt}$ Estable 7.163%	$^{199}_{78}\text{Pt}$ 30.80 M β ⁻



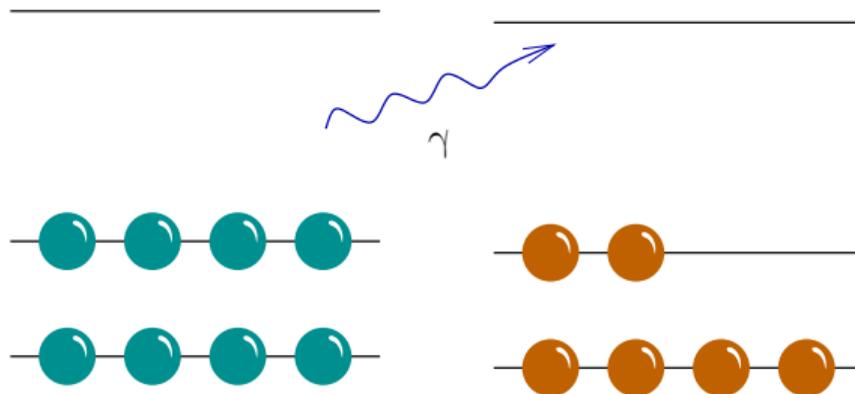
Decaimiento γ

La mayoría de los decaimientos y reacciones nucleares dejan a los núcleos hijos en estados excitados ...



Decaimiento γ

La mayoría de los decaimientos y reacciones nucleares dejan a los núcleos hijos en estados excitados ...



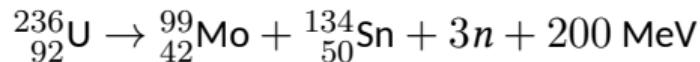
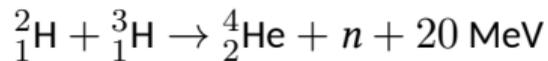
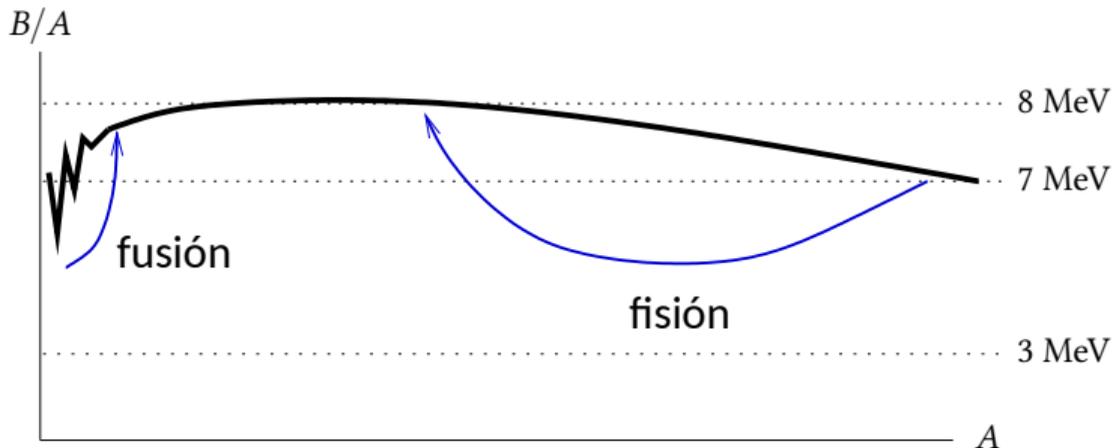
...que se des-excitan emitiendo un fotón γ



