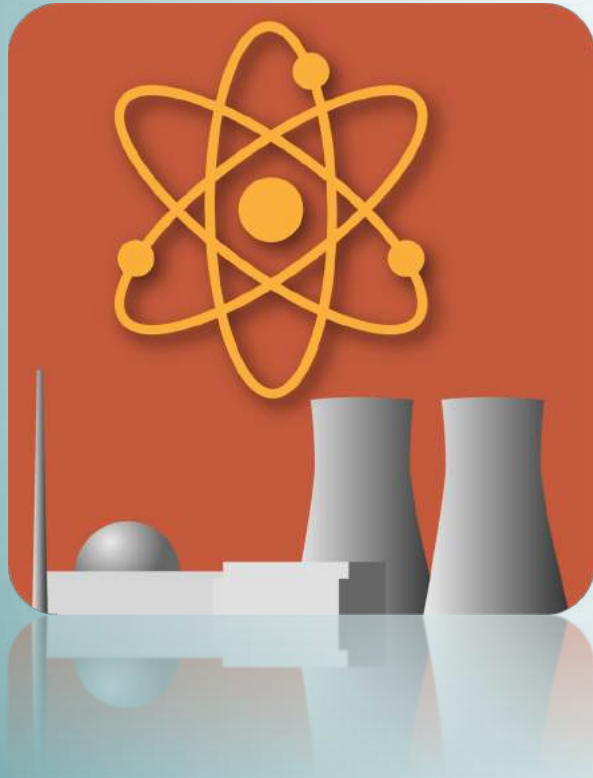


Ingeniería Nuclear

BLOQUE I. FÍSICA NUCLEAR Lección 8. Fisión nuclear



Fernando Delgado San Román
Raquel Martínez Torre

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

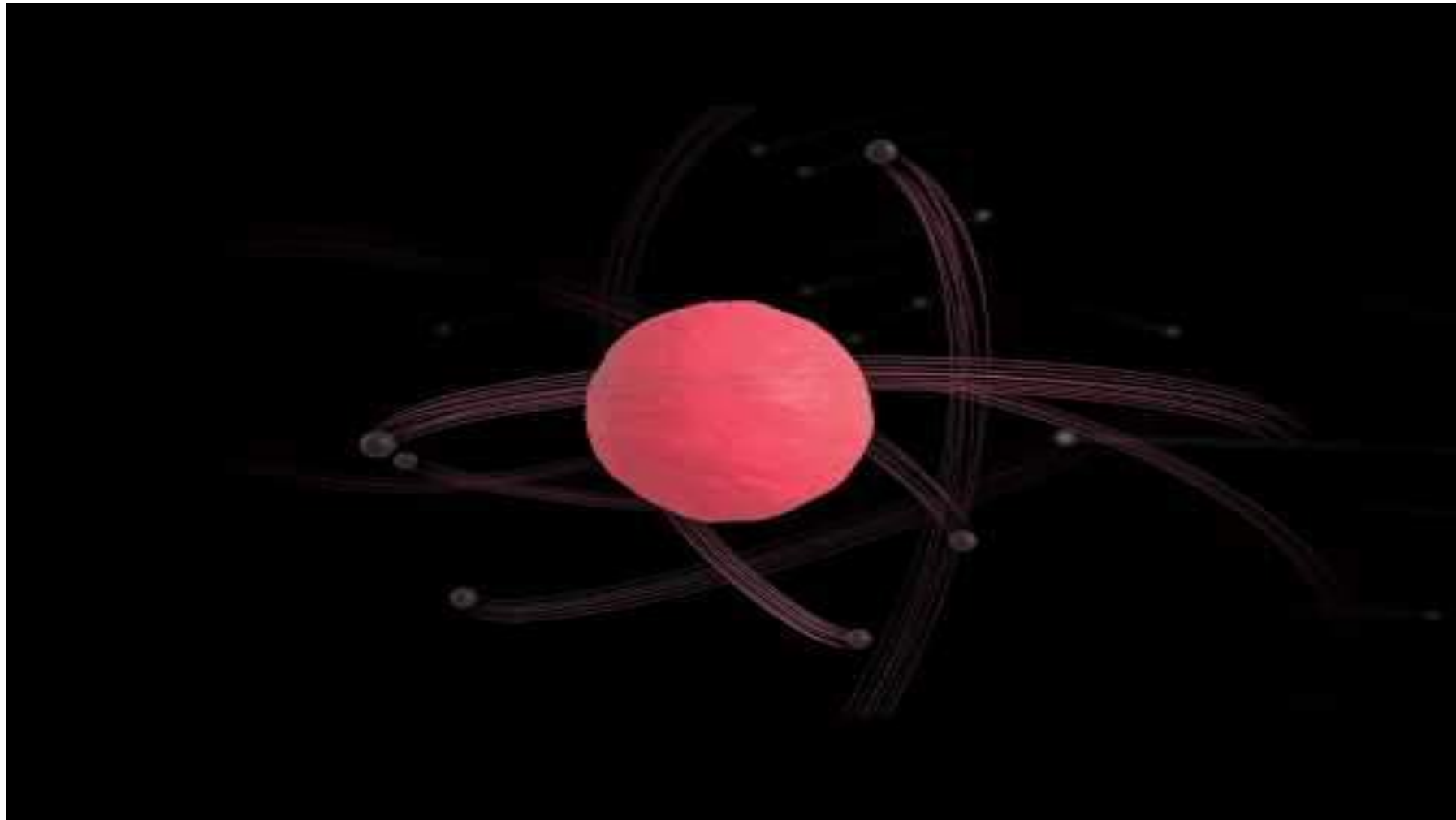
Este tema se publica bajo Licencia:

