



UCSF
Universidad Católica
de Santa Fe

Farmacia



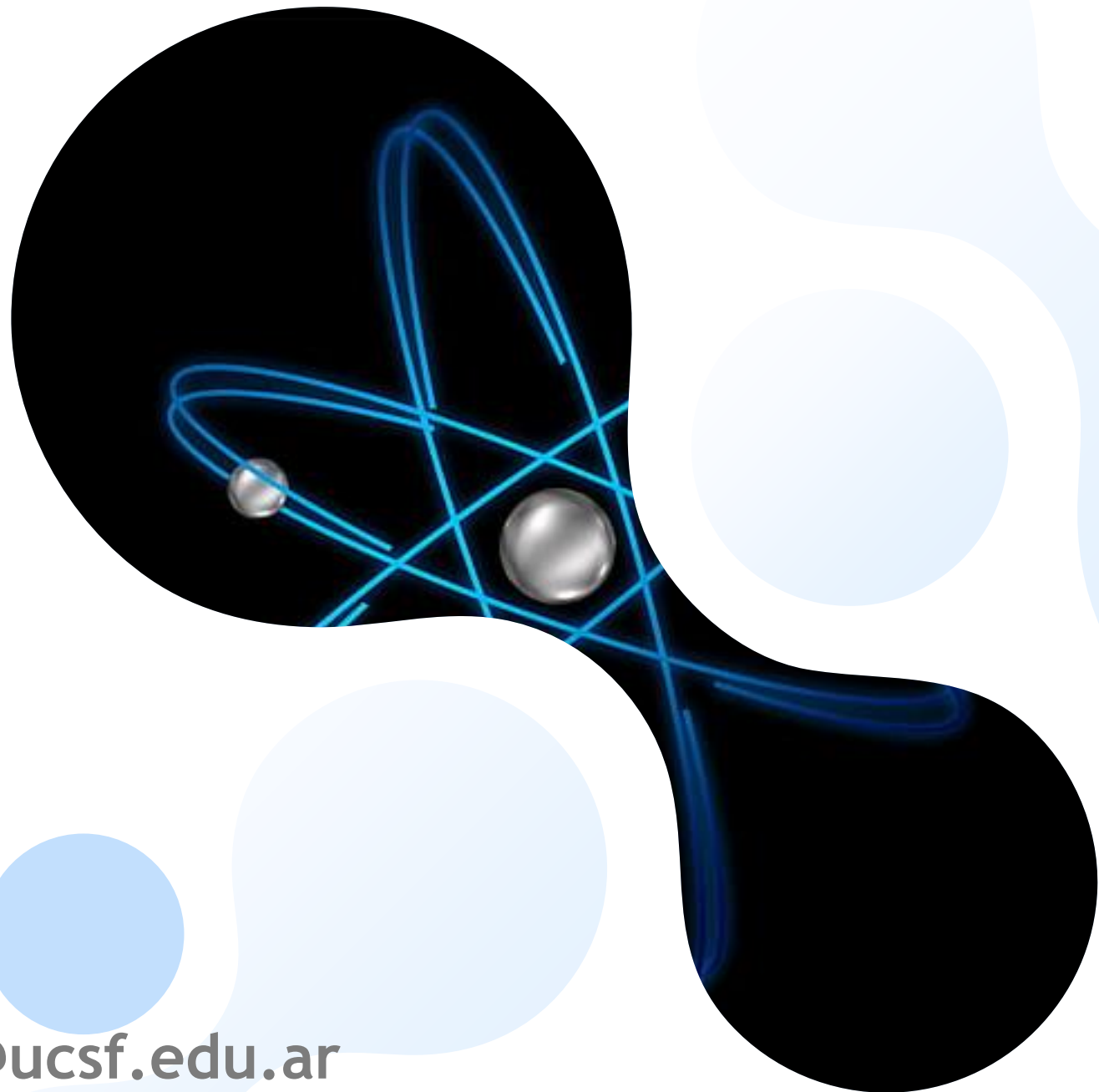
Facultad de Ciencias de la Salud

Química General

Cristhian Andrés
Fonseca B.



cristhian.fonsecabenitez@ucsf.edu.ar



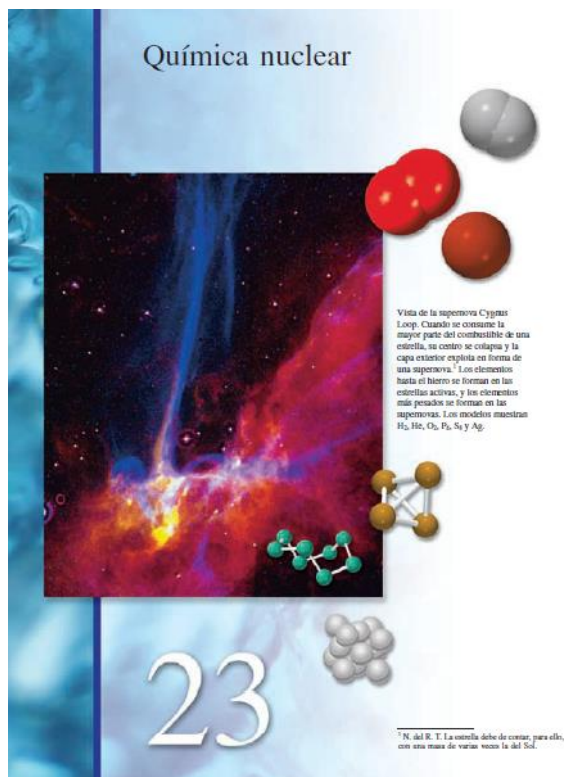


Química Nuclear





Bibliografía de apoyo



Chang, Capítulo 23



Brown, Capítulo 21



Whitten, Capítulo 22



Núcleo Atómico

Z

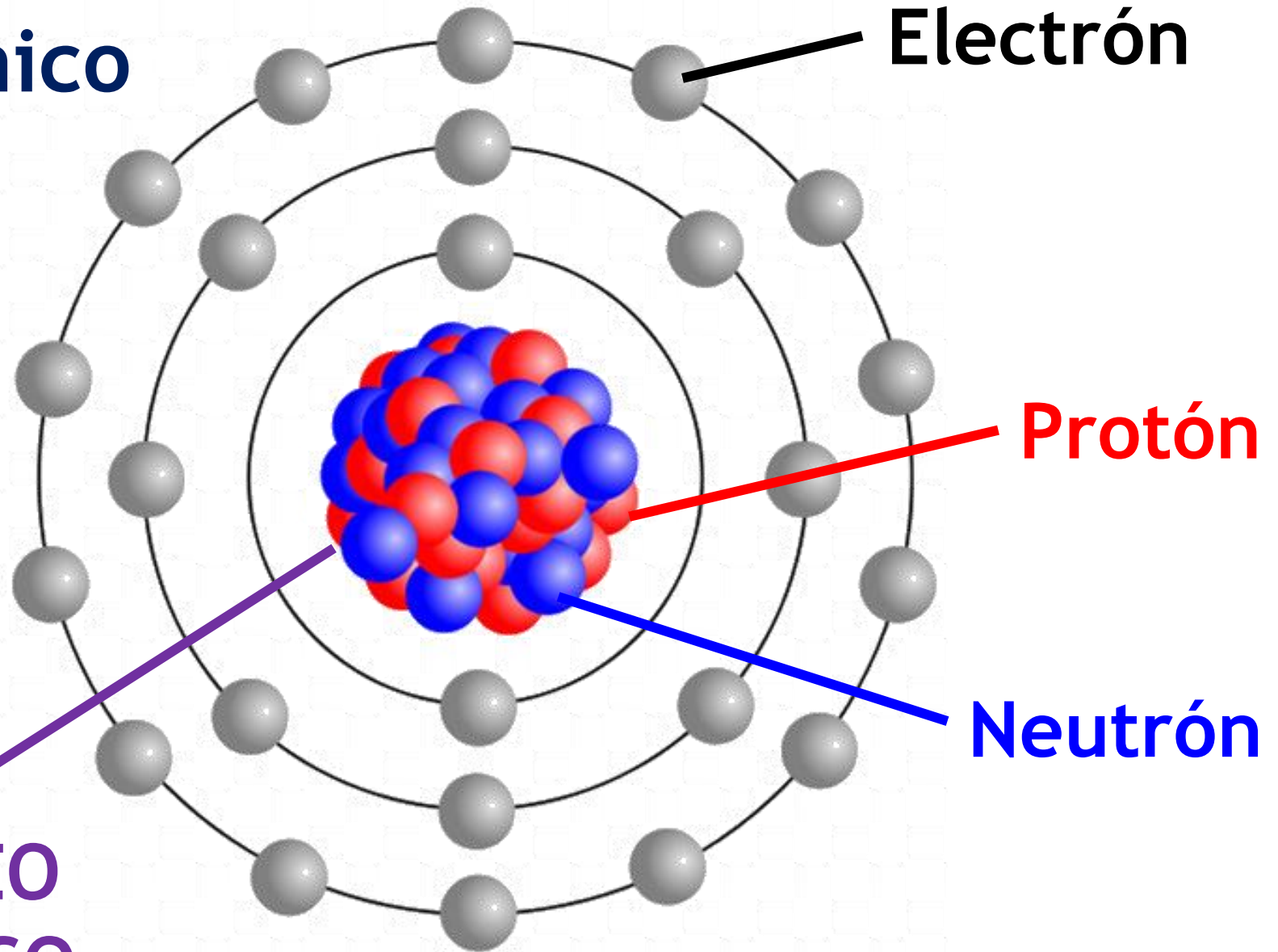
Número de **PROTONES** en el núcleo

A

Suma de **PROTONES** + **NEUTRONES**

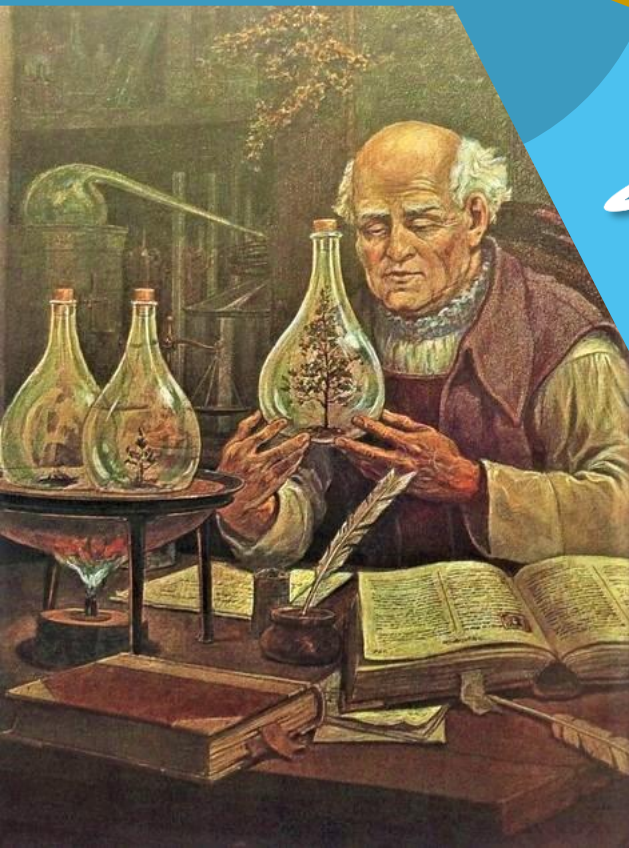
$$A = Z + n^{\circ}$$

NÚCLEO ATÓMICO





Alquimia



Utilización de “**elíxires**” para activar la transmutación.