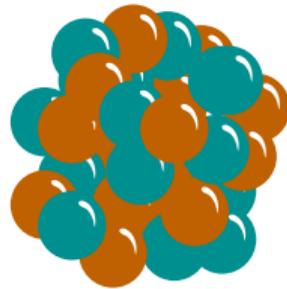
La Fisión

Conservación de masa y energía

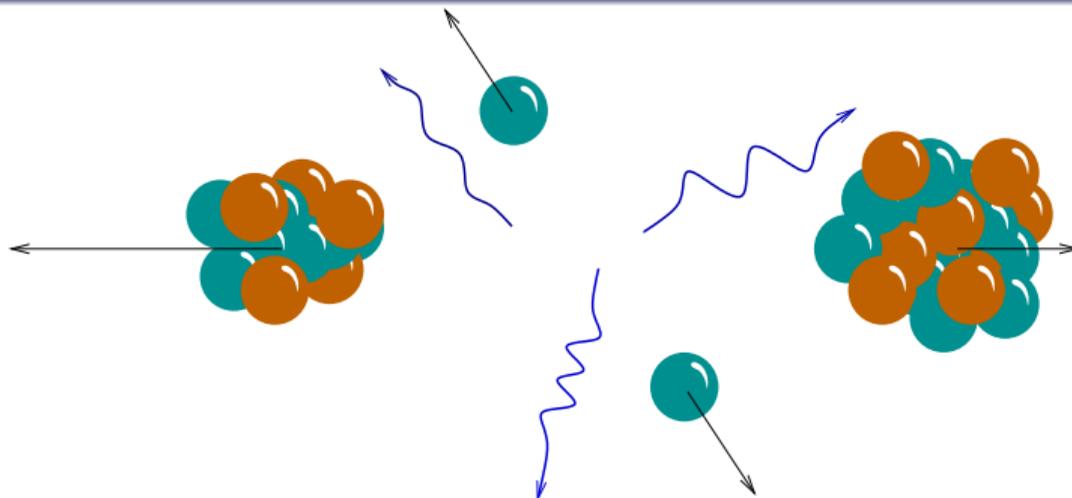
Recordando el resultado de la fórmula semiempírica de masa...



