



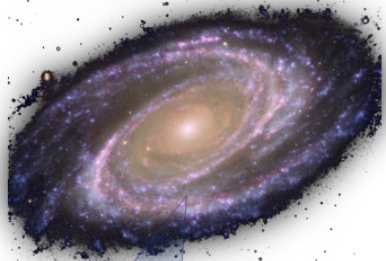
# Introducción a la investigación en Física Nuclear: de lo infinitamente pequeño a lo infinitamente grande

Masterclass en Física Nuclear  
17 de Febrero de 2026

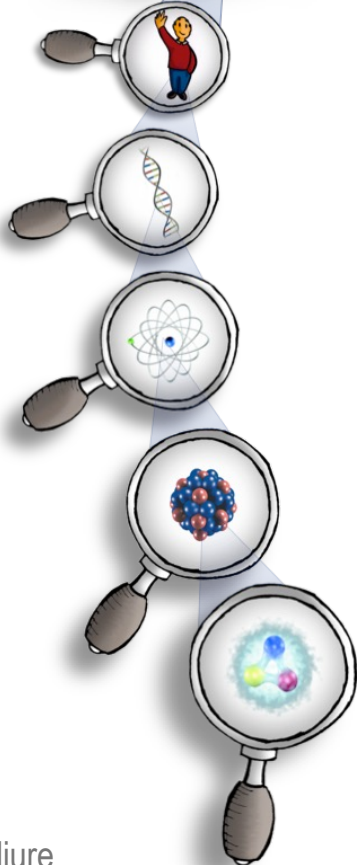
José Benlliure

Instituto de Física Corpuscular (CSIC – Universitat de València)

# Entre dos infinitos

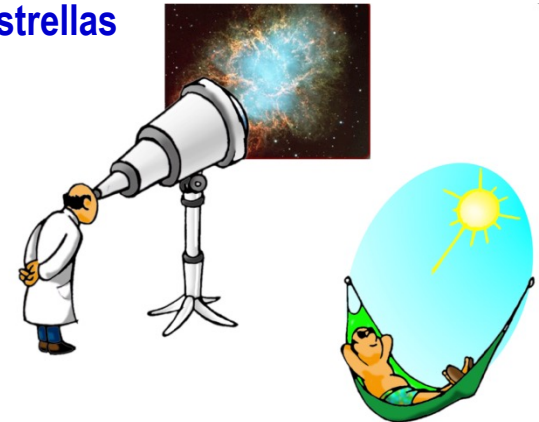
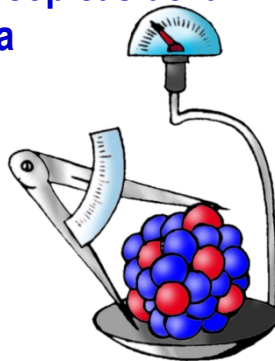


**La comprensión de nuestro Universo requiere un conocimiento preciso sobre la estructura microscópica de la materia**

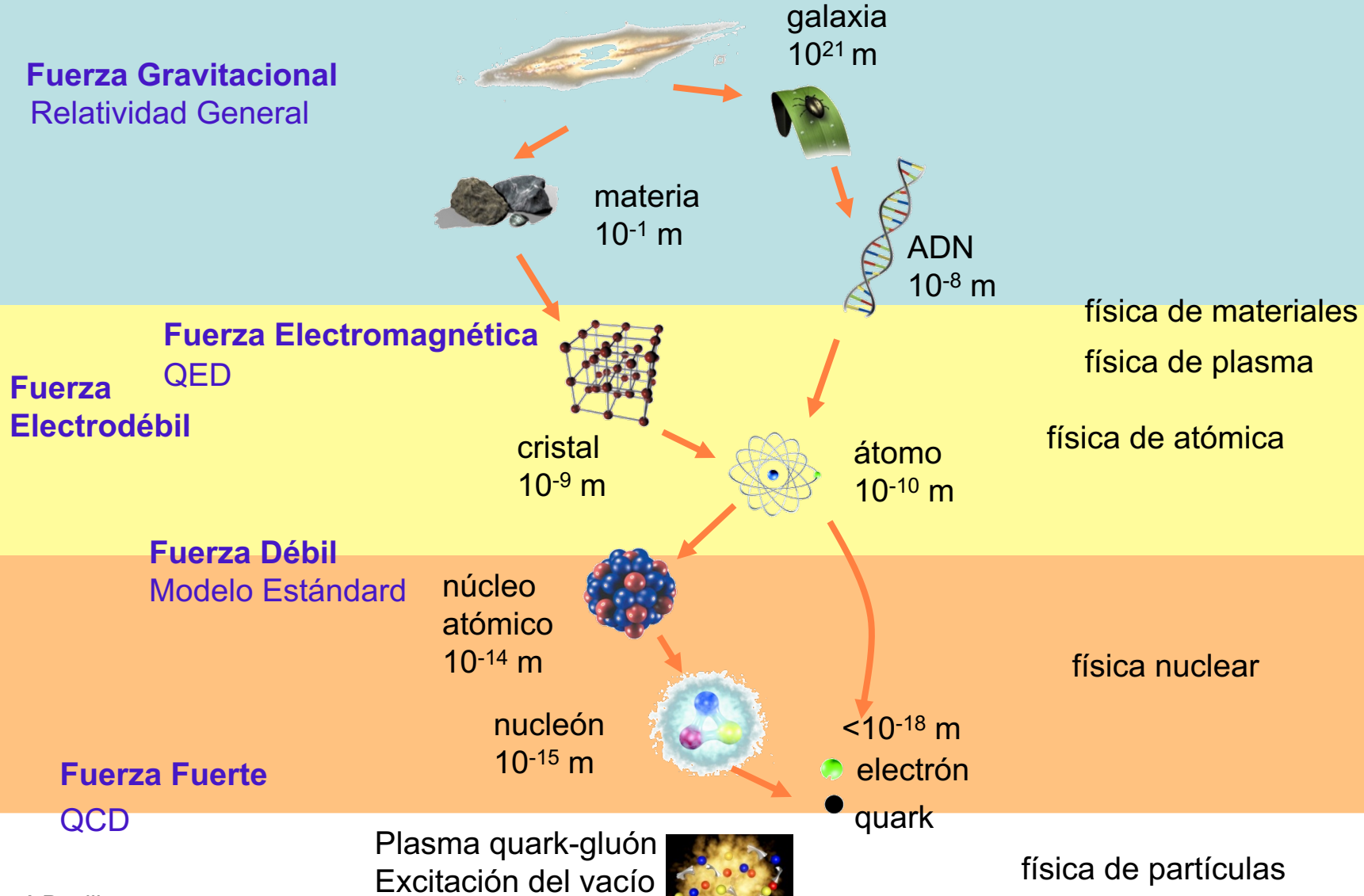


**Reacciones nucleares que determinan la producción de energía y materia en las estrellas**

**Estudio de las propiedades microscópicas de la materia**

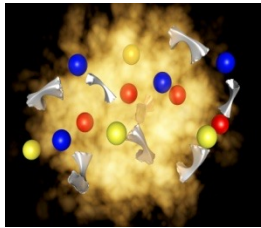


# La estructura de la materia



# El dominio de la Física Nuclear

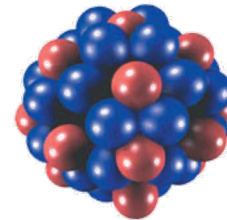
## Estudio de la materia ligada por la fuerza fuerte