Alquimia Médica
“**Elixir de la vida**”
Objetivo: Inmortalidad.
“Panacea”: Cura para todos los males



Transmutación

Cambio de un metal a otro, especialmente a **oro**

Alquimia Mineral
“**Piedra Filosofal**”
Objetivo: Oro



Astrología y Astronomía

Teúrgia: magia divina
Taumaturgia: magia práctica

Relacionadas con rituales de invocación y evocación para lograr unirse con “lo divino” (hénosis)



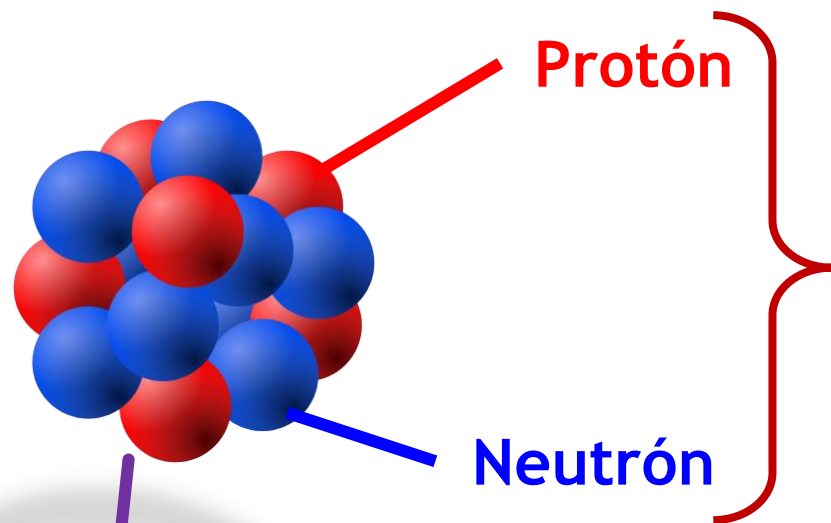
Número de **PROTONES** en el núcleo

El ser humano, en su ambición de poseer oro, dedicó mucho tiempo infructuosamente en transformar sustancias en ese metal.

La identidad de los elementos está dada por Z



Núcleo Atómico



Nucleones

Partícula	Masa (uma)	Carga
Electrón (e^-)	0.00054858	1-
Protón (p o p^+)	1.0073	1+
Neutrón (n o n^0)	1.0087	ninguna

El núcleo sólo constituye una fracción insignificante del volumen total de un átomo; sin embargo, casi toda la masa de un átomo reside en el núcleo. Por lo tanto, los núcleos son extremadamente densos.



Reacciones Nucleares

La energía química que sustenta la vida sobre la Tierra, en esencia, proviene de la luz solar. Las plantas convierten la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, produciendo oxígeno y carbohidratos. La vida sobre la Tierra no podría existir sin la energía solar, pero, ¿de dónde obtiene el Sol su energía? Las estrellas, incluyendo a nuestro Sol, utilizan **reacciones nucleares**. Las reacciones nucleares comprenden cambios en la composición de los núcleos; estos procesos extraordinarios suelen venir acompañados de un desprendimiento de cantidades enormes de energía y de la **transmutación** de los elementos.

Reacción nuclear	Reacción química ordinaria
1. Los elementos pueden convertirse en otros elementos.	1. No se forman nuevos elementos.
2. Intervienen las partículas que forman el núcleo.	2. Sólo participan electrones.
3. Se absorben o se desprenden cantidades enormes de energía.	3. Se absorben o se desprenden cantidades de energía relativamente pequeñas.
4. No influyen factores externos en la velocidad de reacción.	4. La velocidad de reacción depende de factores como concentración, temperatura, catalizadores y presión.

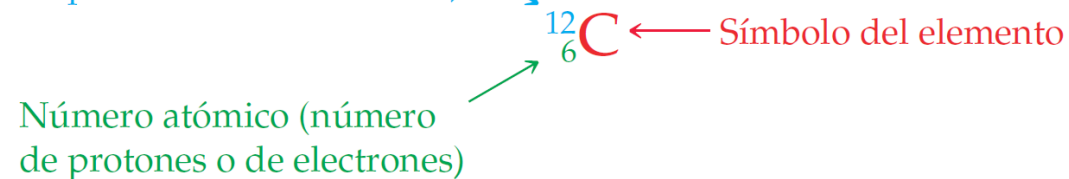


Isótopos y núclidos

Los átomos con el mismo número atómico pero diferentes números de masa se conocen como *isótopos*. Distintos isótopos tienen diferentes abundancias naturales. Los distintos isótopos de un elemento también tienen estabilidades diferentes. De hecho, las propiedades nucleares de cualquier isótopo dependen del número de protones y neutrones en su núcleo.

El término “núclido” se usa para referirse a formas atómicas distintas de todos los elementos, es decir, es un núcleo con un número específico de protones y neutrones.

Número de masa (número de protones más neutrones)



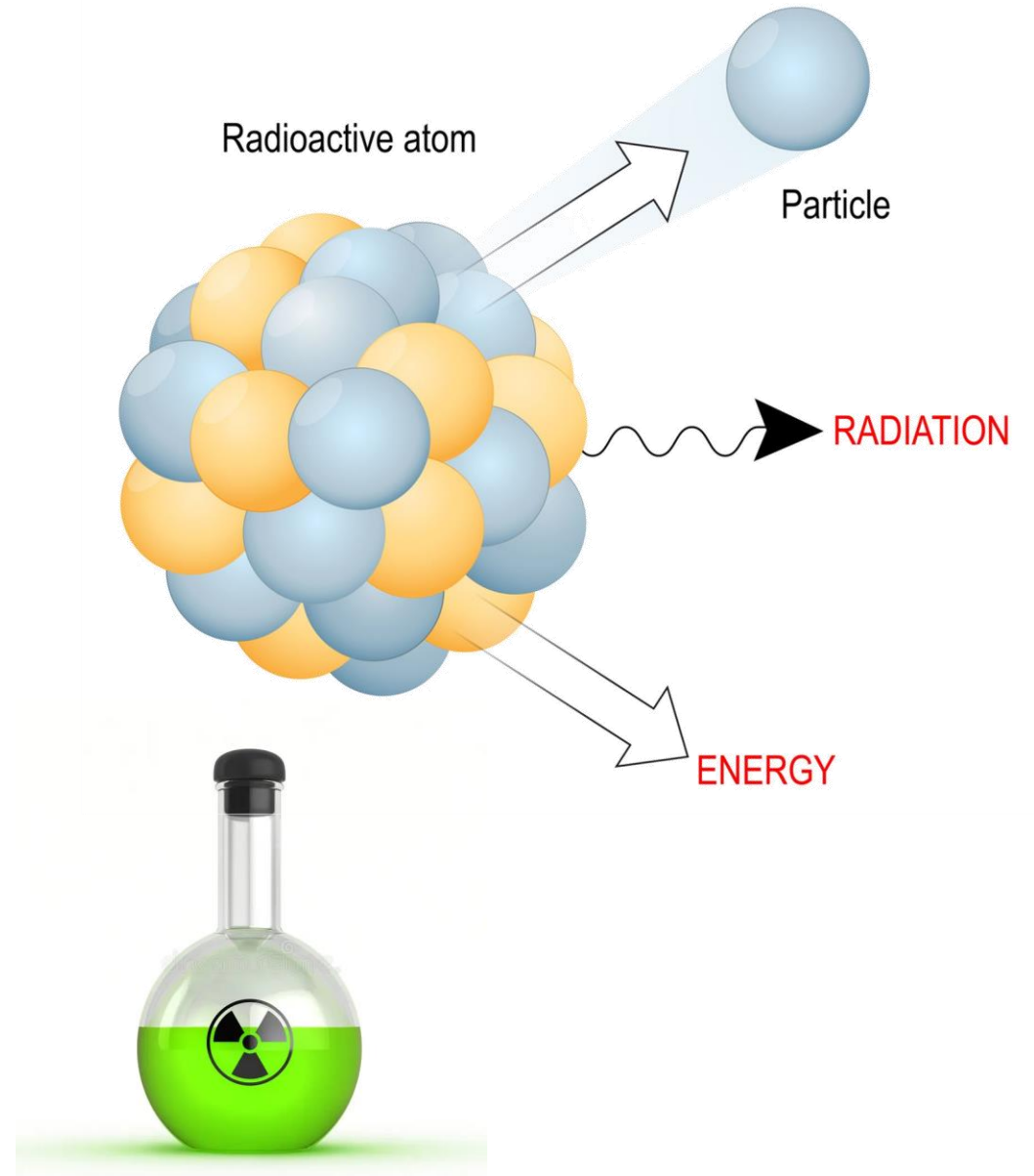
Número atómico (número de protones o de electrones)



Isótopos y núclidos

La mayoría de los núcleos que se encuentran en la naturaleza son estables y permanecen intactos indefinidamente. Sin embargo, algunos núcleos son inestables y, de forma espontánea, emiten partículas y radiación electromagnética. A este fenómeno se le llama **radiactividad**. La emisión de radiación es una de las formas en las que un núcleo inestable se transforma en uno más estable con menos energía. La radiación emitida es la portadora de la energía en exceso.

Todos los elementos con número atómico mayor de 83 son radiactivos. Los núclidos que son radiactivos se conocen como **radionúclidos** y los átomos que contienen estos núcleos se conocen como **radioisótopos**.



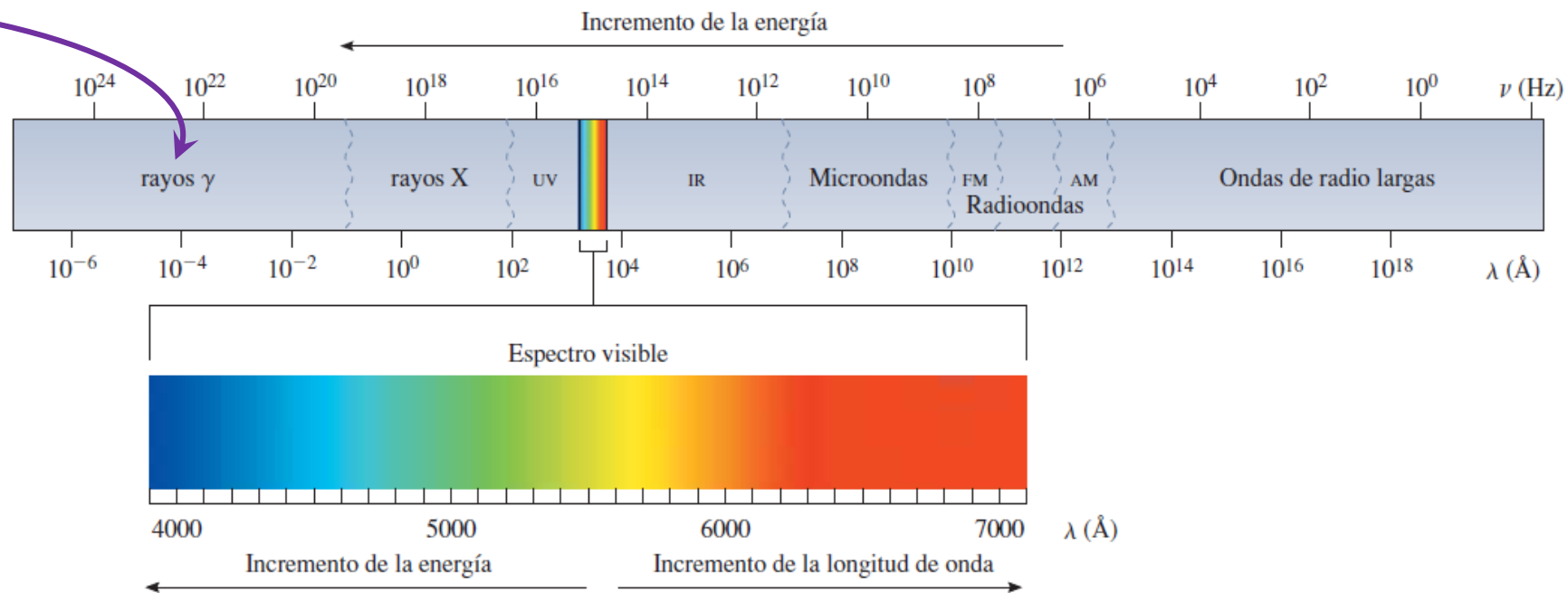


Reacciones Nucleares

TABLA 21.1 • Propiedades de la radiación alfa, beta y gamma

Propiedad	Tipo de radiación		
	α	β	γ
Carga	2+	1-	0
Masa	6.64×10^{-24} g	9.11×10^{-28} g	0
Poder relativo de penetración	1	100	10,000
Naturaleza de la radiación	Núcleos de ${}^4_2\text{He}$	Electrones	Fotones de alta energía

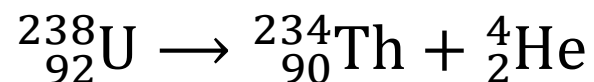
Los tres tipos más comunes de radiación emitida cuando un radionúclido decae son la radiación **alfa** (α), **beta** (β) y **gamma** (γ).