Energía de fisión

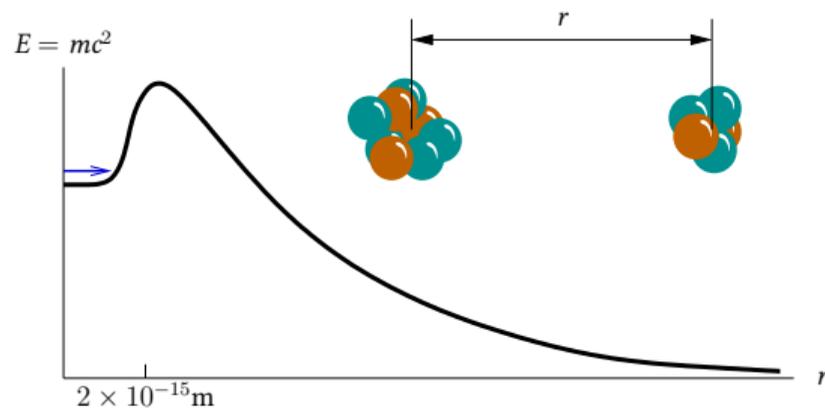


Energía de fisión

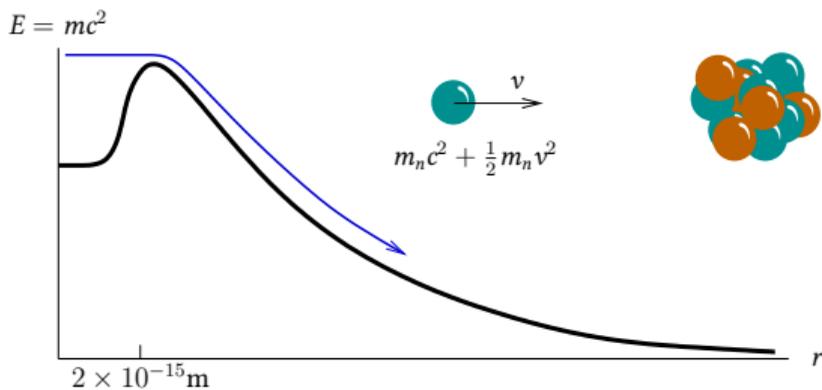
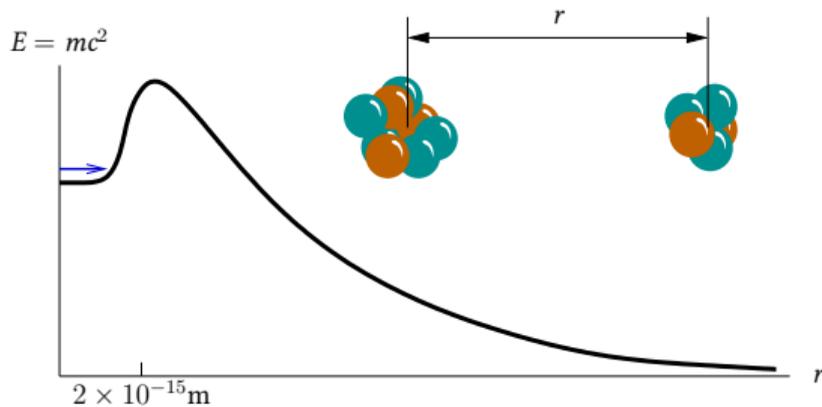


- ▶ En una fisión se generan alrededor de 200 MeV
 - ▶ 165 MeV en energía cinética de los productos de fisión
 - ▶ 7 MeV en γ 's instantáneos
 - ▶ 5 MeV en neutrones instantáneos
 - ▶ 7 MeV en γ 's retardados
 - ▶ 7 MeV en β 's
 - ▶ 8 MeV en anti-neutrinos $\bar{\nu}$

Fisión inducida



Fisión inducida



Isótopos fíviles vs. isótopos fisionables

- ▶ Si es posible superar la barrera de potencial con un neutrón de energía cinética nula

⇒ isótopo **fívil**

- ▶ Si se necesita una energía cinética finita para lograr la fisión

⇒ isótopo **fisionable**

- ▶ Los núcleos pesados con A impar suelen ser fíviles



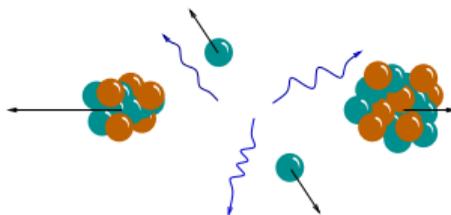
- ▶ Los núcleos pesados con A par suelen ser fisionables

- ▶ Los núcleos que cuando capturan un neutrón se transforman en fíviles se llaman **fértiles**