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



FISIÓN NUCLEAR

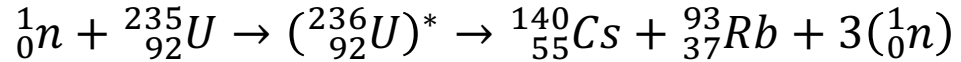
FISIÓN



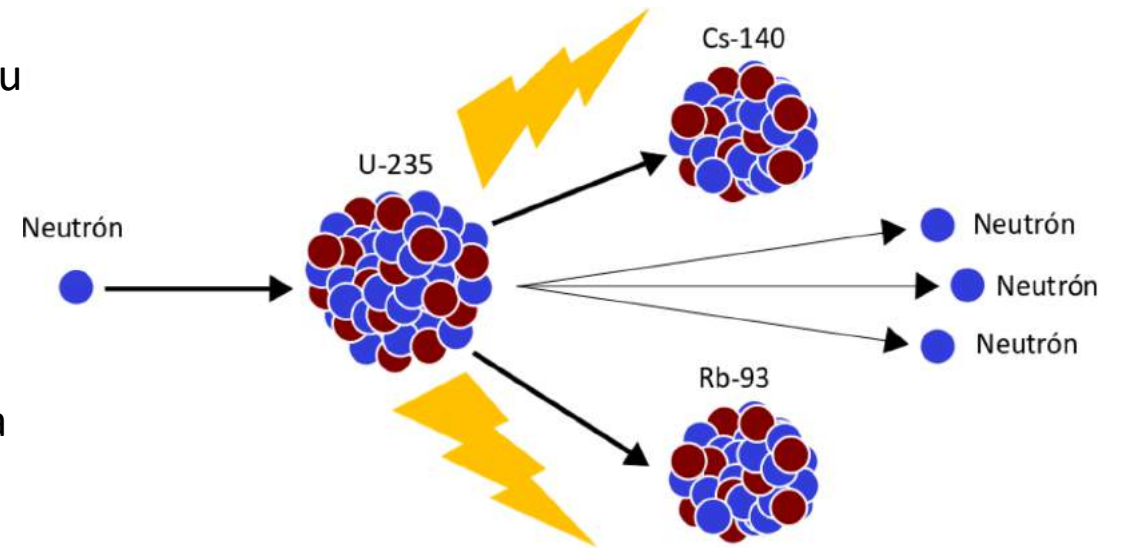
FISIÓN NUCLEAR

FISIÓN

- En la reacción de fisión el neutrón incidente entra en el núcleo pesado formando un núcleo compuesto que está excitado con un nivel de energía tan alto que el núcleo se divide en dos partes más neutrones.



- Estas reacciones liberan una gran cantidad de energía en forma de radiación y de energía cinética.