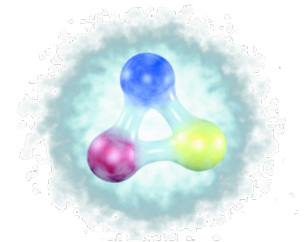
primeros instantes  
del Universo



nucleosíntesis y  
evolución estelar



estructura del  
núcleo atómico



estructura de  
los nucleones

# Física nuclear y el mundo subatómico

## El átomo

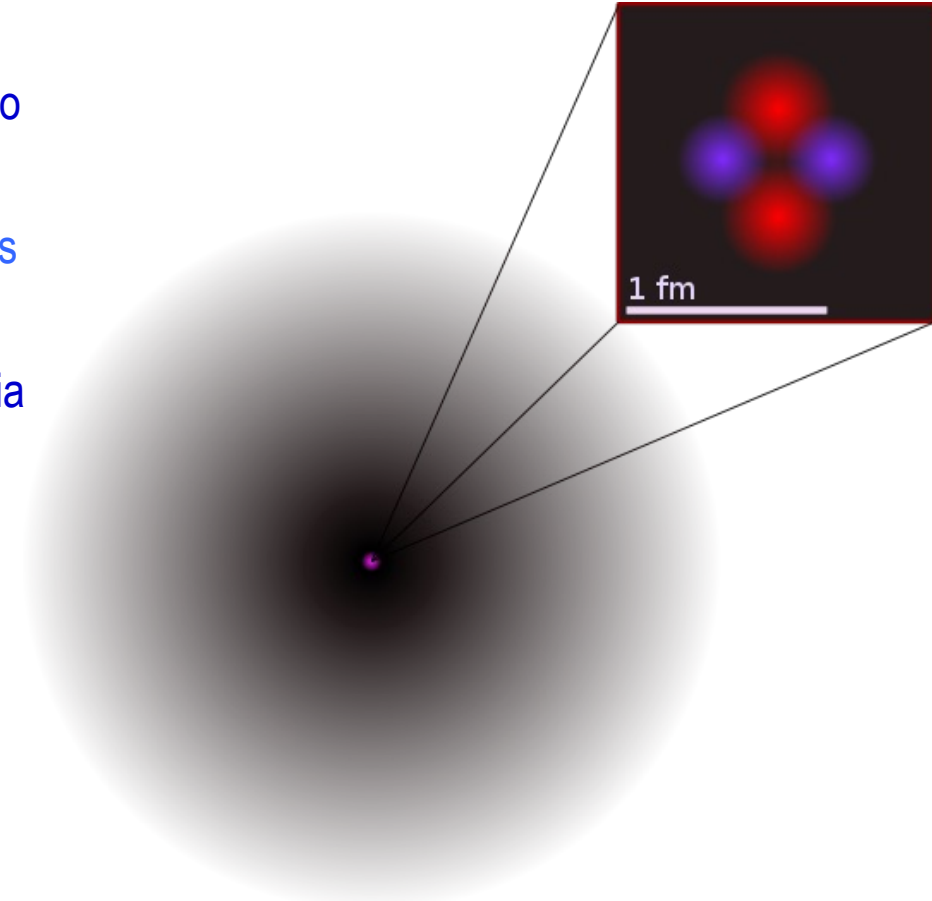
El átomo está constituido por una parte central o núcleo, alrededor del cual orbitan electrones.

La fuerza electromagnética mantiene ligados los electrones al núcleo.

El átomo está casi vacío, el 99,9% de su materia está en el núcleo que es muy pequeño

1 átomo =  $1 \text{ \AA} = 0,000\,000\,000\,1 \text{ m}$

1 núcleo =  $1 \text{ fm} = 0,000\,000\,000\,000\,001 \text{ m}$



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$

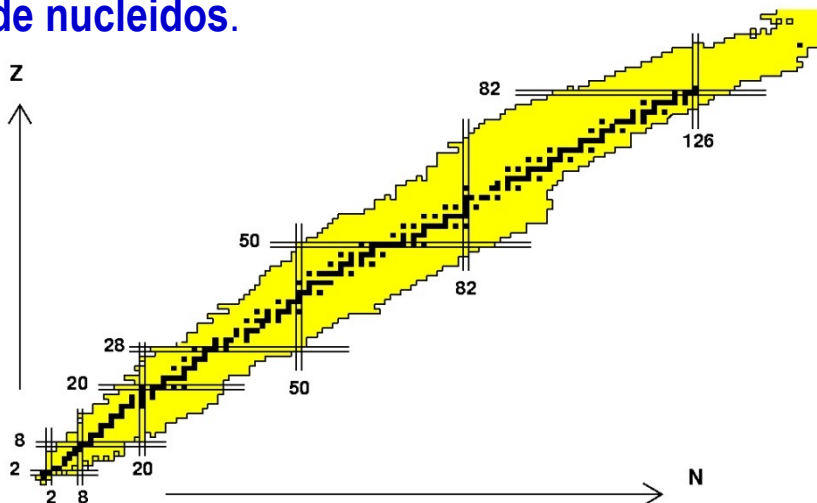
# Física nuclear y el mundo subatómico

## El núcleo atómico

El núcleo atómico está constituido por protones y neutrones (nucleones).

El número de protones o **número atómico (Z)** define el elemento de la **tabla periódica** al que pertenece el núcleo.

El número de nucleones (protones+neutrones) o **número másico (A)** define el isótopo de la **carta de nucleidos**.

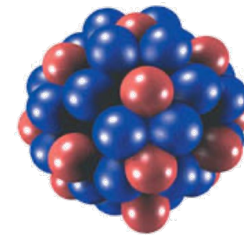


Period	Group																	
	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuq	117 Uus	118 Uuo
8	119 Uun																	

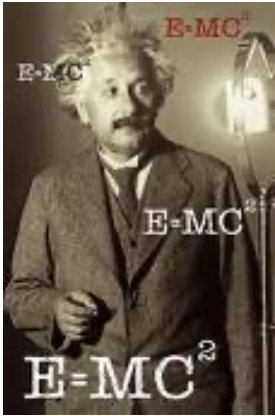
* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

$${}^A_Z X_N$$



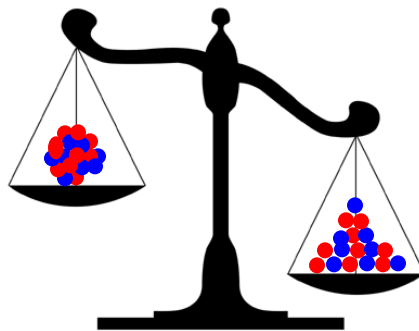
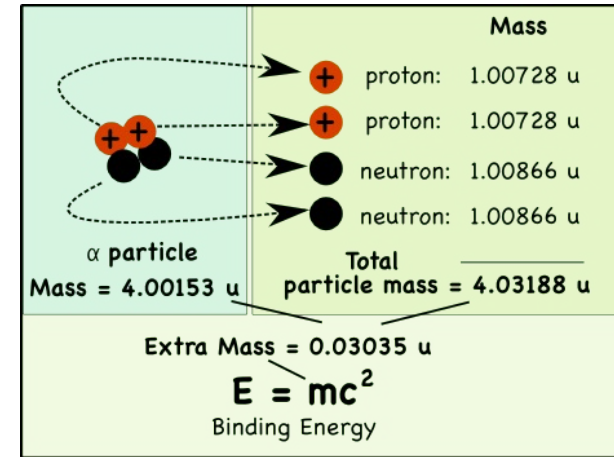
# Física nuclear y el mundo subatómico

## Energía y materia



La **fuerza fuerte** es la responsable de ligar a los protones y neutrones (nucleones) que constituyen un núcleo atómico.