Reacciones Nucleares

Uno de los elementos más asociados a la radiactividad es el Uranio (Z=92). El isótopo uranio-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) es radiactivo y experimenta una reacción nuclear en la que se emiten espontáneamente núcleos de helio-4 (Z=2). Las partículas de helio-4 se conocen como **partículas alfa** (α , ^4_2He) y el flujo de estas partículas se conoce como *radiación alfa*. Cuando un núcleo de $^{238}_{92}\text{U}$ pierde una partícula alfa, el fragmento restante tiene un número atómico de 90 y un número de masa de 234. Si observa la tabla periódica, verá que el elemento con número atómico 90 es el Th, torio. Esta reacción se representa mediante la siguiente **ecuación nuclear**:



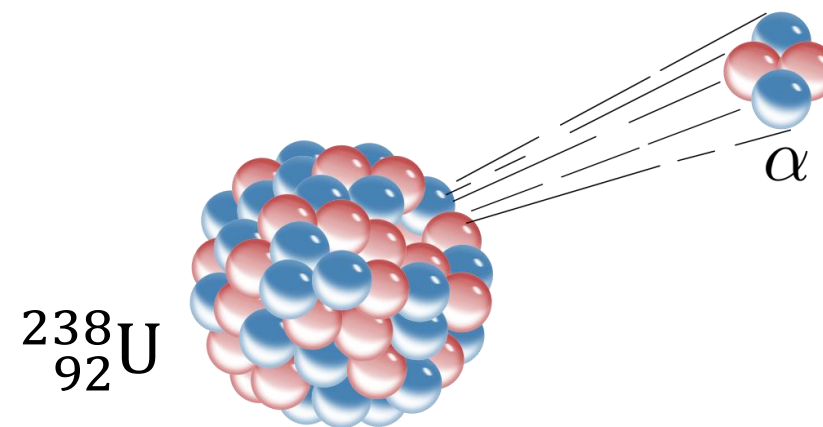
Se dice que cuando un núcleo se desintegra (o decae) espontáneamente de esta forma, se ha desintegrado, o que ha experimentado una **desintegración radiactiva**.



Uraninita (UO_2)



Tobernita
($\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}$)

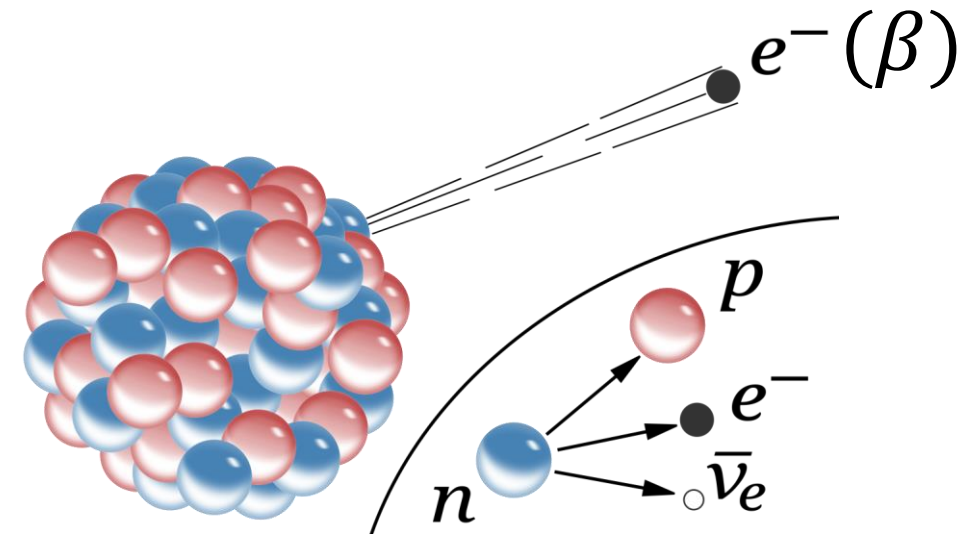
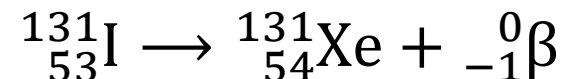




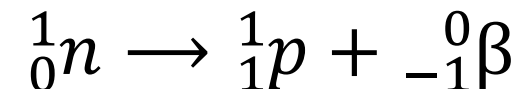
Reacciones Nucleares

La *radiación beta* consiste en flujos de **partículas beta** (β), que son electrones de alta velocidad emitidos por un núcleo inestable. Las partículas beta se representan en las ecuaciones nucleares como ${}_{-1}^0e$ o algunas veces como ${}_{-1}^0\beta$. El superíndice 0 indica que la masa del electrón es extremadamente pequeña comparada con la masa de un nucleón. El subíndice -1 representa la carga negativa de la partícula beta, la cual es opuesta a la del protón.

El yodo-131 es un isótopo que experimenta desintegración por **emisión beta**:



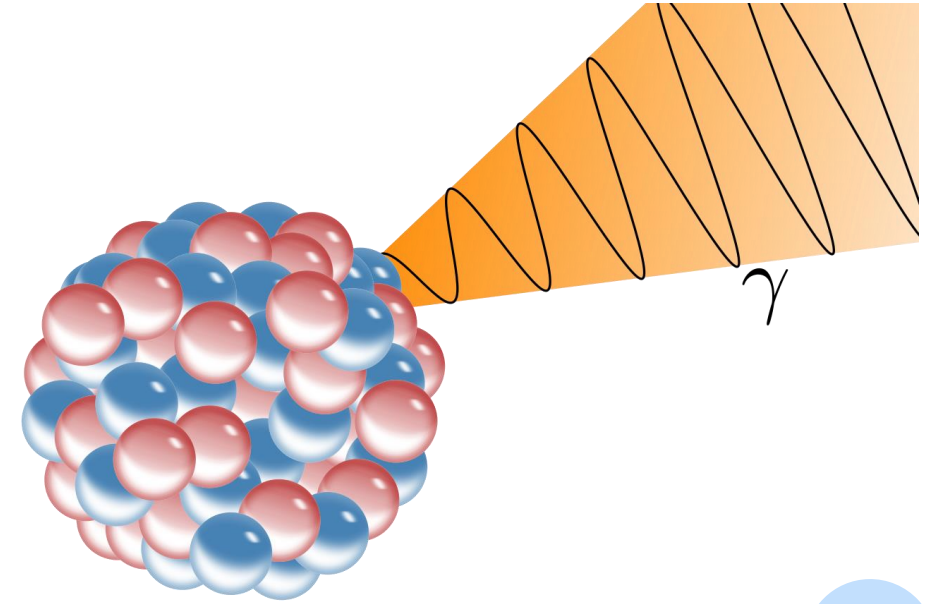
En esta ecuación se observa que la desintegración beta ocasiona que el número atómico del reactivo aumente de 53 a 54, lo que significa que se ha creado un protón. Por lo tanto, la emisión beta equivale a la conversión de un neutrón en un protón:





Reacciones Nucleares

La *radiación gamma* (γ) (o **rayos gamma**) consiste en fotones de alta energía (es decir, una radiación electromagnética de longitud de onda muy corta). Esta no cambia el número atómico ni el número de masa de un núcleo y se representa como ${}^0_0\gamma$ o simplemente como γ . La radiación gamma en general acompaña a otras emisiones radiactivas porque representa la energía perdida cuando los nucleones en una reacción nuclear se reorganizan en arreglos más estables. Por lo general, los rayos gamma no se muestran cuando escribimos ecuaciones nucleares.

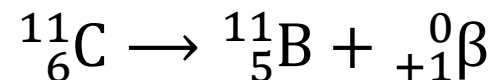




Reacciones Nucleares

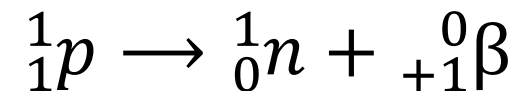
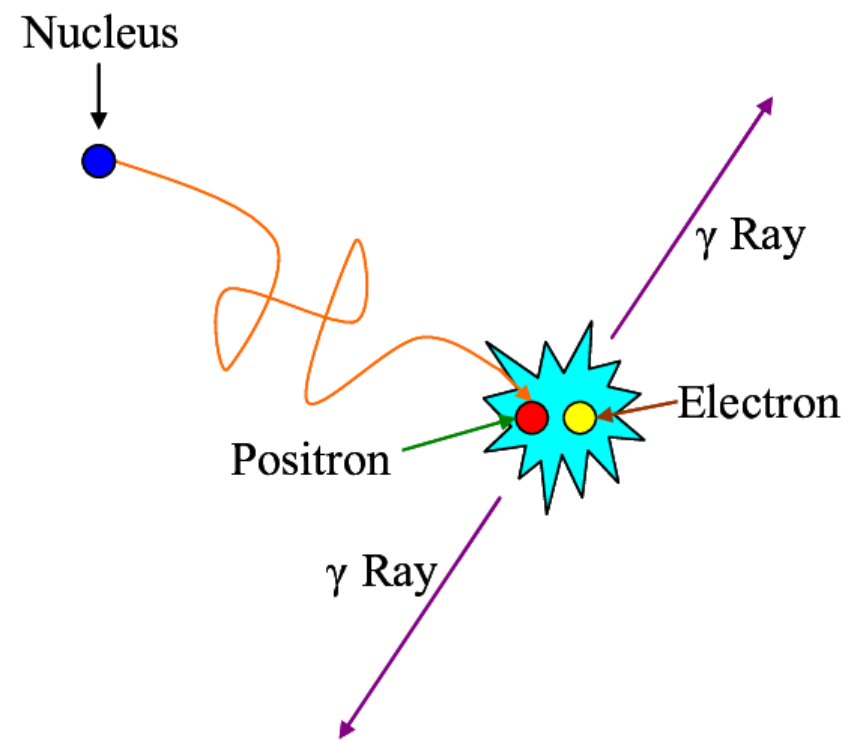
Otros dos tipos de desintegración radiactiva son la **emisión de positrones** y la **captura de electrones**. Un positrón (${}_{+1}^0e$ o ${}_{+1}^0\beta$), es una partícula que tiene la misma masa que un electrón (así, se emplea la letra e y el superíndice 0 para la masa), pero carga opuesta (representada por el subíndice +1).*

El isótopo del carbono-11 se desintegra por emisión de positrones:



La emisión de positrones ocasiona que el número atómico del reactivo en esta ecuación disminuya de 6 a 5, ya que tiene el efecto de convertir un protón en un neutrón y, por consiguiente, disminuye en 1 el número atómico del núcleo:

*El positrón tiene una vida muy corta porque es aniquilado cuando colisiona con un electrón, produciendo rayos γ :