FISIÓN NUCLEAR

MODELO DE LA GOTA LÍQUIDA

- ❑ El **núcleo** se mantiene **unido** debido a la **fuerza de atracción** existente entre las partículas del núcleo. Las características de esta fuerza son:
 - ✓ **Rango pequeño** de actuación (10^{-13} cm).
 - ✓ **Más fuerte** que las fuerzas electrostáticas de repulsión existentes dentro del núcleo.
 - ✓ **Independiente del emparejamiento de partículas** del núcleo, en el cual las fuerzas de atracción entre pares de neutrones son iguales de aquellas entre pares de protones o entre un protón y un neutrón.
 - ✓ **Saturable**, una partícula del núcleo puede atraer solo unos pocos de sus partículas más cercanas.
- ❑ Según el modelo teórico de la gota líquida, se considera que la fisión de un núcleo es similar en algunos aspectos a la división de una gota de líquido.
- ❑ Según este modelo:

ESTADO 1

 - ✓ Un **núcleo en estado fundamental** no está distorsionado y sus **fuerzas nucleares de atracción** son **mayores** que las fuerzas electrostáticas de repulsión en el núcleo.
 - ✓ Cuando un neutrón incidente es absorbido por el núcleo, se forma un **núcleo compuesto** que contiene temporalmente toda la **carga** y la **masa** implicada en la **reacción** (estado excitado).
 - ✓ La **energía de excitación añadida al núcleo compuesto** es igual a la **energía de enlace** aportada por el neutrón incidente **mas** la **energía cinética** del mismo.

FISIÓN NUCLEAR

MODELO DE LA GOTA LÍQUIDA

ESTADO 2

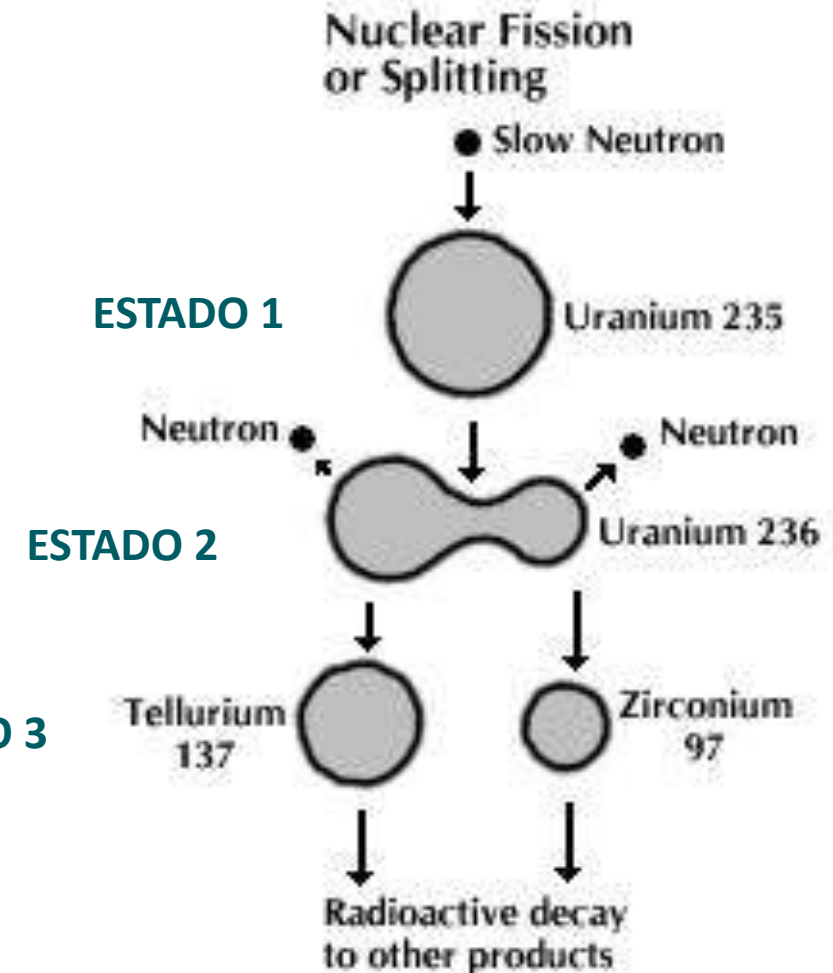
- ✓ La energía de excitación del núcleo compuesto puede hacer que **oscile** y que se **distorsione**.
- ✓ Si la energía es muy alta puede alcanzar una forma de “**mancuerna**”.
- ✓ En ese momento las **fuerzas nucleares de atracción en el cuello de la mancuerna son pequeñas** debido a la saturación, mientras las de repulsión se reducen muy poco.