La masa de un núcleo atómico es inferior a la suma de las masas de los neutrones y protones que lo constituyen. Esa diferencia de masa corresponde a la **energía de ligadura** (B) de los nucleones



$$m(Z, N) = Z \times m_p + N \times m_n - B$$

$m_p$ : masa del protón  
 $m_n$ : masa del neutrón  
 B: energía de ligadura

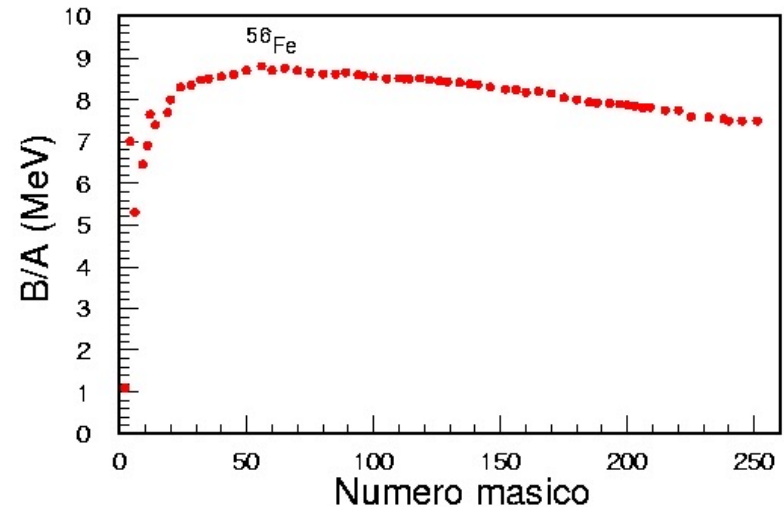
# Física nuclear y el mundo subatómico

## Energía y masa

No todos los núcleos están ligados con la misma intensidad.

Los núcleos más ligados (mayor B) tienen menos masa por nucleón.

Si somos capaces de transformar núcleos poco ligados en núcleos más ligados estaremos transformando masa en energía.



Esta relación entre energía y masa es fundamental para entender la estabilidad nuclear y las reacciones nucleares

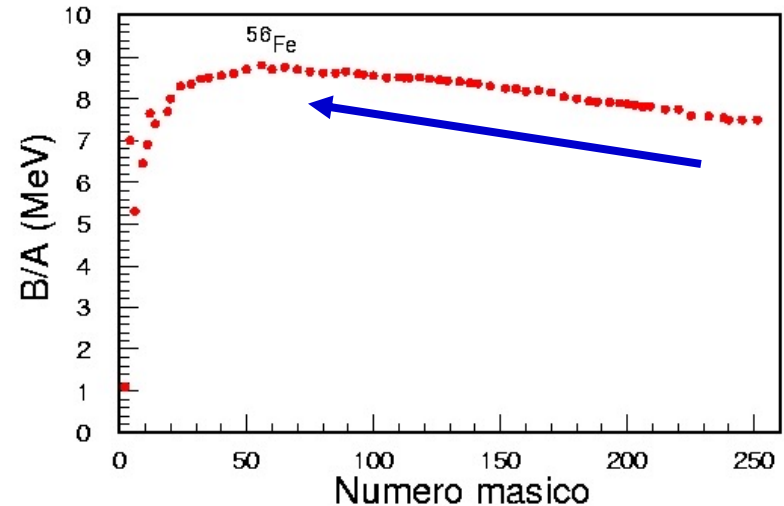
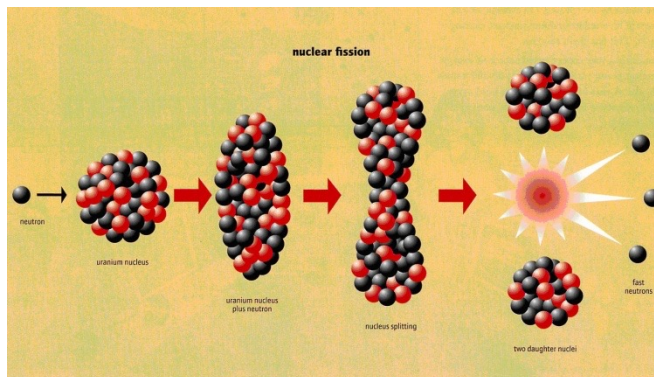
# Física nuclear y el mundo subatómico

## Reacciones nucleares: fisión

La **fisión** de un núcleo pesado ( $A \sim 240$ ), menos ligado, en dos fragmentos de tamaño intermedio ( $A_1 \sim A_2 \sim 120$ ), más ligados, genera energía

$$m(A) = m(A_1) + m(A_2) + E$$

$E$ : energía de repulsión Coulombiana entre las cargas de los fragmentos de fisión



La **fisión** de un núcleo pesado genera unos 200 MeV de energía.

La fisión de un gramo de  $^{238}\text{U}$  produce tanta energía como la combustión de 3 T de carbón

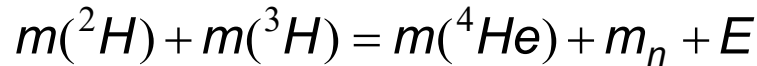
En un gramo de  $^{238}\text{U}$  hay  $25 \cdot 10^{20}$  átomos de  $^{238}\text{U}$

Generalmente para que un núcleo fisione debe ganar energía ( $\sim 8$  MeV) mediante una reacción nuclear (captura de un neutrón).

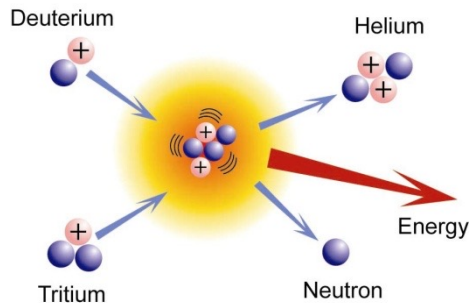
# Física nuclear y el mundo subatómico

## Reacciones nucleares: fusión

La **fusión** de deuterio ( $^2\text{H}$ ) y tritio ( $^3\text{H}$ ) produce un neutrón y un núcleo de helio ( $^4\text{He}$ ) más ligado y por tanto liberando energía

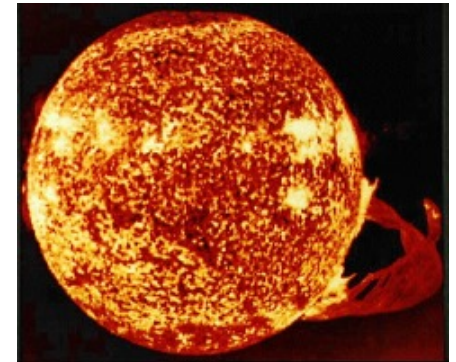
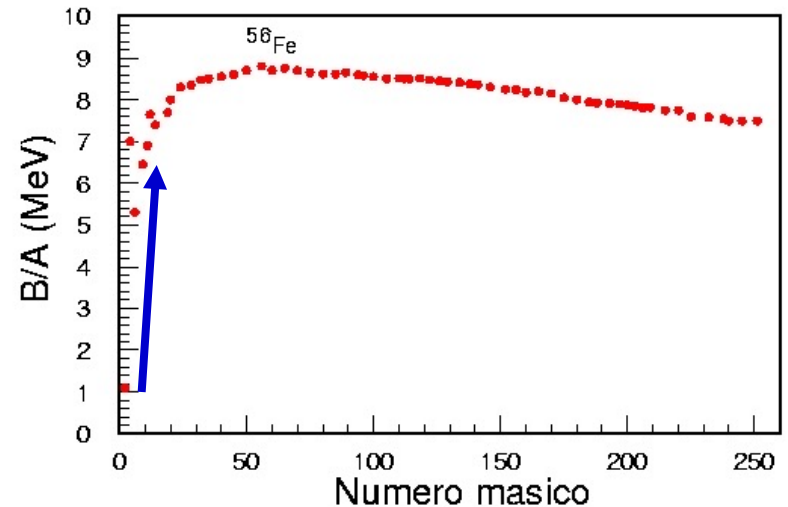


E: energía cinética del neutrón y del núcleo de  $^4\text{He}$



La **fusión** de dos núcleos de deuterio y tritio genera unos 18 MeV de energía.