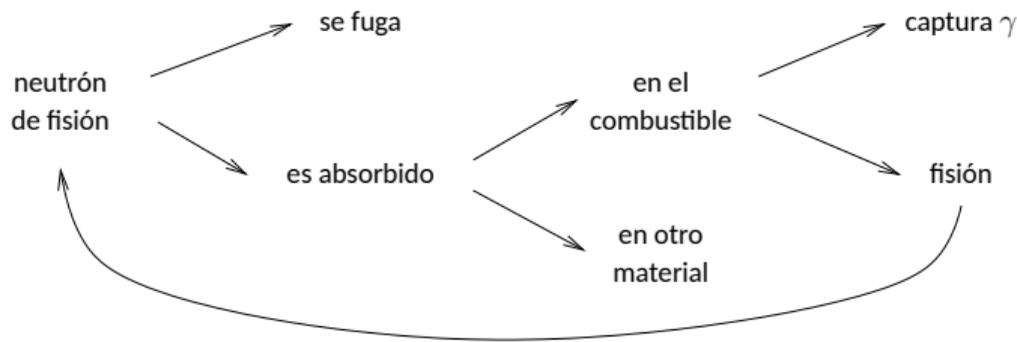


Balance de neutrones

Por cada fisión se generan ν neutrones. Para el ^{235}U es $\nu = 2.4$



Sigamos la vida de uno de los neutrones de fisión desde que nace hasta que muere



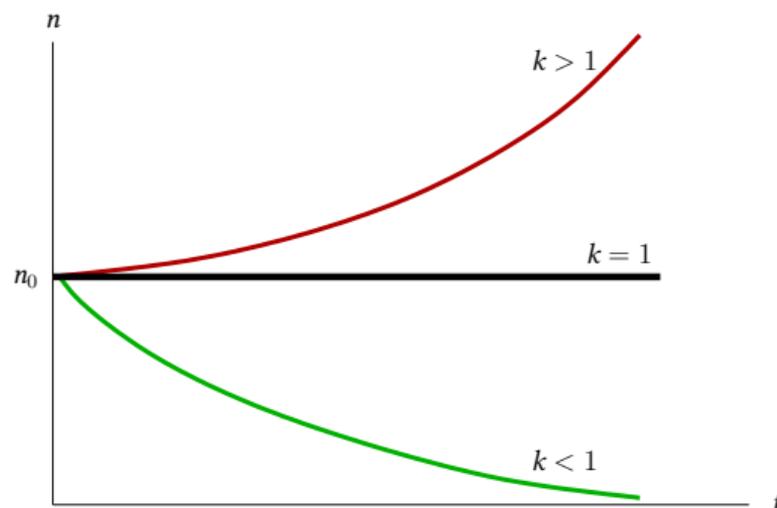
Tenemos que lograr una reacción **autosostenida**

El factor de multiplicación k

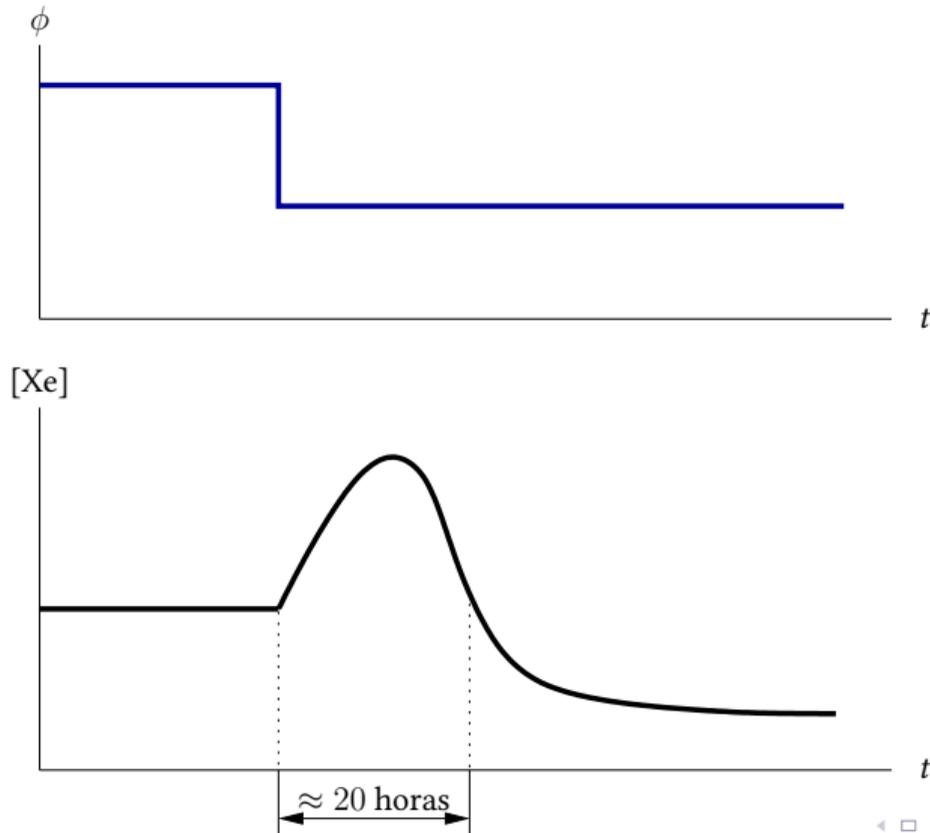
Definimos el factor k como

$$k = \frac{\text{neutrones producidos en la generación } i + 1}{\text{neutrones producidos en la generación } i}$$

