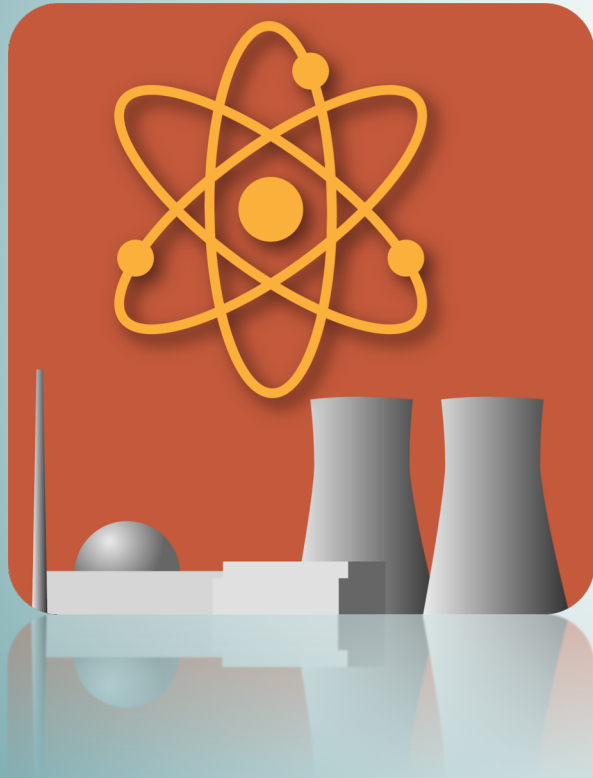


Ingeniería Nuclear

BLOQUE I. FÍSICA NUCLEAR Lección 9. Energía emitida por fisión



Fernando Delgado San Román
Raquel Martínez Torre
DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

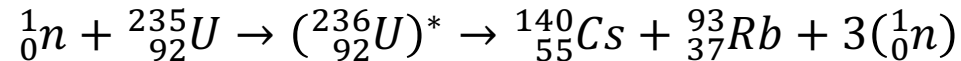
[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



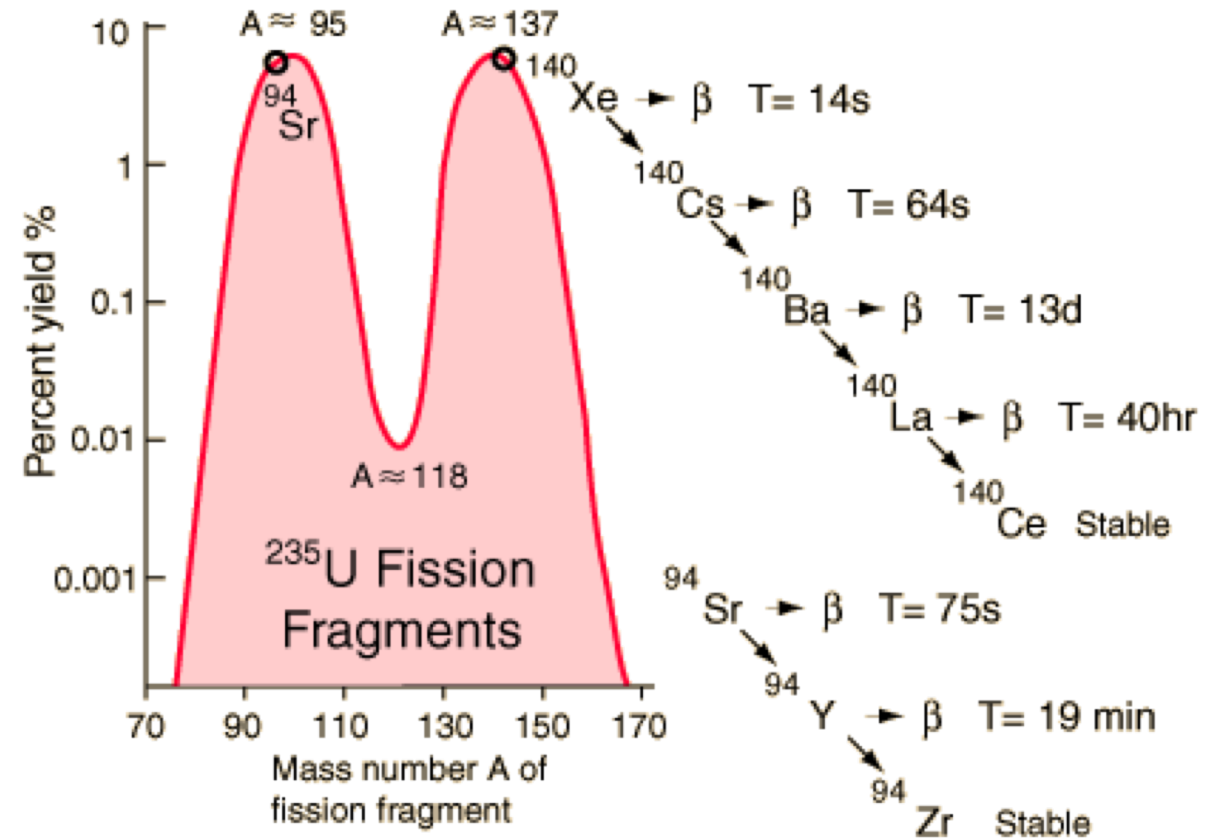
ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE FISIÓN