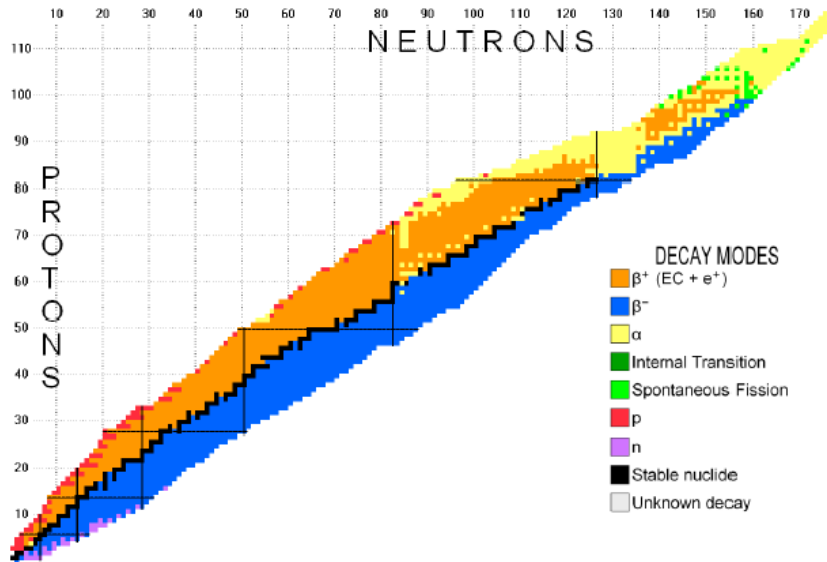
La reacción de fusión también requiere una energía inicial ( $\sim 1$  MeV) entre los núcleos de deuterio y tritio..



La fusión es el mecanismo que produce la energía de las estrellas.

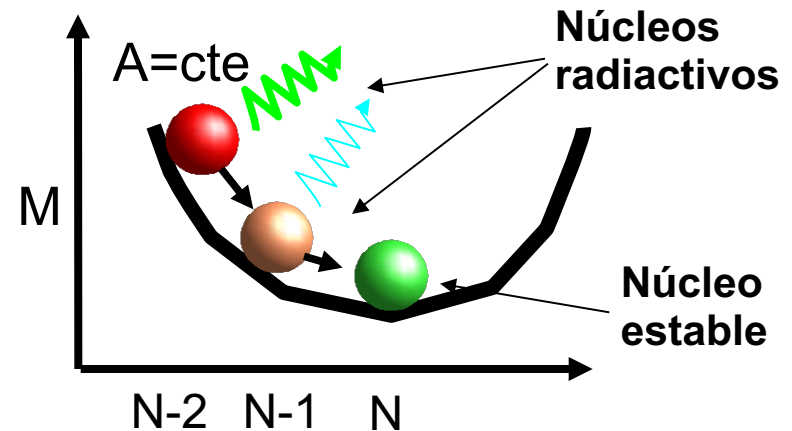
# Física nuclear y el mundo subatómico

## Estabilidad nuclear



En la naturaleza sólo existen unos **270 núcleos estables**. Se cree que pueden existir otros **5700 núcleos radiactivos** de los que actualmente sólo conocemos unos 3000.

Los núcleos no estables se transforman de forma espontánea en otros más ligados liberando energía ( $\sim 1$  MeV) en forma de radiación.

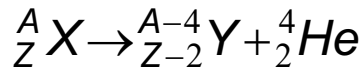
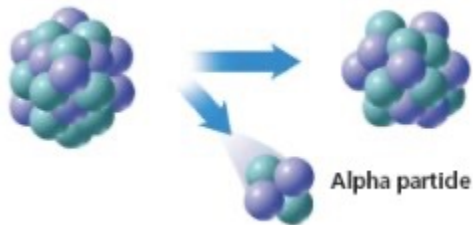


# Física nuclear y el mundo subatómico

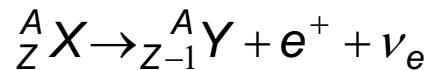
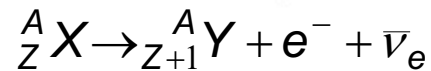
## Radiactividad

Las desintegraciones radiactivas de los núcleos producen principalmente tres tipos de radiaciones:

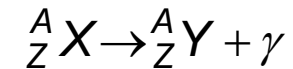
### Radiactividad alfa



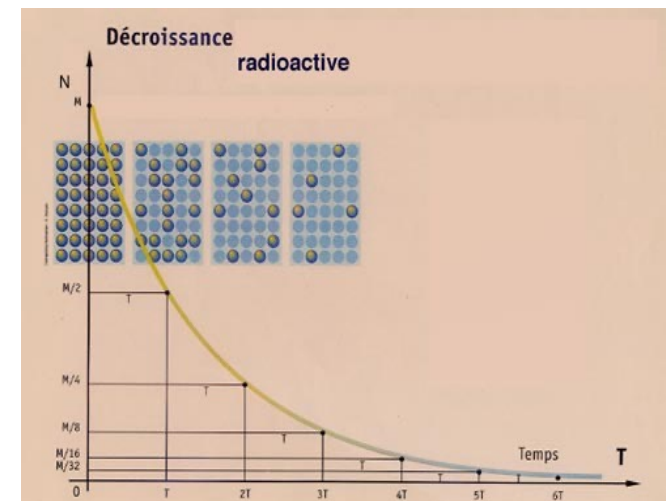
### Radiactividad beta



### Radiactividad gamma



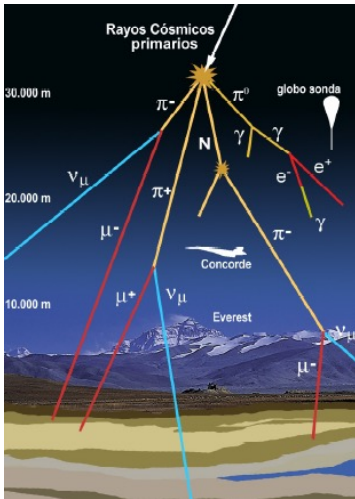
Las desintegraciones radiactivas son un proceso probabilístico. Sabemos que un determinado tipo de núcleo se desintegrará en promedio al cabo de un cierto periodo de tiempo (**vida media**) pero no sabemos exactamente cuando ocurrirá.