Cualitativamente, la población neutrónica tiene tres comportamientos posibles

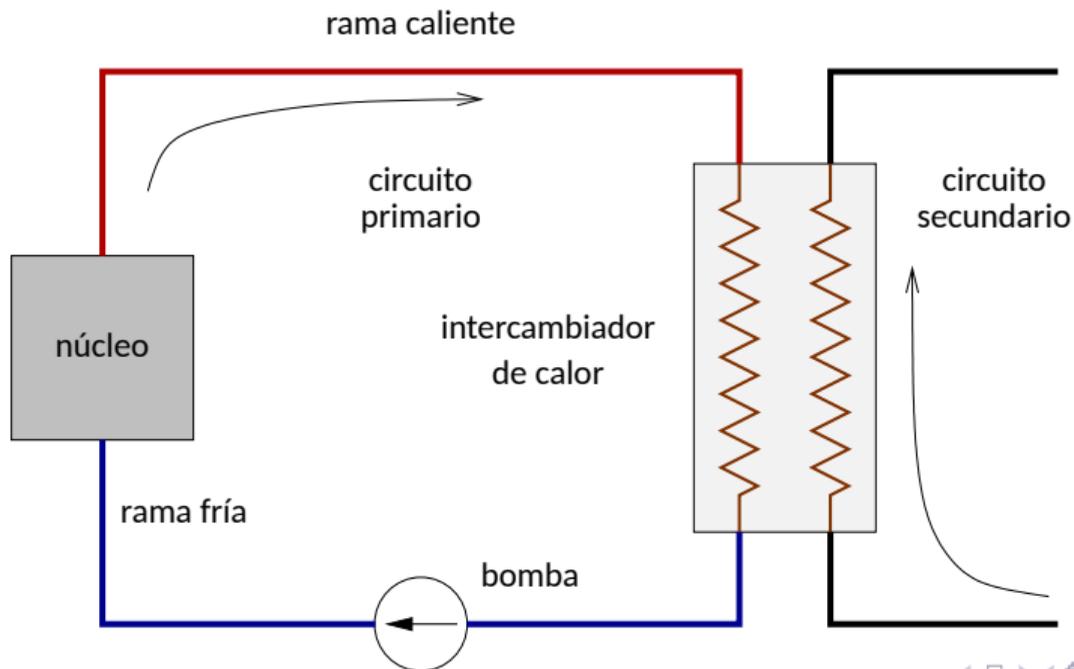


Evolución temporal del Xenón



¿Cómo extraemos la energía de fisión?

$$\text{potencia generada} = 200 \text{ MeV} \int \Sigma_f(\mathbf{r})\phi(\mathbf{r}) d^3\mathbf{r}$$



Potencia de decaimiento

- ▶ En una fisión generamos alrededor de 200 MeV
 - ▶ 165 MeV en energía cinética de los productos de fisión
 - ▶ 7 MeV en γ 's instantáneos
 - ▶ 5 MeV en neutrones instantáneos
 - ▶ 7 MeV en γ 's retardados
 - ▶ 7 MeV en β 's
 - ▶ ~~8 MeV en anti-neutrinos $\bar{\nu}$~~