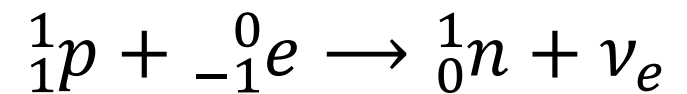
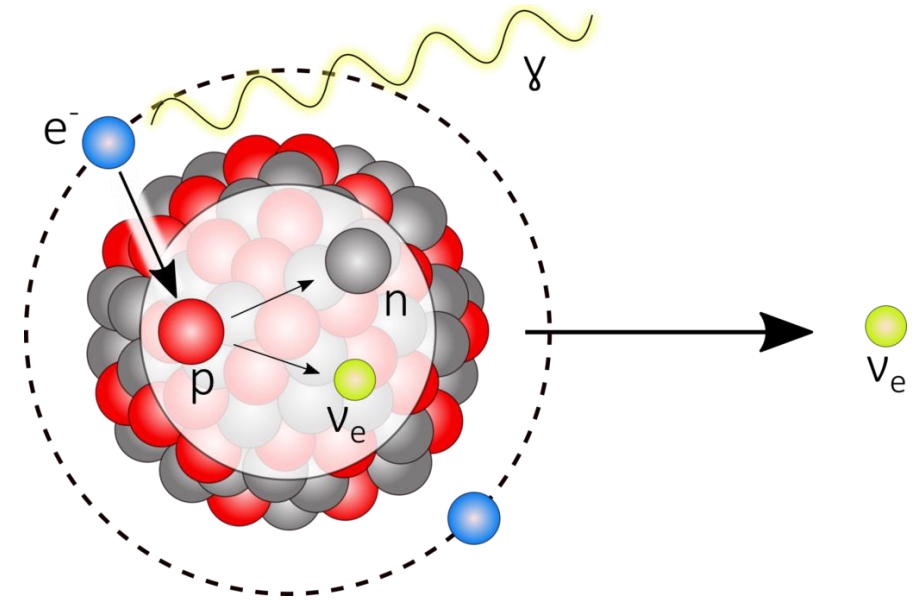


Reacciones Nucleares

La **captura de electrones** la realiza el núcleo de un electrón de la nube electrónica que rodea al núcleo, como en este decaimiento del rubidio-81:



Debido a que el electrón se consume en lugar de formarse en el proceso, se muestra en el lado de los reactivos de la ecuación. La captura de electrones, al igual que la emisión de positrones, tiene el efecto de convertir un protón en un neutrón, y en el proceso se emiten rayos γ y un neutrino. De esta manera, el número atómico disminuye en una unidad, pero el número de masa no cambia.





Reacciones Nucleares

TABLA 21.3 • Tipos de desintegración radiactiva

Tipo	Ecuación nuclear	Cambio en el número atómico	Cambio en el número de masa
Decaimiento alfa	${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$	-2	-4
Emisión beta	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$	+1	Inalterado
Emisión de positrones	${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1e$	-1	Inalterado
Captura de electrones*	${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y$	-1	Inalterado

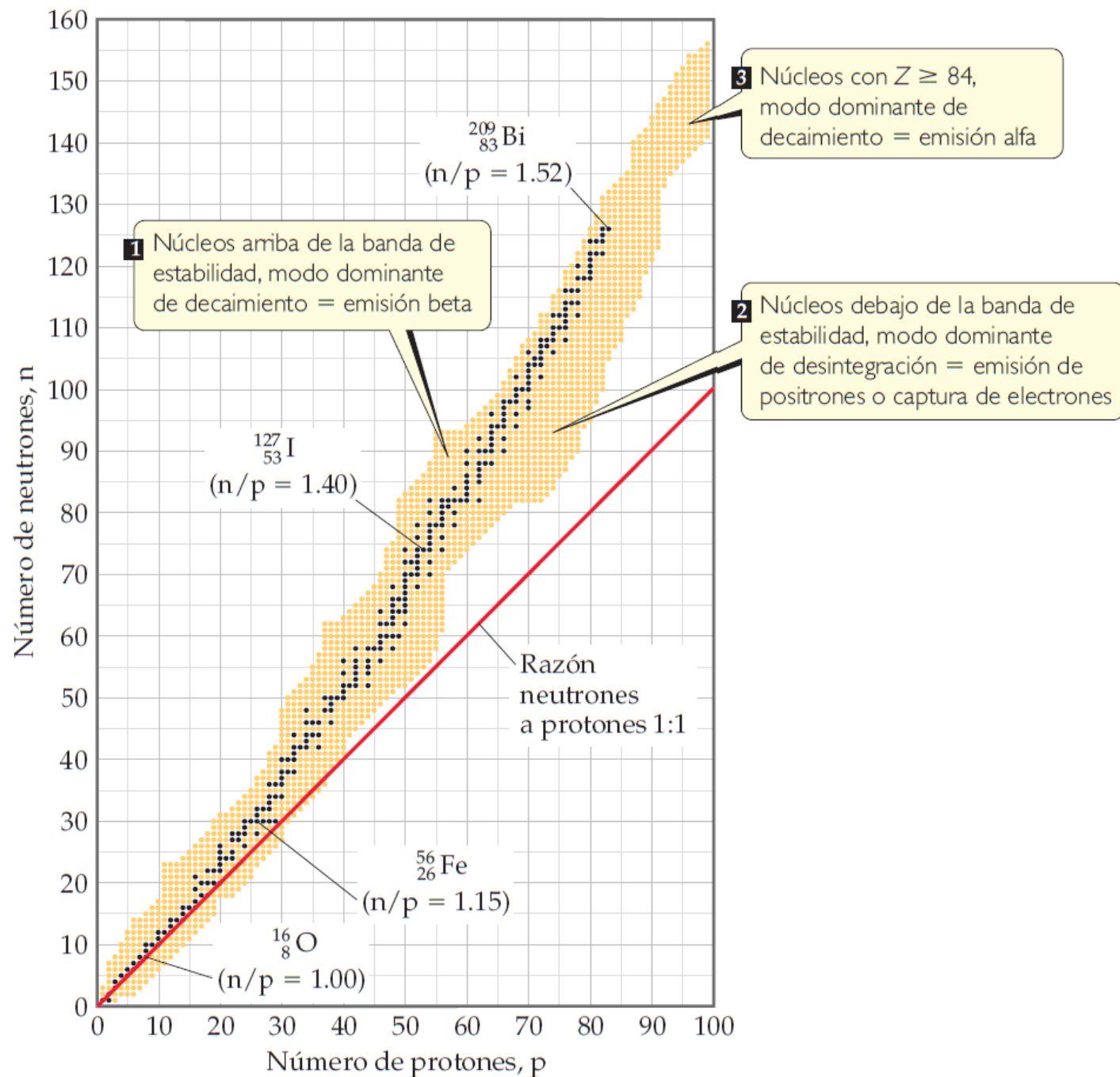


Estabilidad

No hay una regla única que permita predecir si un núcleo específico es radiactivo, y si lo es, cómo podría desintegrarse. Sin embargo, varias observaciones empíricas ayudan a predecir la estabilidad de un núcleo.

En general, tres observaciones pueden ayudar a predecir la estabilidad de un núcleo atómico:

- Ubicación en la banda de estabilidad
- Números “mágicos”
- Paridad de nucleones



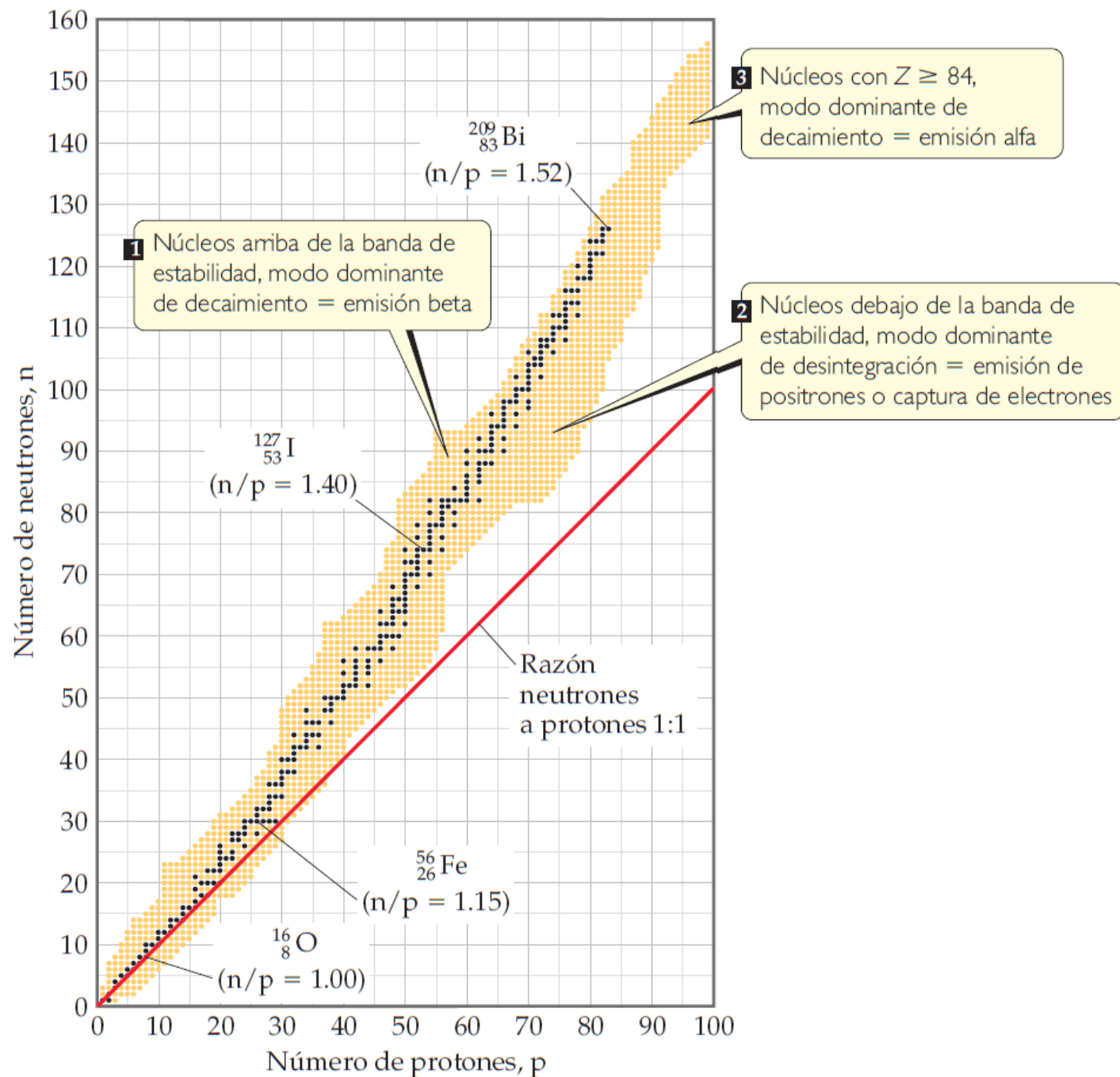


Estabilidad

Proporción de neutrones a protones

Conforme aumenta el número de protones en el núcleo, hay una necesidad siempre creciente de neutrones que contrarresten el efecto de las repulsiones protón-protón.

Los puntos de color azul oscuro en la gráfica representan isótopos estables (no radiactivos). La región de la gráfica cubierta por estos puntos de color azul oscuro se conoce como **banda de estabilidad**. La banda de estabilidad termina en el elemento 83 (bismuto), lo que significa que *todos los núcleos con 84 o más protones son radiactivos*.