# Física nuclear y el mundo subatómico

## Fuentes de radiación

### Radiación cósmica



### Aceleradores de partículas



### Radiación natural: radón



### Diagnóstico y tratamiento médico



### Reactores de fisión



# La radiactividad

## Medida y protección de la radiación

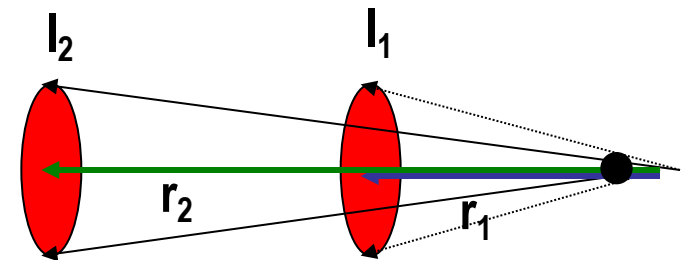
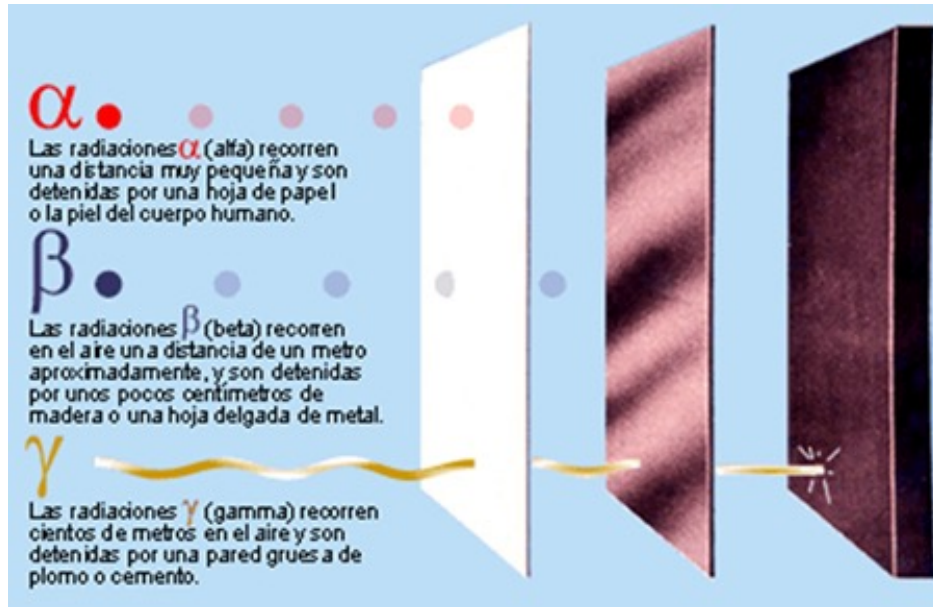
La actividad de una fuente radiactiva se mide en “becquerelios” (1 Bq = 1 partícula/s) o “curios” (1 Bq =  $2.7 \cdot 10^{-11}$  Ci)

La radiación se frena al atravesar la materia debido a la interacción Coulombiana. Por tanto la penetrabilidad de la radiación depende de su naturaleza y del número atómico y densidad del material atravesado.

El plomo (Z=82) es un buen blindaje

La cantidad de radiación que atraviesa una determinada superficie varía inversamente con la distancia al cuadrado entre la superficie y la fuente de radiación.

A 10 m se recibe 100 veces menos radiación que a 1 m



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

# La radiactividad

## Efectos de la radiación

La radiación daña a las células rompiendo sus cadenas de ADN. Esos daños se cuantifican en base a la **dosis** de radiación absorbida por seres vivos que se mide en “sieverts” ( $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/Kg}$ )



La radiación en exceso puede producir mutaciones genéticas

Los efectos de la radiación son probabilísticos. Una misma dosis no produce siempre el mismo efecto.

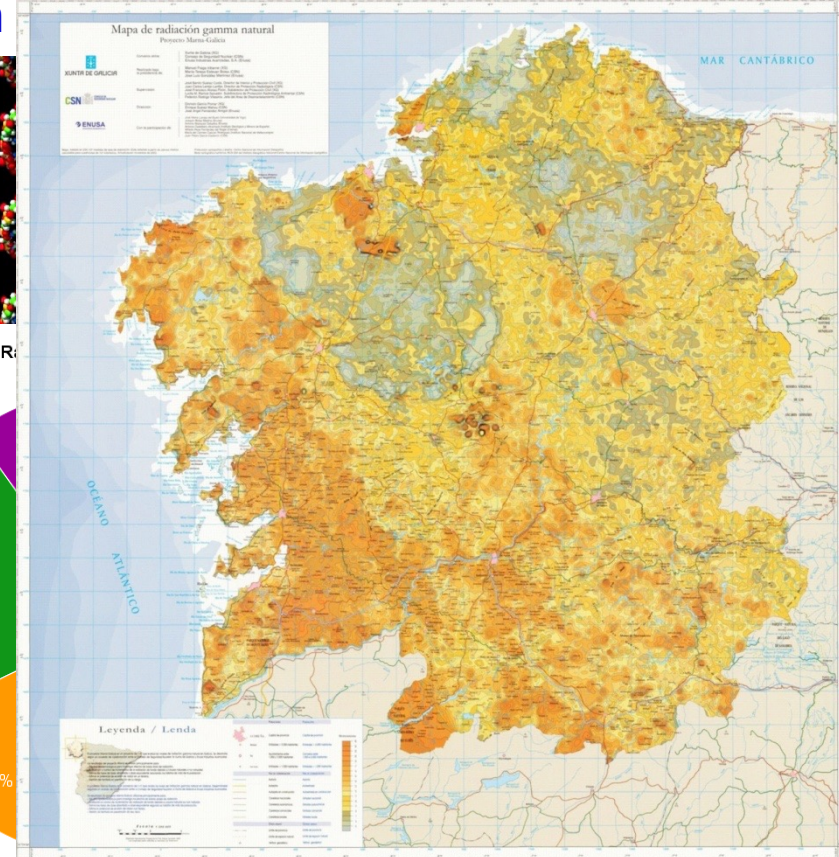
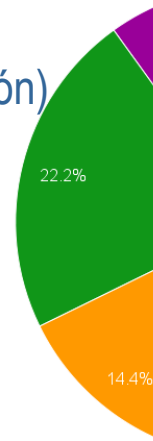
La legislación española impone los siguientes límites

- público en general:  $1 \text{ mSv/año}$  (excepto radón)
- trabajadores expuestos:  $20\text{-}50 \text{ mSv/año}$

Ejemplos de dosis recibidas:

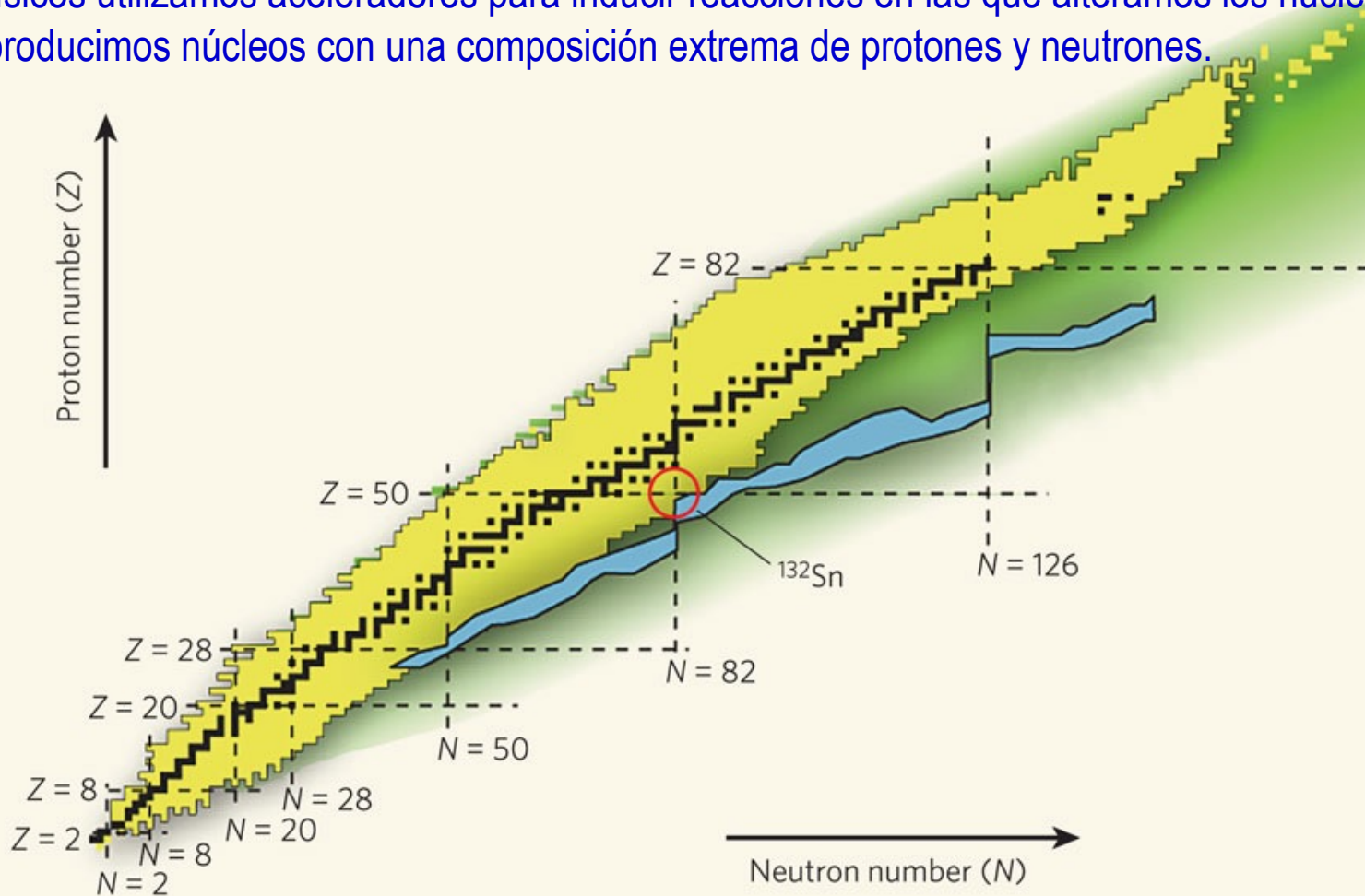
- potasio en el cuerpo:  $390 \mu\text{Sv/año}$
- radón en Galicia:  $2\text{-}10 \text{ mSv/año}$
- radiografía:  $20 \mu\text{Sv}$ , mamografía:  $3 \text{ mSv}$
- vuelo Madrid-Tenerife:  $40 \mu\text{Sv}$ ,
- mis vuelos:  $2 \text{ mSv/año}$