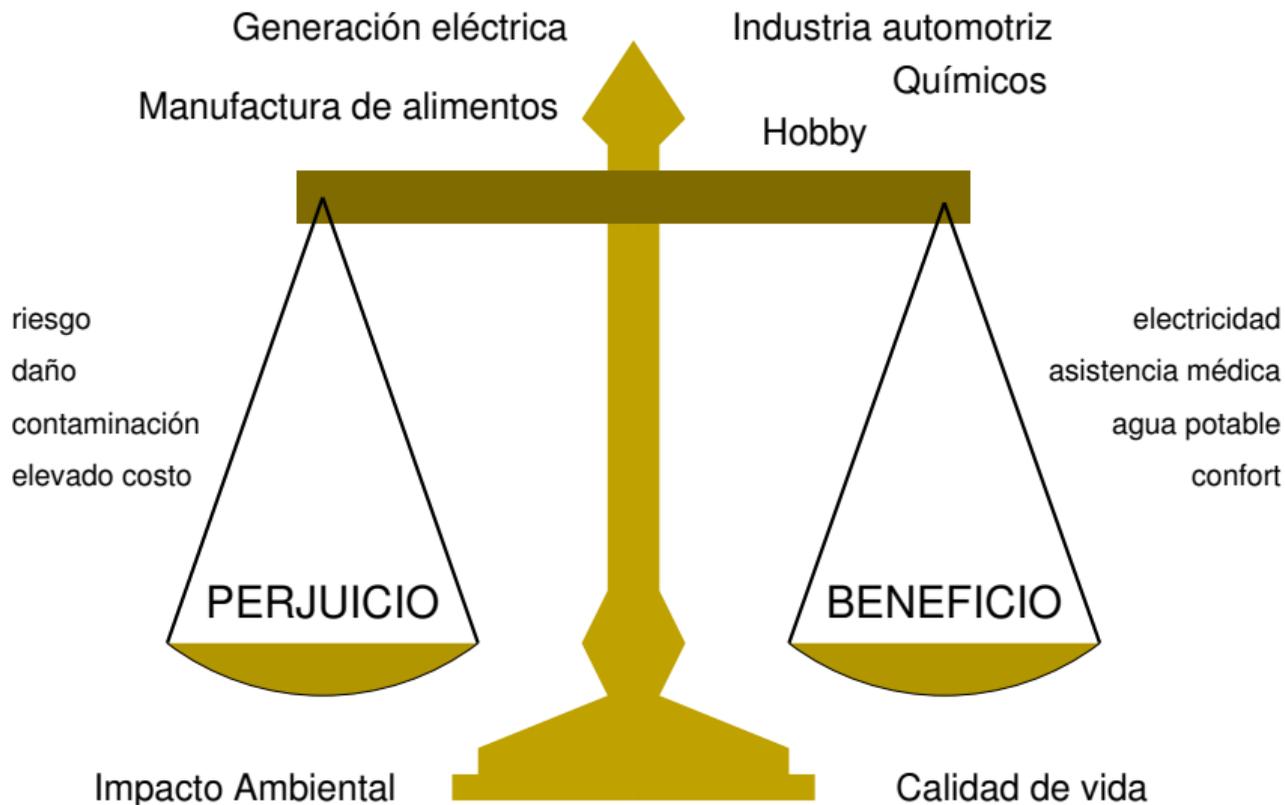
Potencia de decaimiento

- ▶ En una fisión generamos alrededor de 200 MeV
- ▶ Si apagamos el reactor ($\phi = 0$)
 - ▶ ~~165 MeV en energía cinética de los productos de fisión~~
 - ▶ ~~7 MeV en γ 's instantáneos~~
 - ▶ ~~5 MeV en neutrones instantáneos~~
 - ▶ 7 MeV en γ 's retardados
 - ▶ 7 MeV en β 's
 - ▶ ~~8 MeV en anti-neutrinos $\bar{\nu}$~~

Potencia de decaimiento

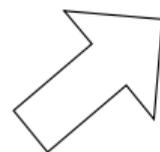
- ▶ En una fisión generamos alrededor de 200 MeV
- ▶ Si apagamos el reactor ($\phi = 0$)
 - ▶ ~~165 MeV en energía cinética de los productos de fisión~~
 - ▶ ~~7 MeV en γ 's instantáneos~~
 - ▶ ~~5 MeV en neutrones instantáneos~~
 - ▶ 7 MeV en γ 's retardados
 - ▶ 7 MeV en β 's
 - ▶ ~~8 MeV en anti-neutrinos $\bar{\nu}$~~
- ▶ Por más que apaguemos el reactor, seguimos generando el 7% de la potencia nominal \Rightarrow tenemos que refrigerar el núcleo aún después de apagarlo

Costos y beneficios



¿Qué es el riesgo?

