



MINISTERIO  
DE CIENCIA, INNOVACIÓN  
Y UNIVERSIDADES



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

# Física Nuclear: Aplicaciones en Astrofísica y Física Médica



José Antonio Briz Monago  
*Instituto de Estructura de la Materia (CSIC)*



# ASTROFÍSICA NUCLEAR

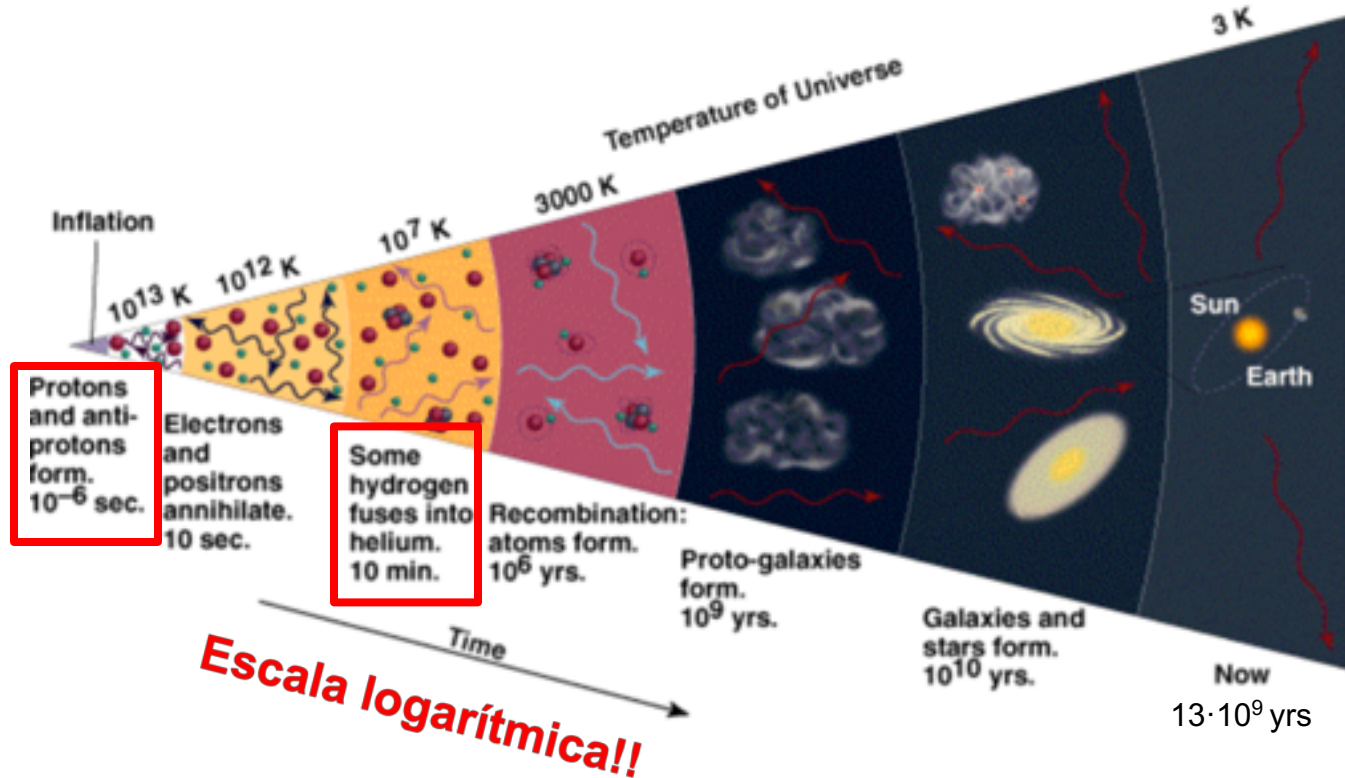
- ¿De dónde vienen los núcleos atómicos?
- ¿Cómo influyen las reacciones nucleares en la evolución de las estrellas?

# Origen de los núcleos atómicos: nucleosíntesis primordial



Henri Joseph Edouard Lemaitre, sacerdote católico y astrofísico belga (1894-1966), aplicó las ecuaciones de la relatividad general de Einstein a la Cosmología y propuso la teoría del Universo expansivo y del Big-Bang.