Exposición a las R

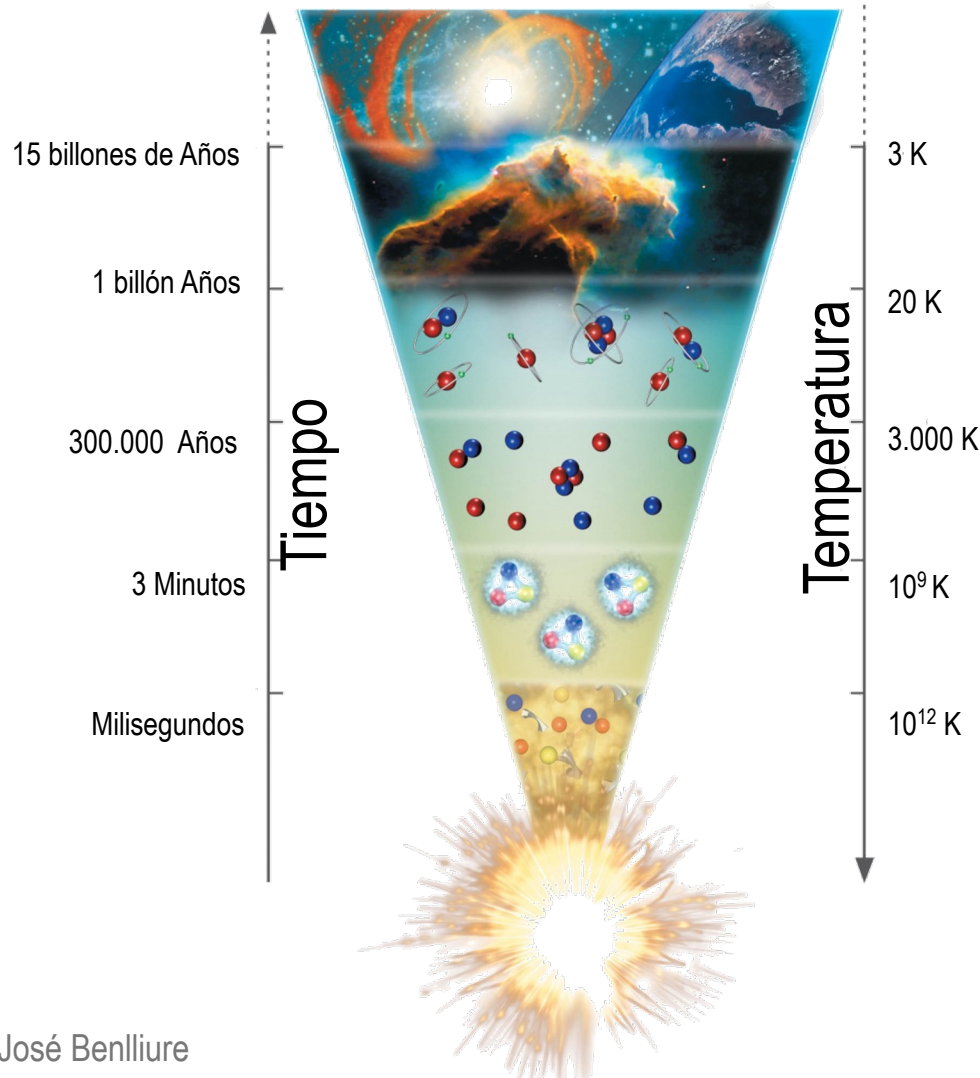


# Física nuclear y el mundo subatómico

Para estudiar las propiedades de los núcleos atómicos y caracterizar la fuerza nuclear los físicos utilizamos aceleradores para inducir reacciones en las que alteramos los núcleos o producimos núcleos con una composición extrema de protones y neutrones.

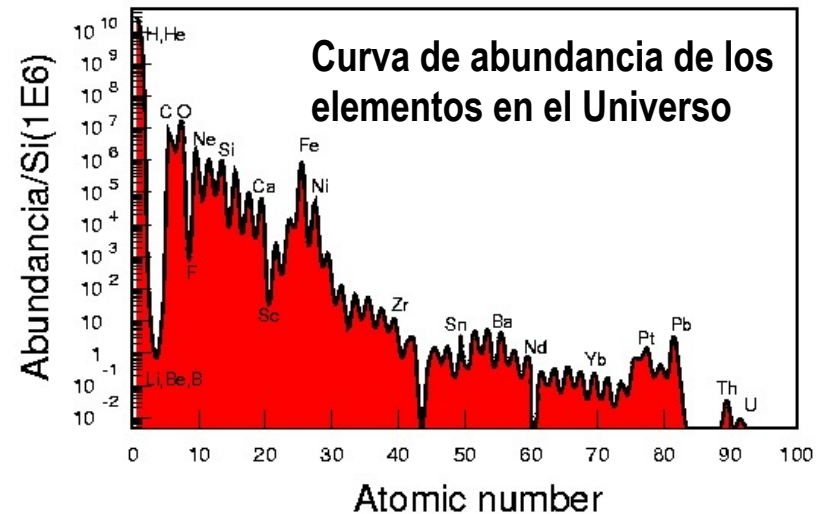


# Física nuclear y el Universo



Una de las cuestiones fundamentales a las que intenta dar respuesta la física nuclear es el origen de los elementos químicos que constituyen nuestro Universo