- La fisión nuclear produce una enorme cantidad de energía.



- Este núcleo se divide en **dos fragmentos**, Cs-140 y Rb-93 y tres neutrones.
- Ambos **productos** de fisión **se desintegran** mediante múltiples **emisiones β^-** debido la alta relación de neutrones/protones que poseen estos productos.
- En la fisión térmica del U-235 los pares de fragmentos resultantes de la fisión estarán formados, **con más probabilidad**, por elementos que tienen masas atómicas cercanas a 95 y 140.



ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE FISIÓN

- ❑ La cantidad de energía liberada por esta fisión puede ser estimada por diferentes métodos:
 - ✓ A través de la **energía de enlace por nucleón**.
Para la reacción de fisión cuyos productos son el Tb-93 y el Cs-140:

TABLE 5 Binding Energies Calculated from Binding Energy per Nucleon Curve			
Nuclide	B.E. per Nucleon (BE/A)	Mass Number (A)	Binding Energy (BE/A) x (A)
$^{93}_{37}\text{Rb}$	8.7 MeV	93	809 MeV
$^{140}_{55}\text{Cs}$	8.4 MeV	140	1176 MeV
$^{235}_{92}\text{U}$	7.6 MeV	235	1786 MeV

Fuente: Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993 (Department of Energy United States of America).

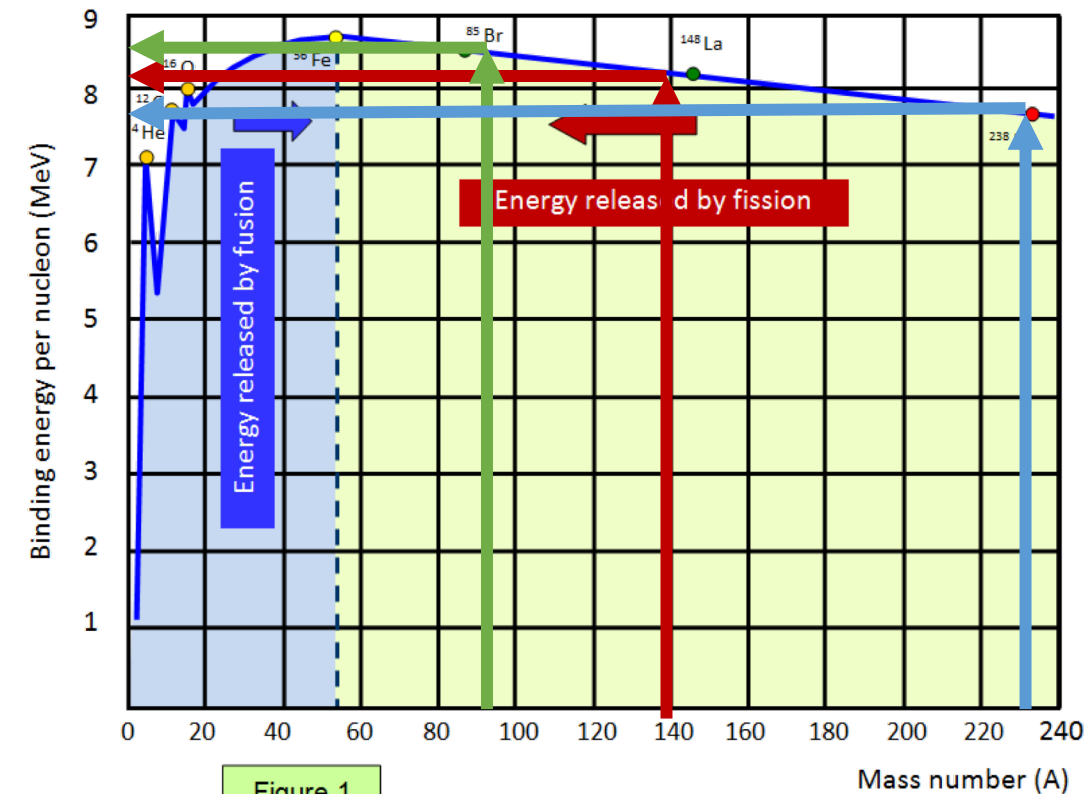


Figure 1

Fuente: <http://www.schoolphysics.co.uk/>

$$\Delta EE = \Delta EE_{\text{productos}} - \Delta EE_{\text{reactivo}} = 809 + 1176 - 1786 = 199 \text{ MeV}$$

ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE FISIÓN

✓ A través de la **conservación de la masa y la energía**.

$$\Delta m = m_{\text{reactivos}} - m_{\text{productos}} = (m_{U-235} + m_n) - (m_{Rb-93} + m_{Cs-140} + 3m_n)$$

$$\Delta m = (235,043924 + 1,008665) - (92,91699 + 139,90910 + 3,02599) = 0,200509 \text{ u.m.a}$$

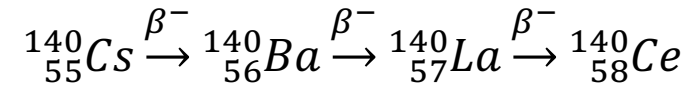
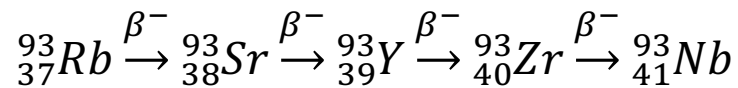
$$E = 0,200509 \times 931,5 = \mathbf{186,8 \text{ MeV}}$$

❑ La energía se libera en forma de energía cinética de los productos de fisión y de rayos gamma.

ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE DESINTEGRACIÓN

- ❑ Además de la energía liberada por la fisión, la desintegración de los productos de fisión también libera energía.
- ❑ Esta energía se libera en forma de energía cinética de los partículas β y los neutrinos, y de los rayos gamma.



$$\Delta m = m_{\text{reactivos}} - m_{\text{productos}}$$

$$\Delta m_{\text{Rb-93}} = m_{\text{Rb-93}} - (m_{\text{Nb-93}} + 4m_e) = 92,91699 - (92,90638 + 4(0,0005486)) = 0,008416 \text{ u.m.a.}$$

$$E_{\text{Rb-93}} = 0,008416 \times 931,5 = 7,84 \text{ MeV}$$

$$\Delta m_{\text{Cs-140}} = m_{\text{Ce-140}} - (m_{\text{Cs-140}} + 3m_e) = 139,90910 - (139,90543 + 3(0,0005486)) = 0,000202 \text{ u.m.a.}$$

$$E_{\text{Cs-140}} = 0,000202 \times 931,5 = 0,19 \text{ MeV}$$

$$E_T = 9,73 \text{ MeV}$$

ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

- ☐ La energía total alcanza unos **200 MeV**.
- ☐ La energía de los **neutrinos** (10 MeV) **no se absorbe** en el reactor.
- ☐ Algunos de los neutrones de fisión sufren **captura radiactiva**, con la consiguiente emisión de rayos gamma, que proporcionan **10 MeV adicionales**.
- ☐ Toda la energía liberada, con excepción de la de los neutrinos, **se transforma en calor** a través de una serie de procesos:
 - ✓ Los **fragmentos de la fisión**, con su carga positiva y energía cinética, ionizan los átomos cercanos. En esta **ionización** la energía cinética se transmite a los átomos cercanos del combustible, produciendo un aumento de temperatura.
 - ✓ Las **partículas β y los rayos gamma** también transmiten su energía por **ionización**.
 - ✓ Los **neutrones** de fisión interactúan y pierden su energía a través de **dispersión elástica**.
- ☐ El 7% de la energía no se libera instantáneamente. Cuando un reactor se apaga, las fisiones paran, pero la liberación de energía continua por la energía de desintegración.

TABLE 6 Instantaneous Energy from Fission	
Kinetic Energy of Fission Products	167 MeV
Energy of Fission Neutrons	5 MeV
Instantaneous Gamma-ray Energy	5 MeV
Capture Gamma-ray Energy	10 MeV
Total Instantaneous Energy	187 MeV

Fuente: Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993
(Department of Energy United States of America).

TABLE 7 Delayed Energy from Fission	
Beta Particles From Fission Products	7 MeV
Gamma-rays from Fission Products	6 MeV
Neutrinos	10 MeV
Total Delayed Energy	23 MeV

Fuente: Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993
(Department of Energy United States of America).

ENERGÍA EMITIDA POR FISIÓN

RECURSOS

- ☐ Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993 (Department of Energy United States of America).
- ☐ Introduction to Nuclear Engineering (John R. Lamarsh and Anthony J. Baratta)