ESTADO 3

- ✓ En el momento que las **fuerzas electrostáticas repulsivas sobrepasen a las fuerzas nucleares de atracción** ocurre la **fisión**.

- La **energía de excitación** representa el nivel de energía del núcleo por encima de su estado fundamental. Para que ocurra la fisión, la energía de excitación debe estar por encima de un valor específico para cada nucleído.
- La **energía crítica** es la energía de excitación mínima requerida para la fisión.

[Fisión nuclear](#)



FISIÓN NUCLEAR

MATERIAL FISIBLE

- Se compone de nucleídos para los cuales la fisión es posible con **neutrones de cualquier nivel energético**.
 - ✓ Tienen la capacidad de ser fisionados con neutrones que no tienen energía cinética (**neutrones térmicos**).
 - ✓ Tienen la capacidad de **fisionar después de absorber un neutrón térmico**, como consecuencia no aportan energía cinética a la reacción.
 - ✓ La fisión con neutrones térmicos es posible en estos materiales ya que el cambio en energía de enlace aportada por la adhesión del neutrón es lo suficientemente alta para superar la energía crítica. (Uranio-235, Uranio-233 y Plutonio-239).

FISIÓN NUCLEAR

MATERIAL FISIONABLE

- ❑ Se compone de nucleídos para los cuales la fisión es posible con neutrones.
 - ✓ Todos los nucleídos fisibles son fisionables.
 - ✓ En esta categoría también se incluyen los nucleídos que solo pueden ser fisionados con **neutrones de alta energía**.
 - ✓ El cambio en la energía de enlace que ocurre como consecuencia de la absorción del neutrón produce un nivel energético de excitación en el núcleo que es menor que la energía crítica. La energía restante para alcanzar la crítica será aportada por la **energía cinética del neutrón**.
 - ✓ La razón para diferenciar el material fisible del fisionable es por el **efecto par-impar**, por el que los núcleos con un número par de neutrones y/o protones son más estables que los que tienen número impar. Al añadir un neutrón a un núcleo con un número impar de neutrones le convierte en un núcleo con un número par de neutrones produciendo una mayor cantidad de energía de enlace (Torio-232, Uranio-238 y Plutonio-240)

TABLE 4
Critical Energies Compared to Binding Energy of Last Neutron

Target Nucleus	Critical Energy E_{crit}	Binding Energy of Last Neutron BE_n	$BE_n - E_{crit}$
$^{232}_{90}\text{Th}$	7.5 MeV	5.4 MeV	-2.1 MeV
$^{238}_{92}\text{U}$	7.0 MeV	5.5 MeV	-1.5 MeV
$^{235}_{92}\text{U}$	6.5 MeV	6.8 MeV	+0.3 MeV
$^{233}_{92}\text{U}$	6.0 MeV	7.0 MeV	+1.0 MeV
$^{239}_{94}\text{Pu}$	5.0 MeV	6.6 MeV	+1.6 MeV

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

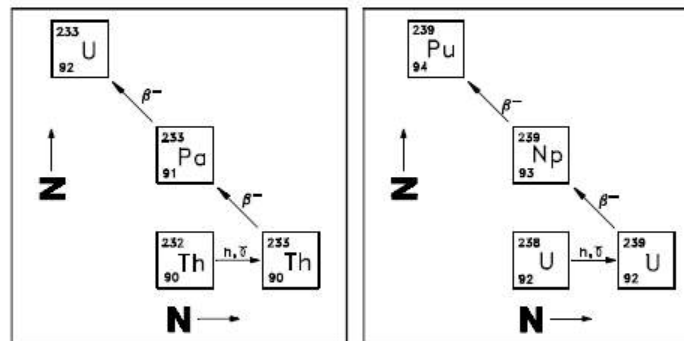
Para que se produzca la fisión:

$$E \cdot E + E_c \geq E_{crit}$$

FISIÓN NUCLEAR

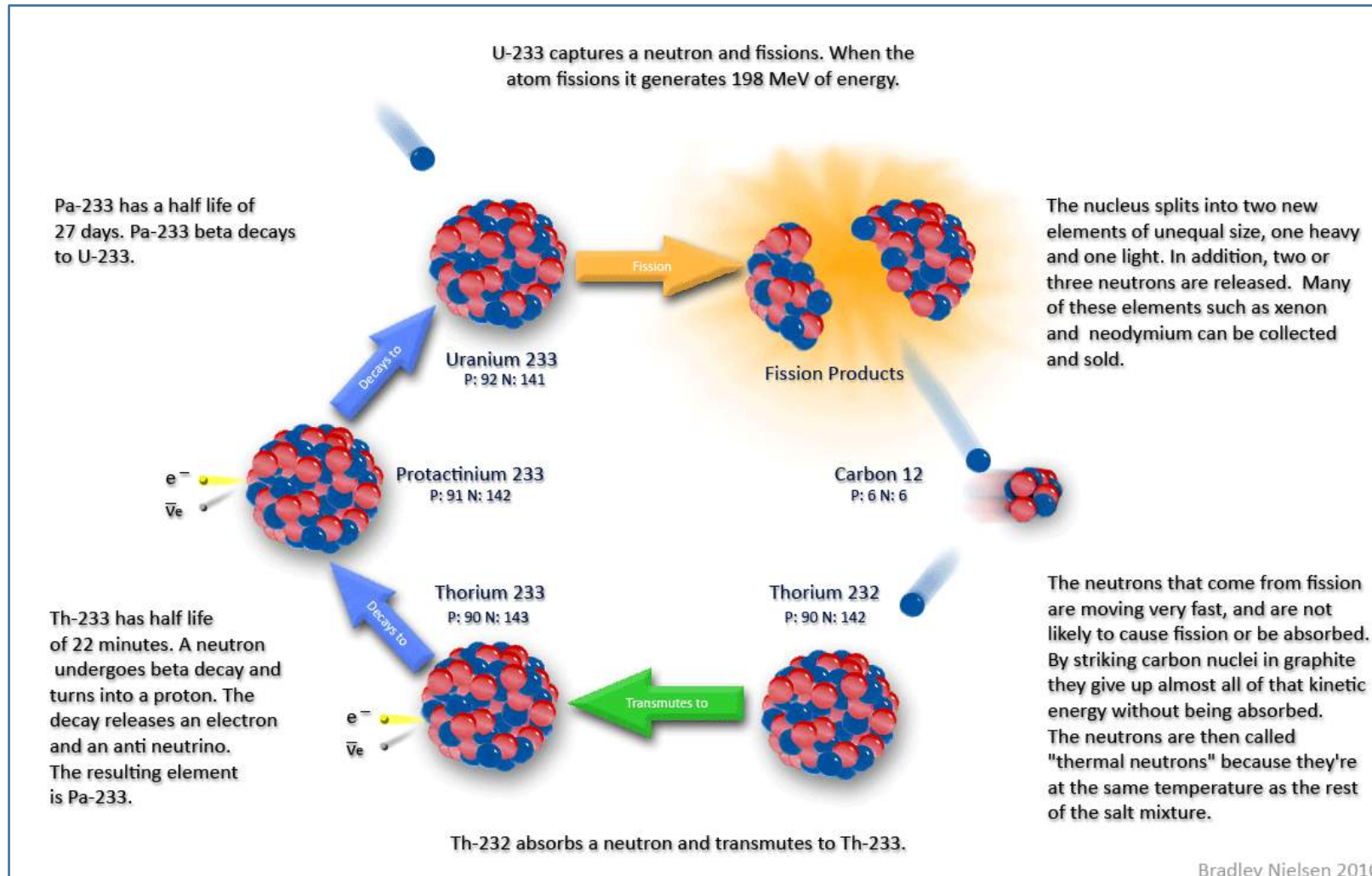
MATERIAL FÉRTIL

- ❑ Todas las reacciones de absorción de neutrones que no dan como resultado la fisión conducen a la producción de nuevos nucleídos a través de las **transmutación**.
 - ✓ Se denominan **productos de transmutación**.
 - ✓ Tras la transmutación pueden transmutar de nuevo o pueden desintegrarse en diferentes nucleídos.
 - ✓ Ya que algunos de los nucleídos fisibles no se encuentran de forma natural, la manera de obtenerlos es la transmutación.
- ❑ Todos los materiales que pueden **convertirse en material fisible** con **transmutación** se denominan **material fértil** (Torio-232 y Uranio-238).
- ❑ Si un reactor contiene material fértil además de material fisible, se producirá nuevo material fisible ya que el original se va quemando (**conversión**). Los reactores diseñados específicamente para esto se denominan **reactores reproductores**, donde el combustible producido es mayor que el quemado. En el caso contrario, se denominan **reactores convertidores**.