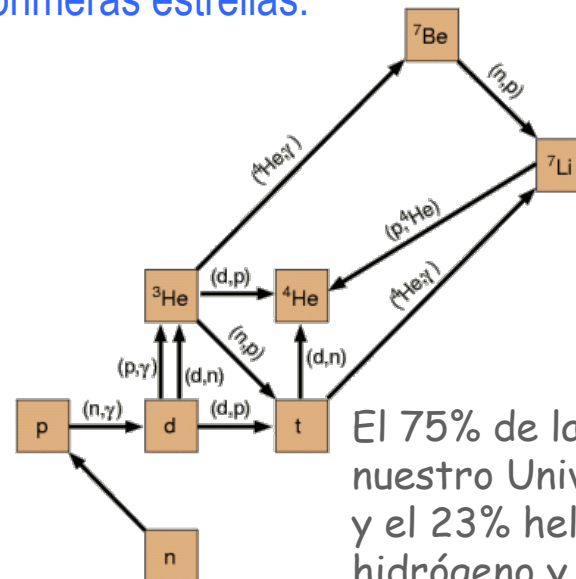
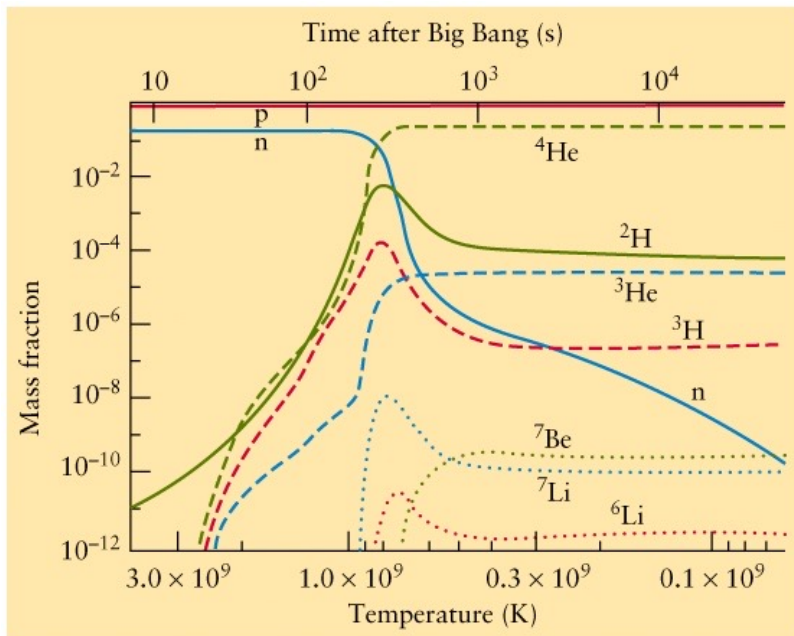
Hoy en día sabemos que toda la materia visible que forma nuestro Universo se produjo durante los primeros instantes (Big Bang) o actualmente en las estrellas



# Física nuclear y el Universo

En el Big Bang se produjeron todos los tipos de partículas que pueden existir en nuestro Universo, pero unos segundos después sólo quedaban protones, neutrones, electrones, neutrinos y rayos gamma.

En ese momento todos los neutrones reaccionaron con los protones para producir núcleos de helio. 500 000 años más tarde esos núcleos atraparon a los electrones formando un gas de hidrógeno y helio a partir del cual surgen las primeras estrellas.

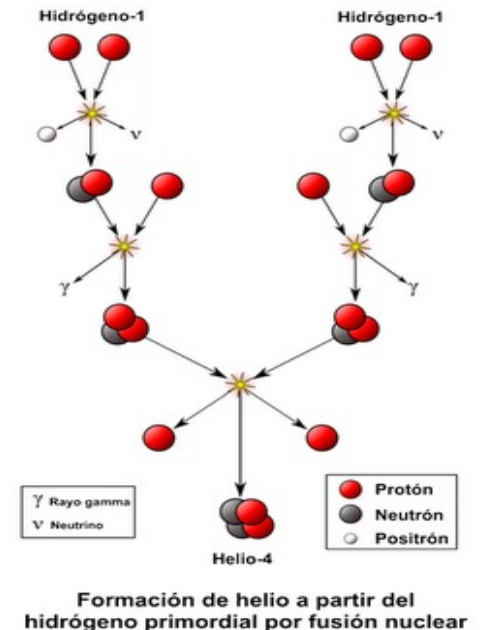
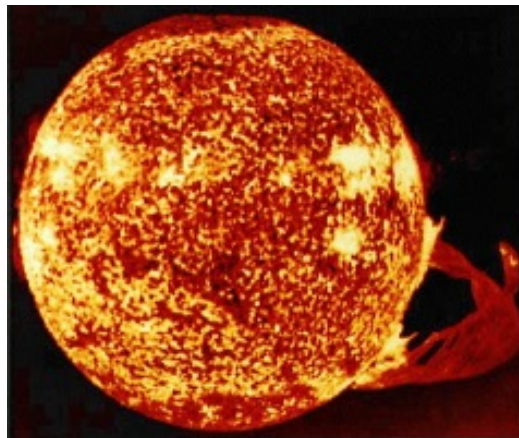


El 75% de la materia visible de nuestro Universo es hidrógeno y el 23% helio. Todo el hidrógeno y casi todo el helio se creó durante los 3 primeros minutos

# Física nuclear y el Universo

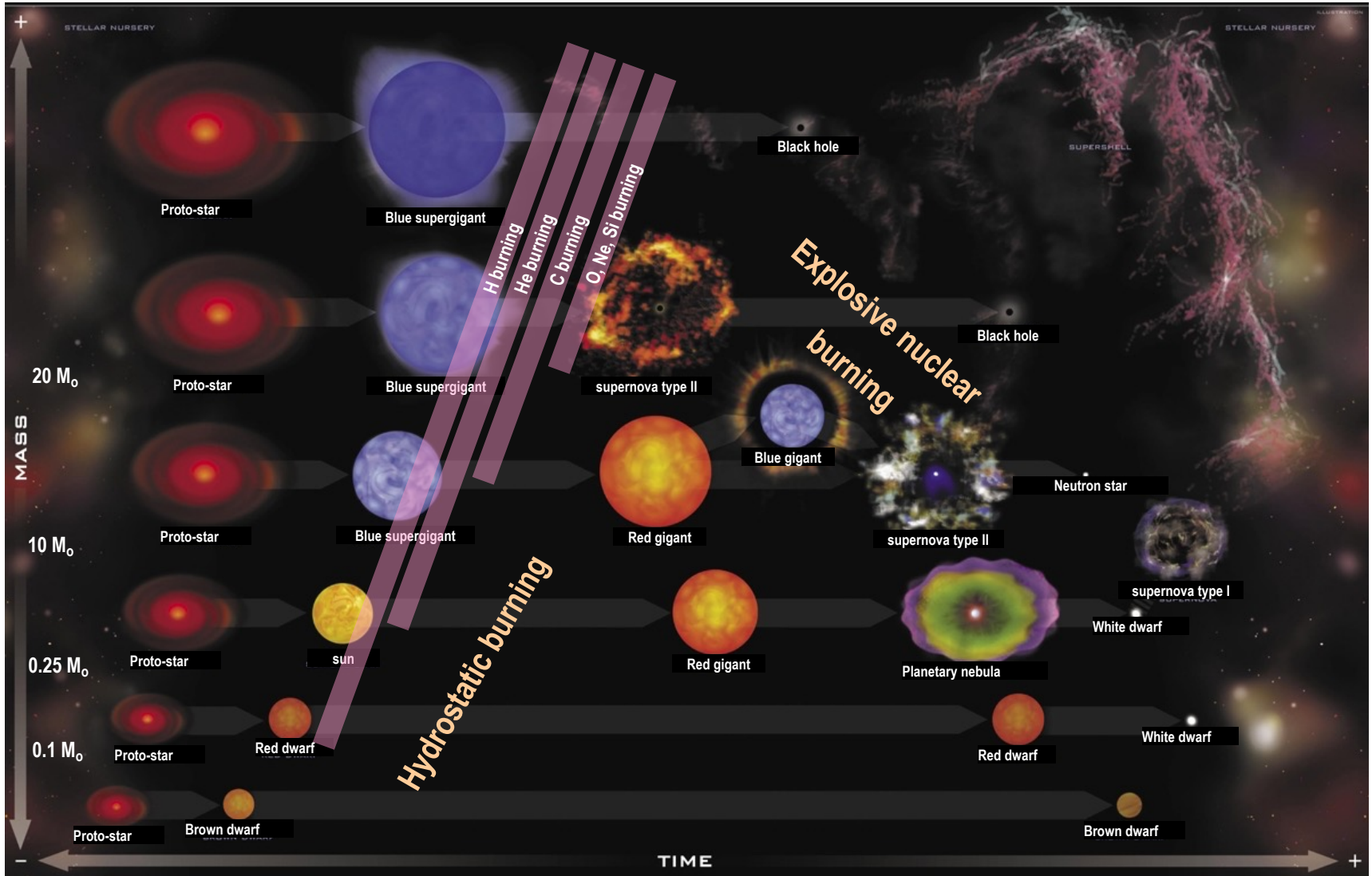
Las estrellas como nuestro sol son grandes reactores de fusión en los que cuatro núcleos de hidrógeno (protones) fusionan para producir un núcleo de helio.