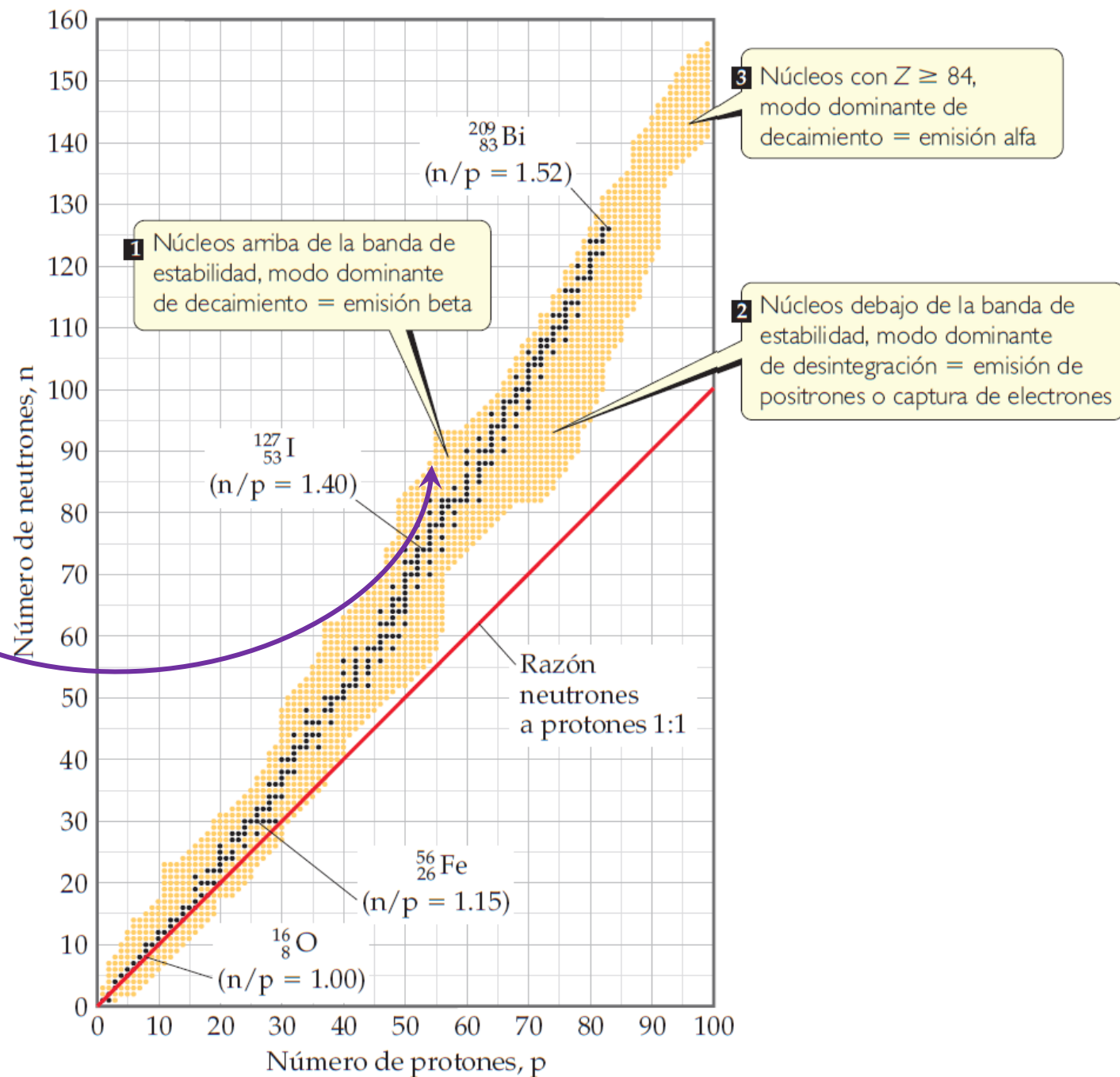




Estabilidad

a) n/p por arriba de la banda de estabilidad

Estos núcleos ricos en neutrones pueden disminuir su proporción y moverse hacia la banda de estabilidad emitiendo una partícula beta, porque la *emisión beta* disminuye el número de neutrones y aumenta el número de protones.

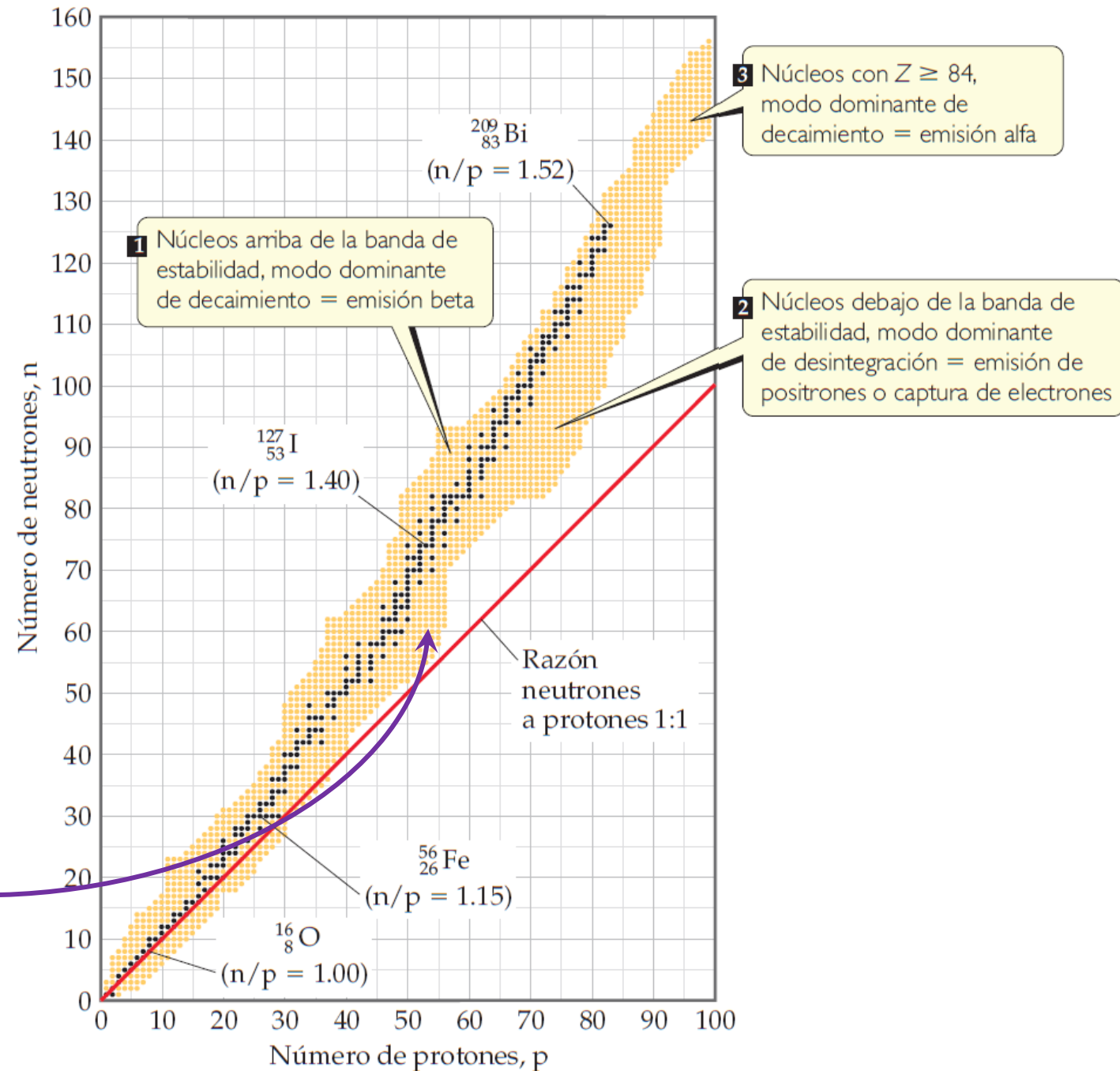




Estabilidad

b) n/p por debajo de la banda de estabilidad

Estos núcleos ricos en protones pueden aumentar su proporción para así acercarse a la banda de estabilidad, ya sea por la *emisión de positrones* o por la *captura de electrones*; ambos tipos de desintegración incrementan el número de neutrones y disminuyen el número de protones. La emisión de positrones es más común entre los núcleos ligeros. La captura de electrones se vuelve cada vez más común conforme aumenta la carga nuclear.

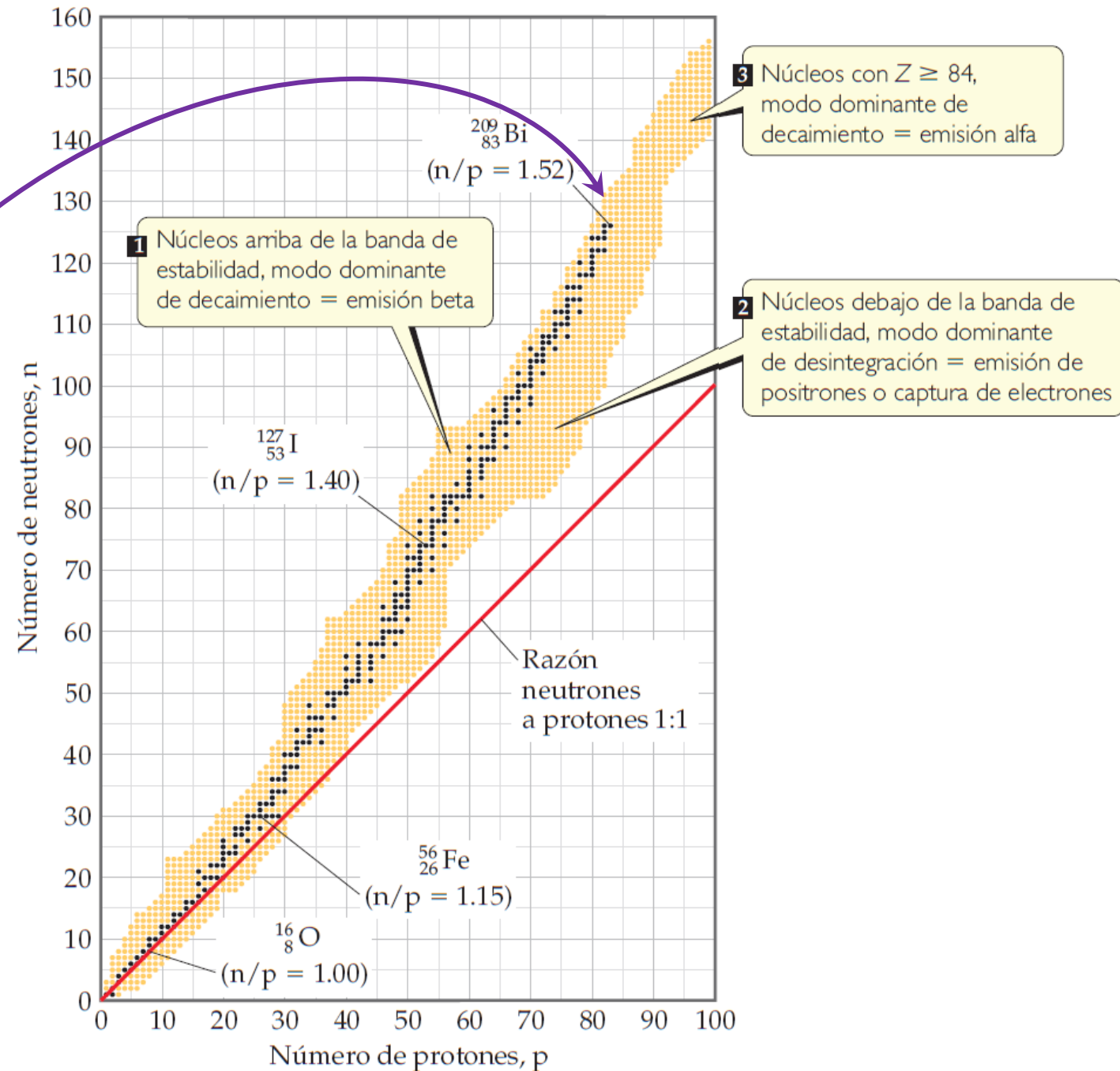




Estabilidad

c) $Z \geq 84$

Estos núcleos pesados tienden a experimentar una *emisión alfa*, que disminuye en 2 tanto el número de neutrones como el número de protones, moviendo el núcleo en diagonal hacia la banda de estabilidad.