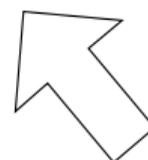
En forma intuitiva
es un **daño incierto**



¿Cuándo puede ocurrir?



¿Dónde puede ocurrir?

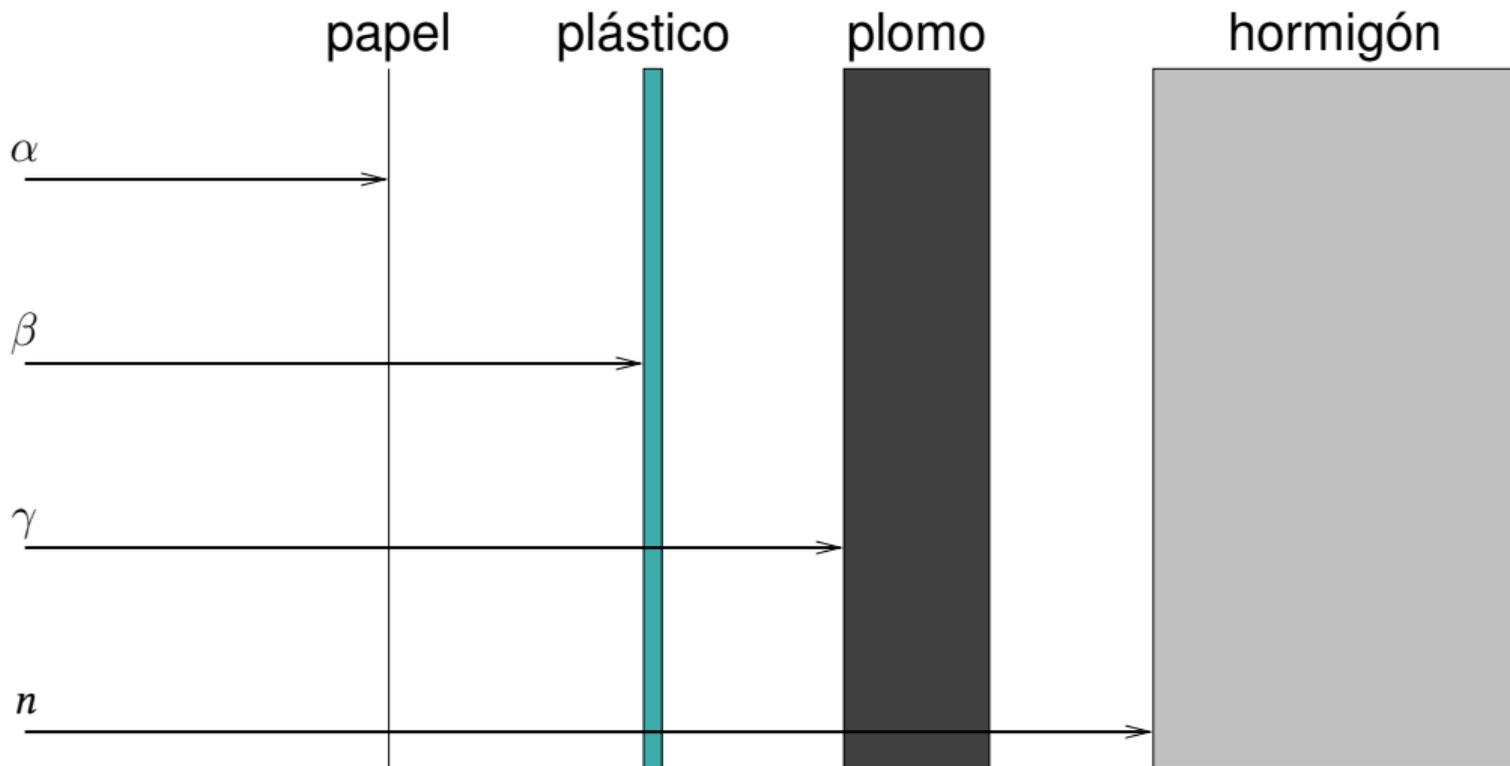


¿De qué magnitud?