Estas reacciones también generan la energía de las estrellas y que en el caso de nuestro Sol es responsable de la existencia de la vida en la Tierra



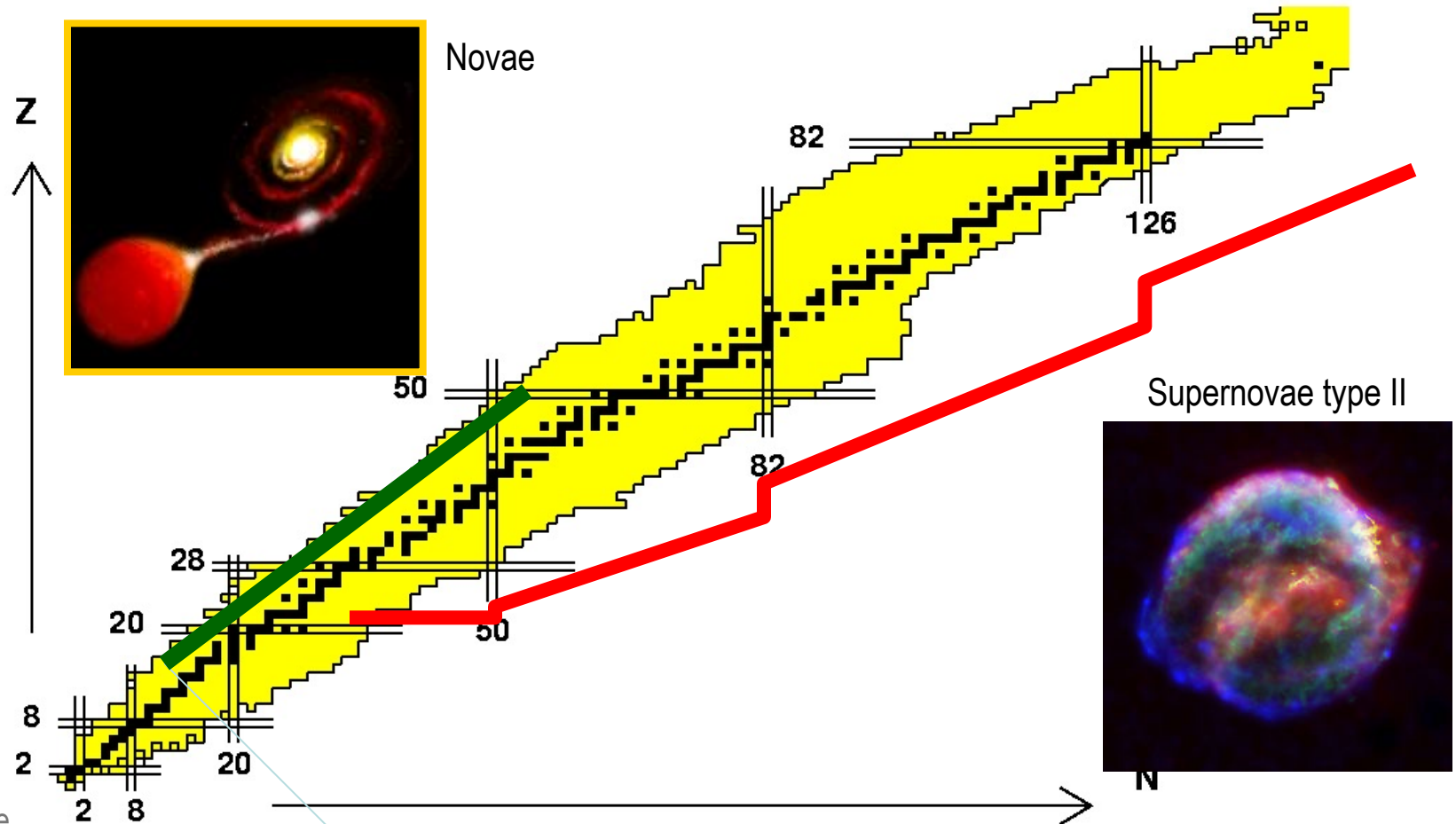
Los elementos químicos más pesados se producen en estrellas de mayor tamaño que nuestro Sol

# Física nuclear y el Universo



# Física nuclear y el Universo

Los elementos químicos más pesados se cree que se producen en estrellas que evolucionan de forma violenta. La mayor parte de los núcleos que se producen en esas estrellas no son estables y los físicos todavía no hemos sido capaces de sintetizarlos en los laboratorios.



# La investigación en física nuclear

Los físicos nucleares utilizamos potentes aceleradores con los que hacemos colisionar núcleos para:

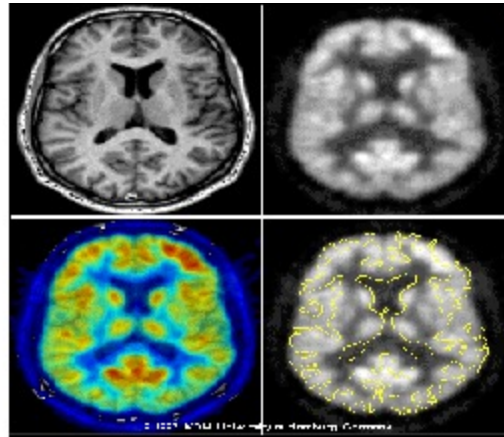
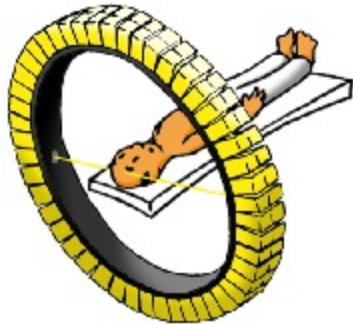
- Estudiar sus propiedades
- Reproducir en el laboratorio reacciones termonucleares que tienen lugar en las estrellas



# La investigación en física nuclear

La física nuclear es una disciplina científica que ha dado lugar a un gran número de aplicaciones sociales

## Técnicas de diagnóstico y terapia en medicina



## Energía



## Caracterización no destructiva de materiales, obras de arte o restos arqueológicos



## Impacto del gas radón



# Conclusiones

---



---

- ✓ La investigación en física nuclear ayuda a entender los dos infinitos del mundo en que vivimos
- ✓ En las últimas décadas se ha progresado mucho en la comprensión del núcleo atómico sin embargo, todavía no tenemos un modelo que nos permita explicar todas las propiedades del núcleo atómico
- ✓ La física nuclear también ha contribuido a comprender mejor los procesos de generación de materia y energía en las estrellas, así como los procesos de evolución de las mismas
- ✓ Pese a los progresos todavía no sabemos con certeza dónde se producen en el Universo los elementos químicos más pesados que el hierro
- ✓ La física nuclear también da lugar a muchas aplicaciones de gran impacto social
- ✓ Esta es una disciplina científica en plena expansión y si teneís curiosidad por saber cómo es el mundo en el que vivimos ....