Estabilidad

Los núcleos con los **números mágicos** de 2, 8, 20, 28, 50 u 82 protones o 2, 8, 20, 28, 50, 82 o 126 neutrones por lo general son más estables que los núcleos que no tienen estos números de nucleones.

En general, los núcleos con números pares de protones, neutrones o ambos son más estables que aquellos con números impares de protones y/yo neutrones. Aproximadamente 60% de los núcleos estables tienen un número par de protones y neutrones, mientras que menos de 2% tiene números impares de ambos

TABLA 23.2 Número de isótopos estables con números pares e impares de protones y neutrones

Protones	Neutrones	Número de isótopos estables
Impar	Impar	4
Impar	Par	50
Par	Impar	53
Par	Par	164



Estabilidad

Número de isótopos estables

Elementos con dos o menos isótopos

Elementos con tres o más isótopos

1 H (2)																2 He (2)				
3 Li (2)	4 Be (1)														5 B (2)	6 C (2)	7 N (2)	8 O (3)	9 F (1)	10 Ne (3)
11 Na (1)	12 Mg (3)														13 Al (1)	14 Si (3)	15 P (1)	16 S (4)	17 Cl (2)	18 Ar (3)
19 K (2)	20 Ca (5)	21 Sc (1)	22 Ti (5)	23 V (2)	24 Cr (4)	25 Mn (1)	26 Fe (4)	27 Co (1)	28 Ni (5)	29 Cu (2)	30 Zn (5)	31 Ga (2)	32 Ge (4)	33 As (1)	34 Se (5)	35 Br (2)	36 Kr (6)			
37 Rb (1)	38 Sr (3)	39 Y (1)	40 Zr (4)	41 Nb (1)	42 Mo (6)	43 Tc (0)	44 Ru (7)	45 Rh (1)	46 Pd (6)	47 Ag (2)	48 Cd (6)	49 In (1)	50 Sn (10)	51 Sb (2)	52 Te (6)	53 I (1)	54 Xe (9)			

Número de isótopos estables para los elementos 1 a 54.

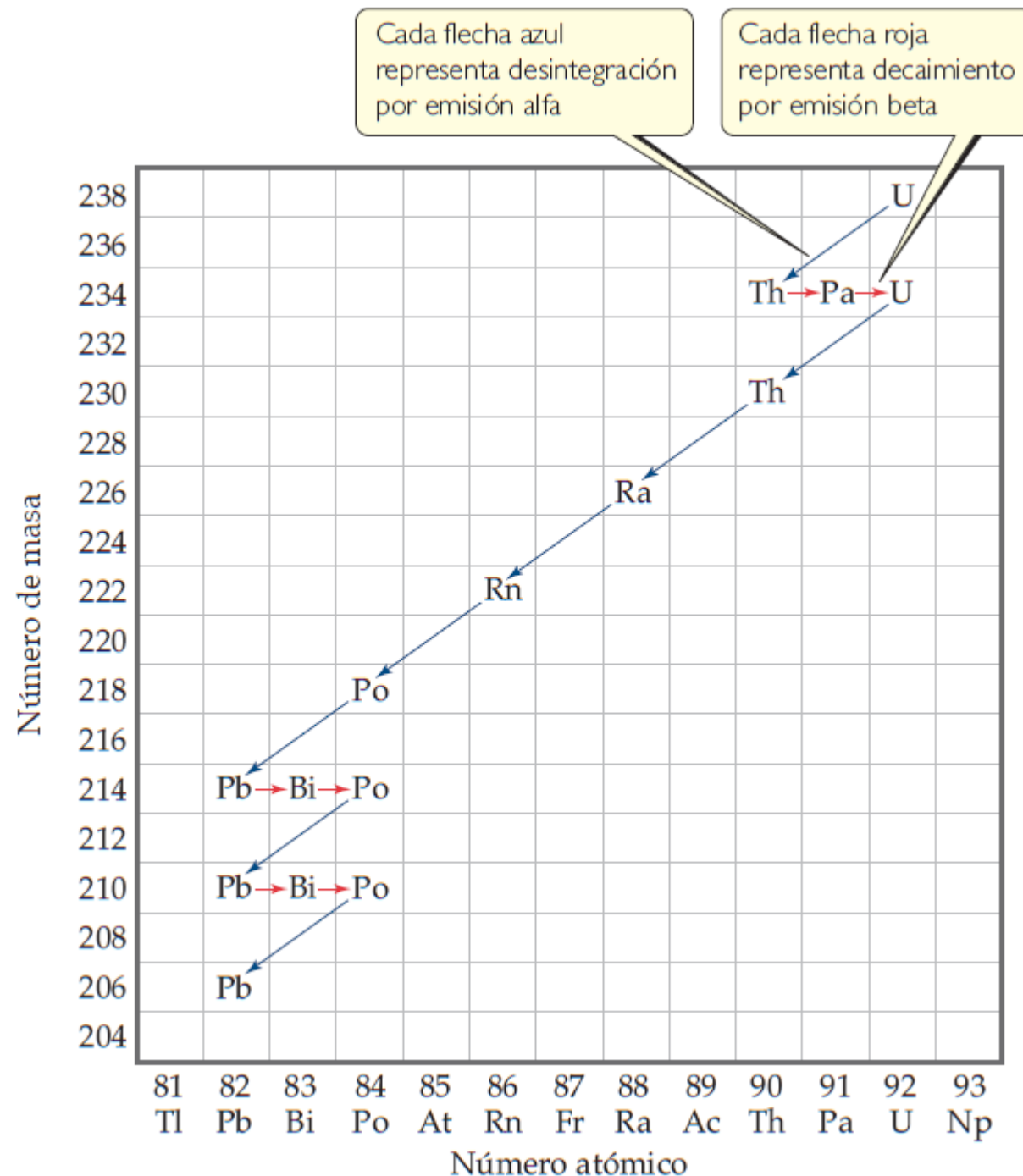


Series radiactivas

Algunos núcleos no pueden obtener estabilidad mediante una sola emisión. En consecuencia, se presenta una serie de emisiones sucesivas y el decaimiento continúa hasta que se forma un núcleo estable. Una serie de reacciones nucleares que comienza con un núcleo inestable y termina con uno estable se conoce como **serie radiactiva**, **serie de decaimiento** o **serie de desintegración nuclear**.

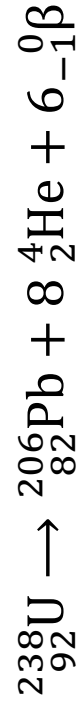
Tres de estas series se presentan en la naturaleza:

- uranio-238 a plomo-206
- uranio-235 a plomo 207
- torio-232 a plomo-208



Serie de decaimiento del uranio-238

El isótopo radiactivo inicial en las etapas de decaimiento radiactivo se llama *padre*, y el producto se conoce como *hijo*.



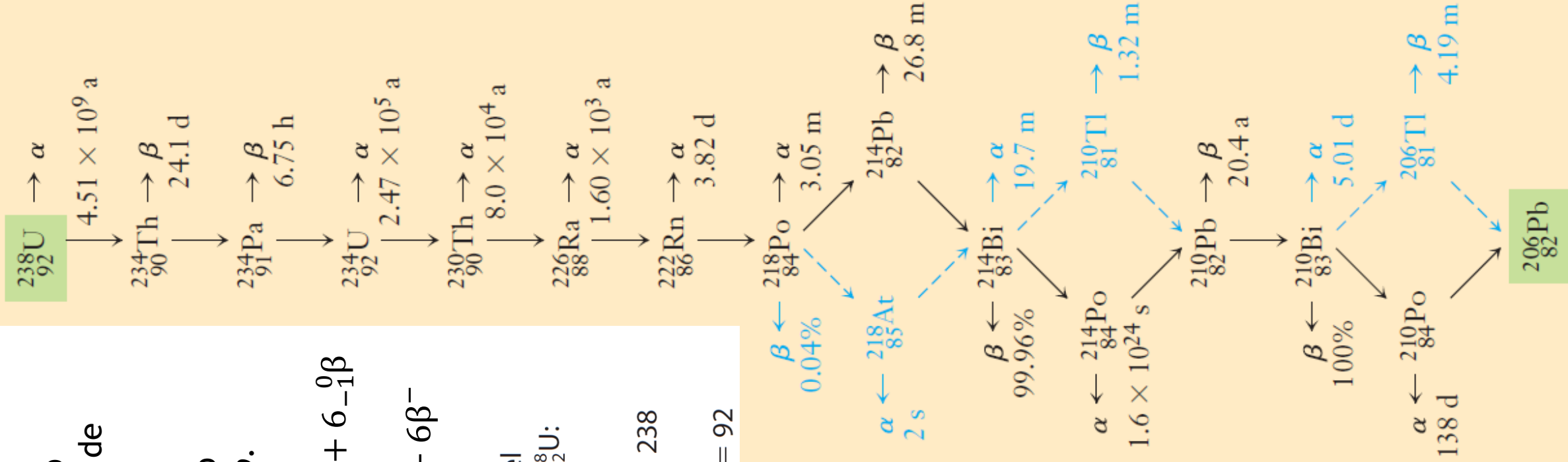
► Balance de masa y carga del decaimiento de la serie del ${}_{92}^{238}\text{U}$:

masa: $238 \rightarrow$

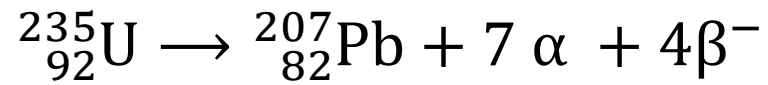
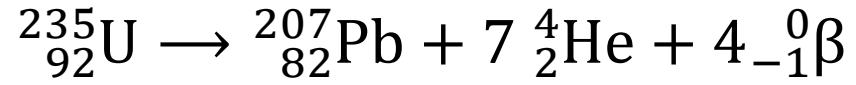
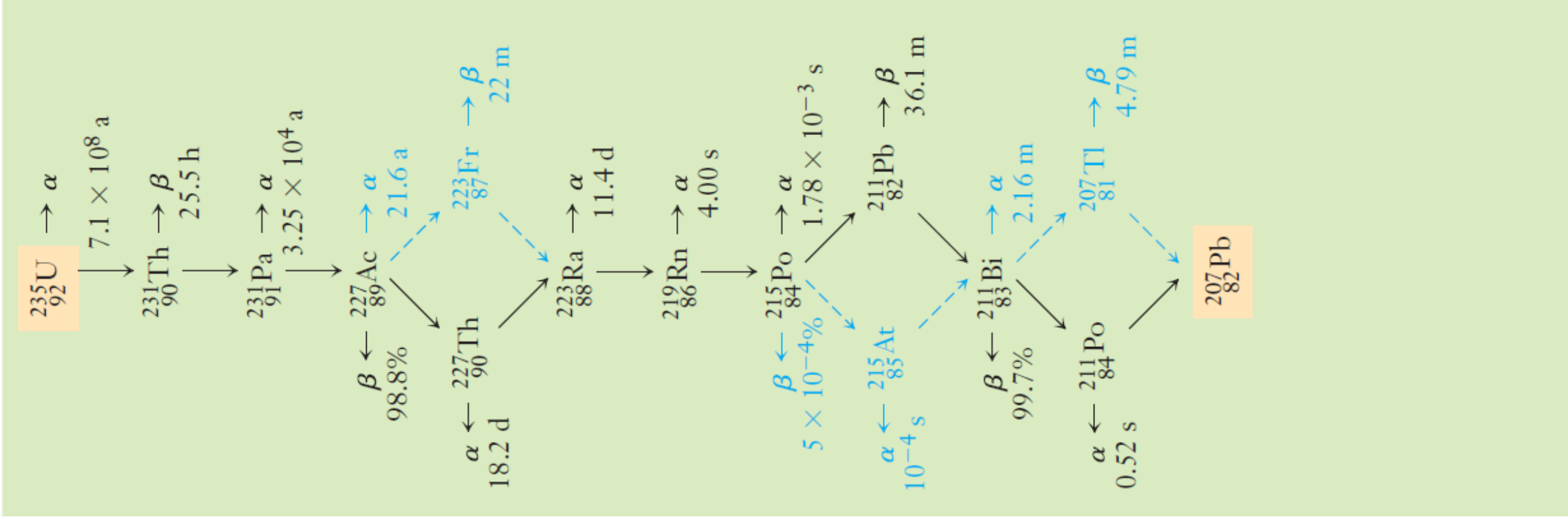
$$206 + 8(4) + 6(0) = 238$$