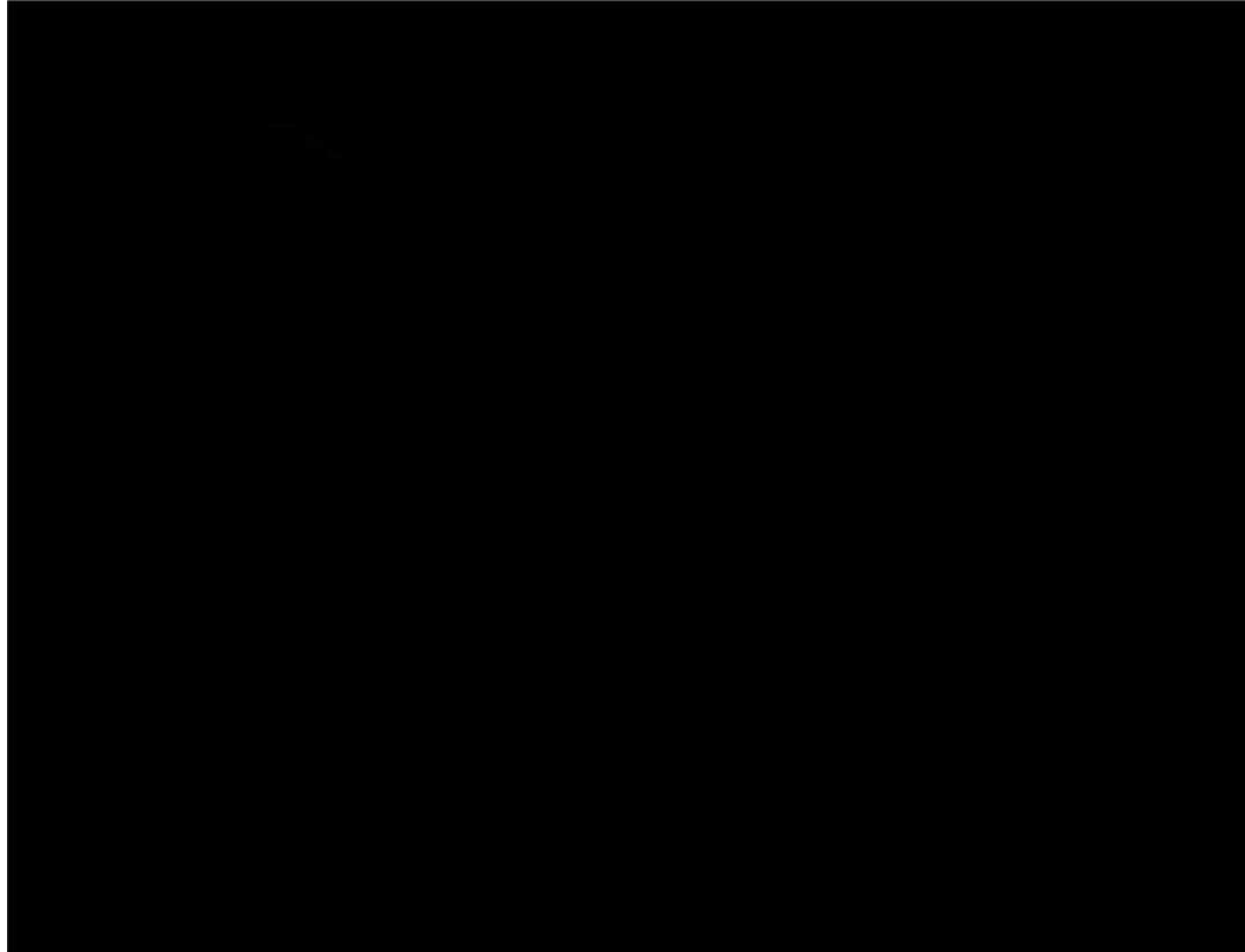
Fuente: Nuclear Physics and Reactor Theory, 1993 (Department of Energy United States of America).