Percepción del riesgo

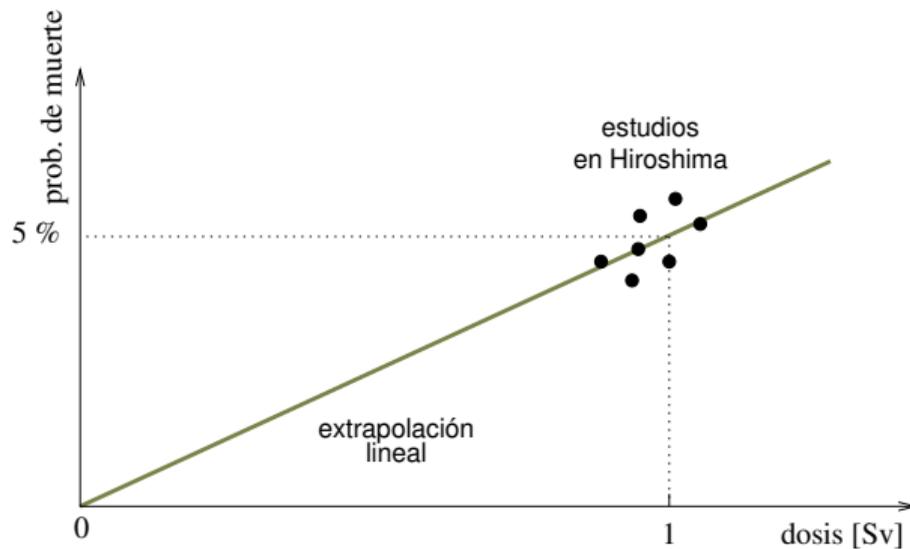


Tipos de radiación



Efectos de la radiación

Efectos estocásticos → existe una probabilidad de daño en función de la dosis



Fuentes de radiación

- ▶ Radiación natural global media ≈ 2.4 mSv/año
 - ▶ radón 1.3 mSv/año
 - ▶ γ 0.46 mSv/año
 - ▶ rayos cósmicos 0.39 mSv/año

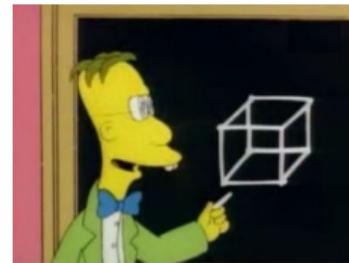
altura [m]	dosis anual [mSv]
0	0.26
2000	0.88
6700	8.7
10000	44
15000	87

- ▶ radiación interna 0.23 mSv/año
- ▶ Radiación artificial ≈ 0.31 mSv/año
 - ▶ exposición médica 0.3 mSv/año
 - ▶ precipitación radioactiva 0.007 mSv/año
 - ▶ exposición ocupacional 0.002 mSv/año
- ▶ 1 radiografía ≈ 0.1 mSv

Resumen



► Física nuclear



Resumen



- ▶ Física nuclear
- ▶ La fisión



Resumen



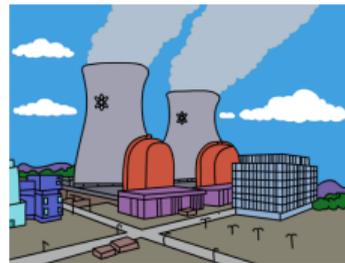
- ▶ Física nuclear
- ▶ La fisión
- ▶ Física de reactores



Resumen



- ▶ Física nuclear
- ▶ La fisión
- ▶ Física de reactores
- ▶ Reactores nucleares



¡Gracias por su atención!

Su pregunta no molesta...

¿Preguntas?