carga: $92 \rightarrow$

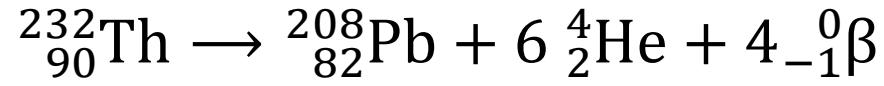
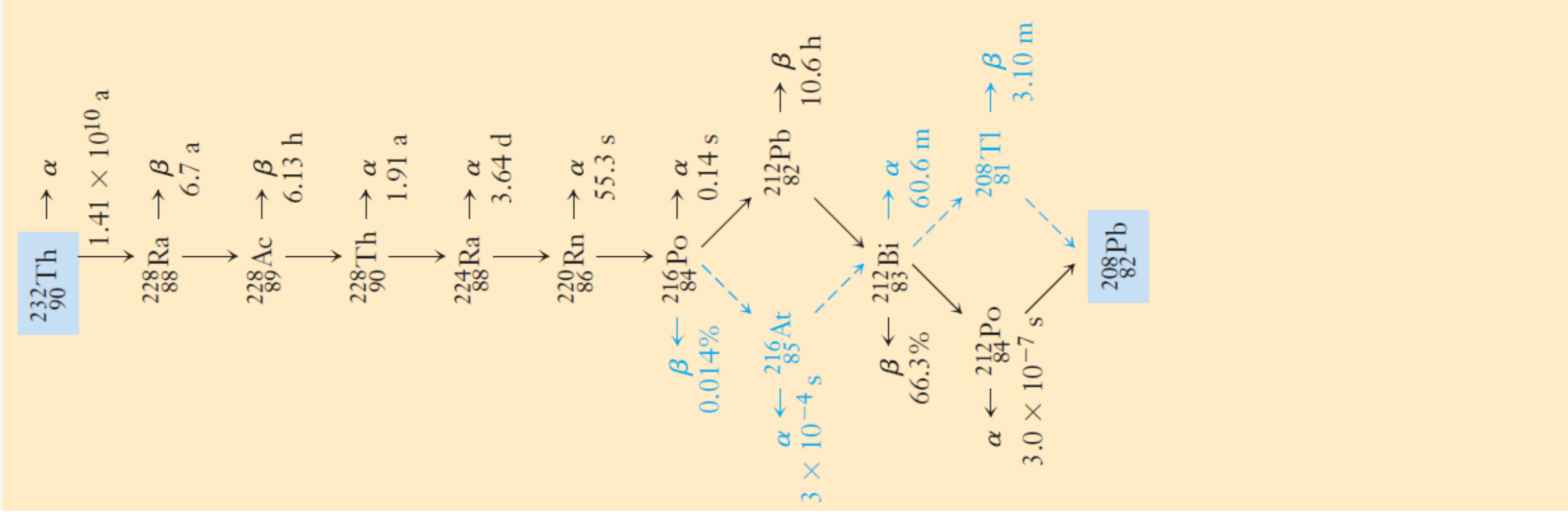
$$82 + 8(+2) + 6(-1) = 92$$



Serie de decaimiento del uranio-235



Serie de decaimiento del torio-232





Series radiactivas

Cinética del decaimiento radiactivo

Todos los procesos de desintegración radiactiva siguen **cinéticas de primer orden**. Por ello, la rapidez de decaimiento radiactivo en cualquier tiempo t está dada por:

$$velocidad = k[A]$$

$$velocidad\ de\ desintegración = \lambda N$$

Donde:

λ : Constante de velocidad de desintegración nuclear

N : Número de núcleos radiactivos que hay en un tiempo t

La velocidad con la que se desintegra una muestra se conoce como **actividad**, y con frecuencia se expresa como el número de desintegraciones observadas por unidad de tiempo. El **becquerel** (Bq) es la unidad del SI para expresar la actividad. Un becquerel se define como una desintegración nuclear por segundo.



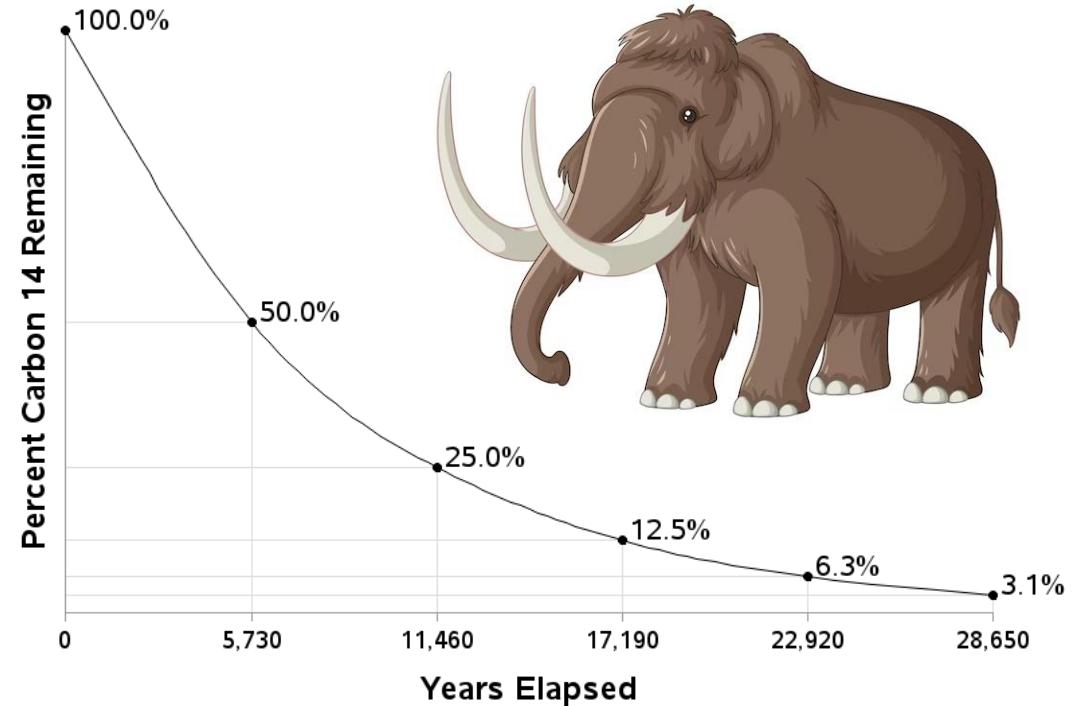
Series radiactivas

Cinética del decaimiento radiactivo

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Conociendo el valor de la vida media, se determina la constante de desintegración λ . Luego se calcula el tiempo que ha pasado para llegar al valor de la fracción $\left(\frac{N_0}{N_t}\right)$ medida con un instrumento.

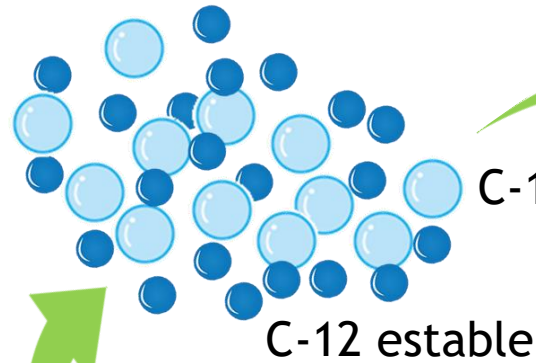
$$\ln \frac{N_0}{N_t} = \lambda t$$





El carbono radiactivo se desintegra con una velocidad conocida. Los paleontólogos pueden determinar la edad de un fósil midiendo la cantidad de carbono-14 que contiene.

Los organismos vivos absorben carbono-14 durante sus vidas



El C-14 decae en N-14 despidiendo un electrón



Nitrógeno

Electrón



Fósil



Una pequeña porción de fósil es incinerada y convertida en gas (CO₂)



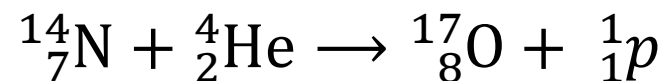
Un contador de radiación registra el número de electrones emitidos





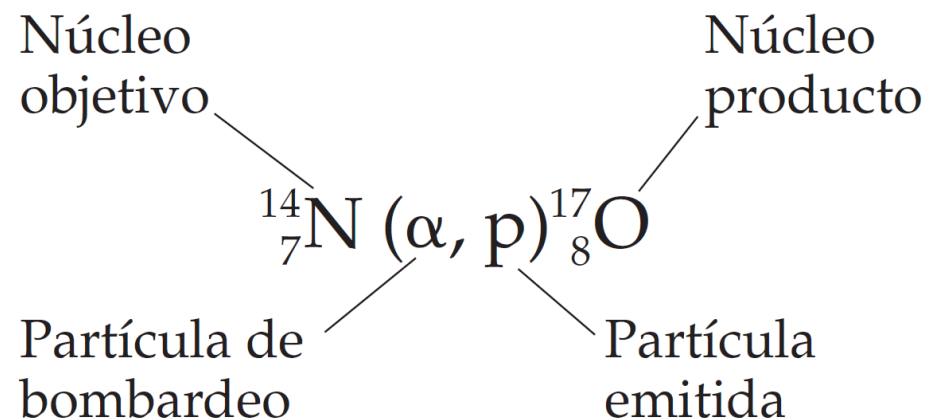
Transmutación Nuclear

La química nuclear sería un campo limitado si sólo se dedicara a estudiar los elementos radiactivos naturales. En este sentido, un experimento que realizó Rutherford en 1919, sugirió que era posible producir radiactividad por medios artificiales. Cuando Rutherford bombardeó una muestra de nitrógeno con partículas α , se llevó a cabo la siguiente reacción:



Esta reacción demostró, por primera vez, que era posible transformar un elemento en otro mediante el proceso de **transmutación nuclear**. A diferencia de la desintegración radiactiva, dicho proceso resulta a partir de la colisión de dos partículas.

La reacción anterior se abrevia como:

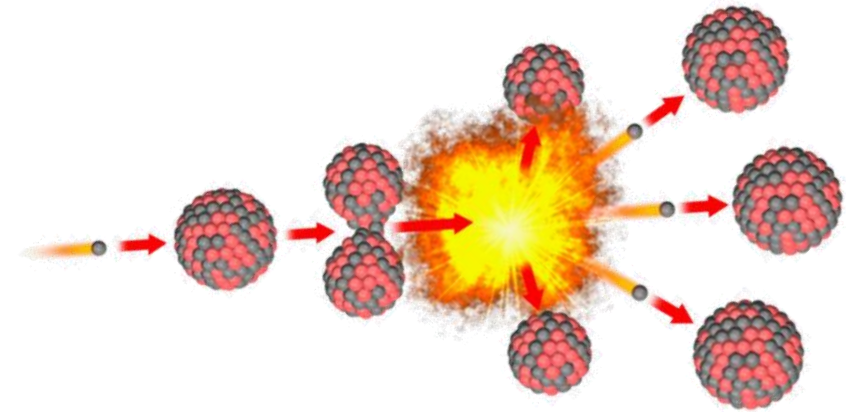




Fisión Nuclear

Los isótopos de algunos elementos con número atómico superior a 80 pueden experimentar **fisión nuclear**, en la cual dichos isótopos se fragmentan en núcleos de masa intermedia y emiten uno o más neutrones. Algunas fisiones son espontáneas; en otras se requiere que se suministre la energía de activación por bombardeo. Un núcleo dado puede fragmentarse en muchas formas distintas, con desprendimiento de cantidades enormes de energía.