FISIÓN NUCLEAR



FISIÓN NUCLEAR

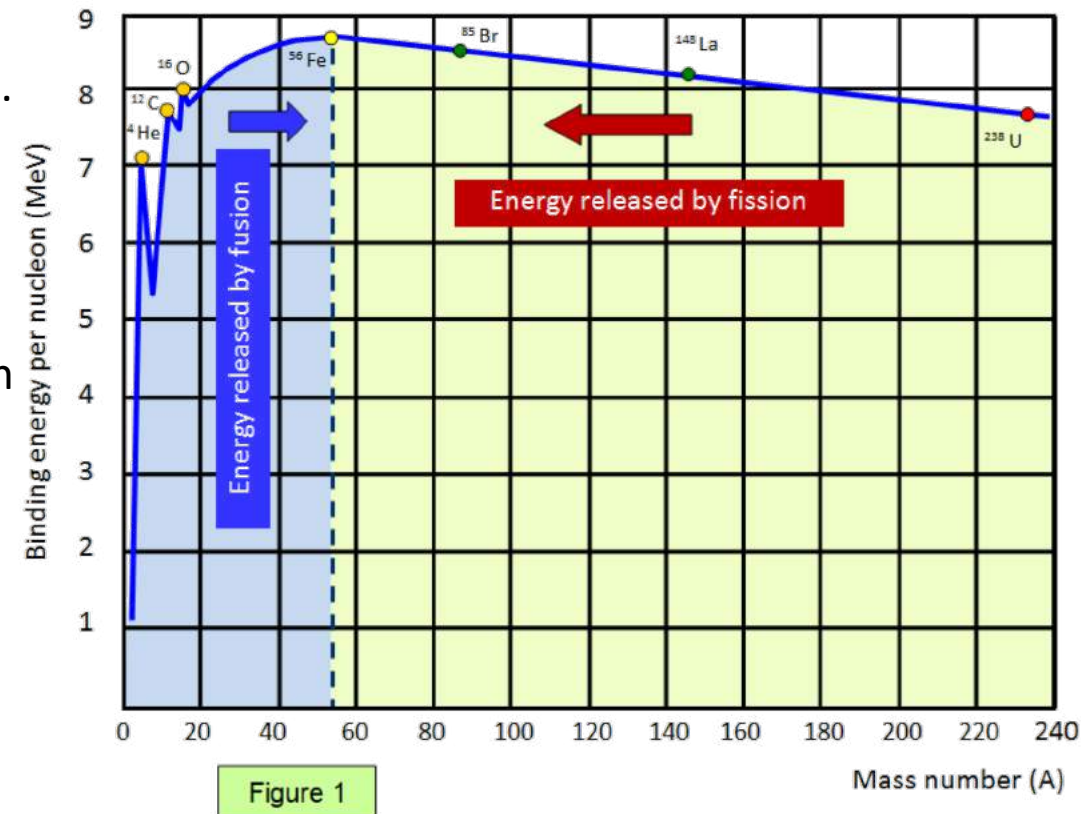
FISIÓN VS. FUSIÓN



FISIÓN NUCLEAR

ENERGÍA DE ENLACE POR NUCLEÓN

- ❑ Al aumentar el número de partículas en un núcleo, la energía de enlace también aumenta, pero el ratio de aumento no es uniforme.
- ❑ Se puede explicar por las propiedades generales de las fuerzas nucleares:
 - ✓ El núcleo está unido por fuerzas de atracción de corto rango que existen entre las partículas del núcleo.
 - ✓ El núcleo está sometido a fuerzas electroestáticas de repulsión entre todos los protones.
 - ✓ Al aumentar el número atómico, aumentan el número de protones y, como consecuencia, las fuerzas de repulsión.
 - ✓ Para superar ese incremento en la repulsión, la proporción de neutrones en el núcleo debe aumentar para mantenerlo estable.
 - ✓ Al aumentar las fuerzas repulsivas la EE/A decrece, por lo que es un indicador del grado de estabilidad.
 - ✓ Los núcleos más pesados son más fácilmente fisionables.
 - ✓ Los nucleídos más estables tienen un mayor EE/A.



FISIÓN NUCLEAR

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)