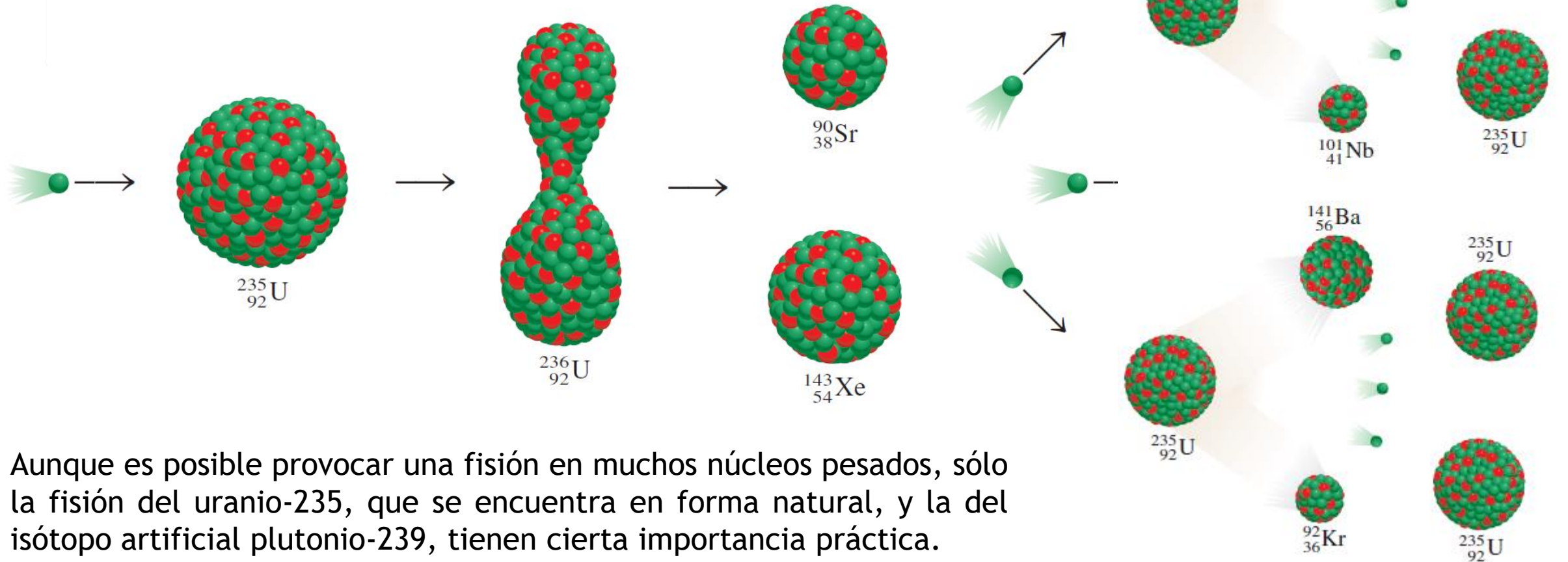
Las plantas comerciales de energía nuclear y la mayor parte del armamento nuclear dependen del proceso de fisión nuclear para su funcionamiento.





Fisión Nuclear

Las reacciones de fisión hacen que se presente una reacción nuclear en cadena, es decir, una secuencia autosuficiente de reacciones de fisión nuclear.

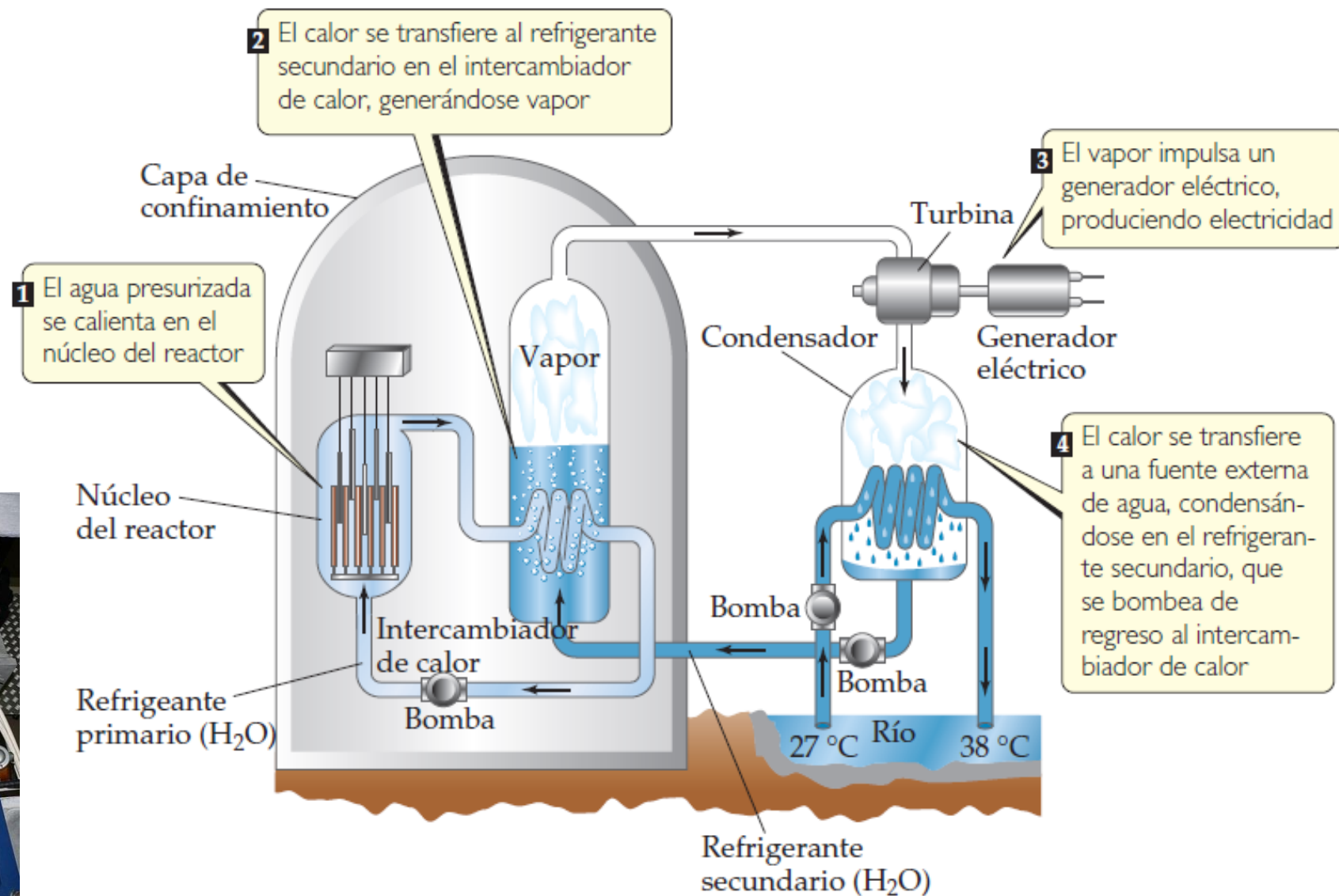
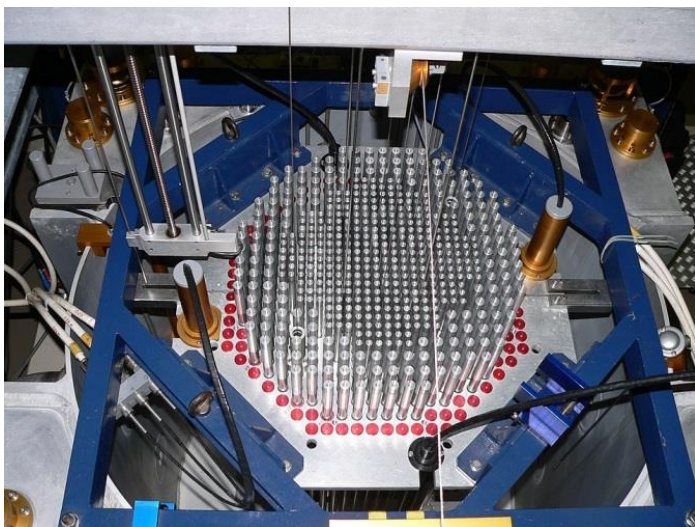


Aunque es posible provocar una fisión en muchos núcleos pesados, sólo la fisión del uranio-235, que se encuentra en forma natural, y la del isótopo artificial plutonio-239, tienen cierta importancia práctica.



Fisión Nuclear

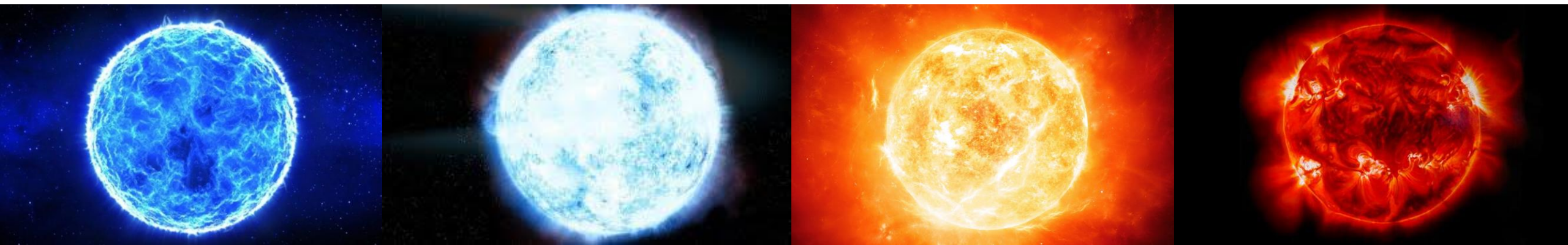
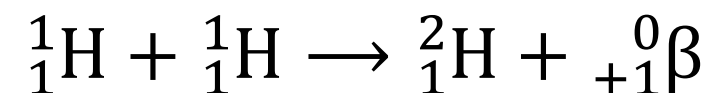
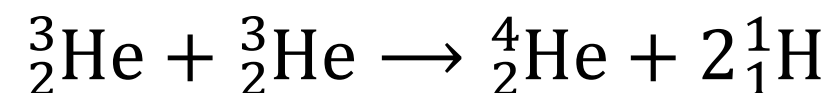
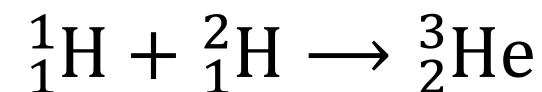
Una aplicación de la fisión nuclear con fines pacíficos, aunque controvertida, es la generación de electricidad aprovechando el calor de una reacción en cadena controlada en un reactor nuclear.





Fusión Nuclear

A diferencia del proceso de fisión nuclear, la **fusión nuclear**, es decir, la combinación de pequeños núcleos en otros más grandes, está exenta, en gran parte, del problema asociado con la disposición de los desechos. La fusión nuclear es un proceso continuo en el Sol, el cual se compone principalmente de hidrógeno y helio. Las reacciones de fusión suelen llamarse también reacciones termonucleares, porque se llevan a cabo sólo a temperaturas muy elevadas, en las cuales la materia es una mezcla de iones positivos y electrones conocida como **plasma**.





Fusión Nuclear

1	2	3	4
Los átomos de hidrógeno se calientan	Ocurre una fusión nuclear	Helio, neutrones y energía se liberan	La energía de los neutrones calienta el agua