## History of Matter and Radiation in the Early Universe



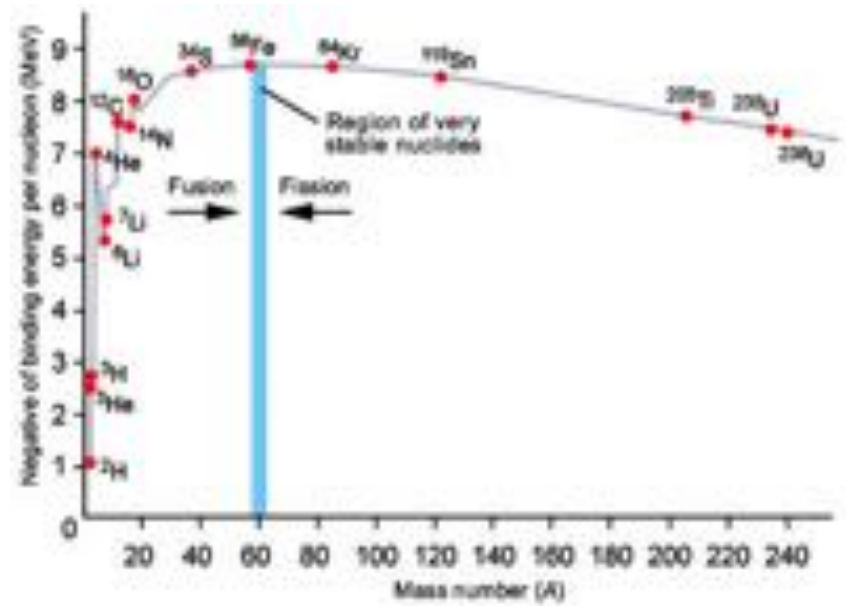
“Big Bang AR” App en Play Store/App Store <https://experiments.withgoogle.com/bigbang-ar>

# Origen de los núcleos atómicos: nucleosíntesis primordial

## FUSION



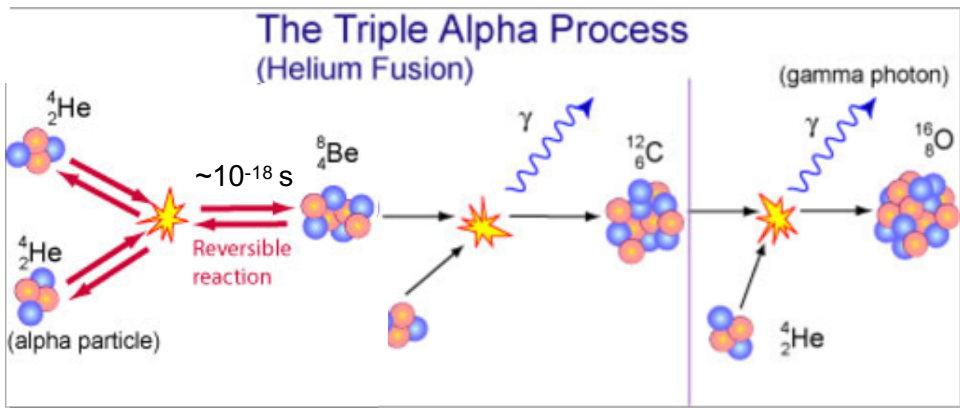
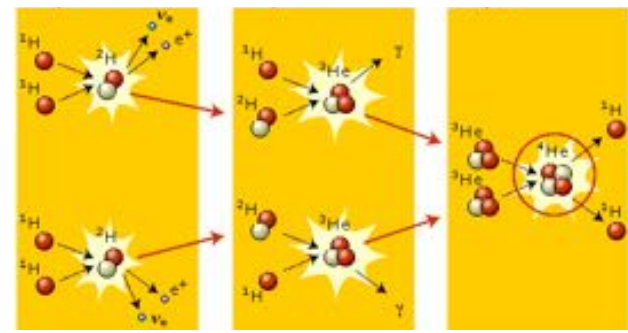
700 millones de Toneladas/s de Hidrógeno se fusionan en el Sol para producir Helio y energía, que nos llega a nosotros en la Tierra.



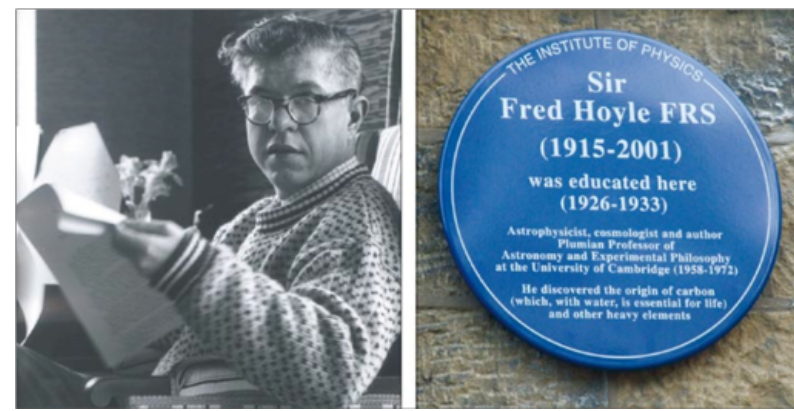
A mayor energía de enlace, más ligados los nucleones, más estable es el núcleo.

La naturaleza tiende a formar sistemas lo más estables posible (estados de mínima energía).

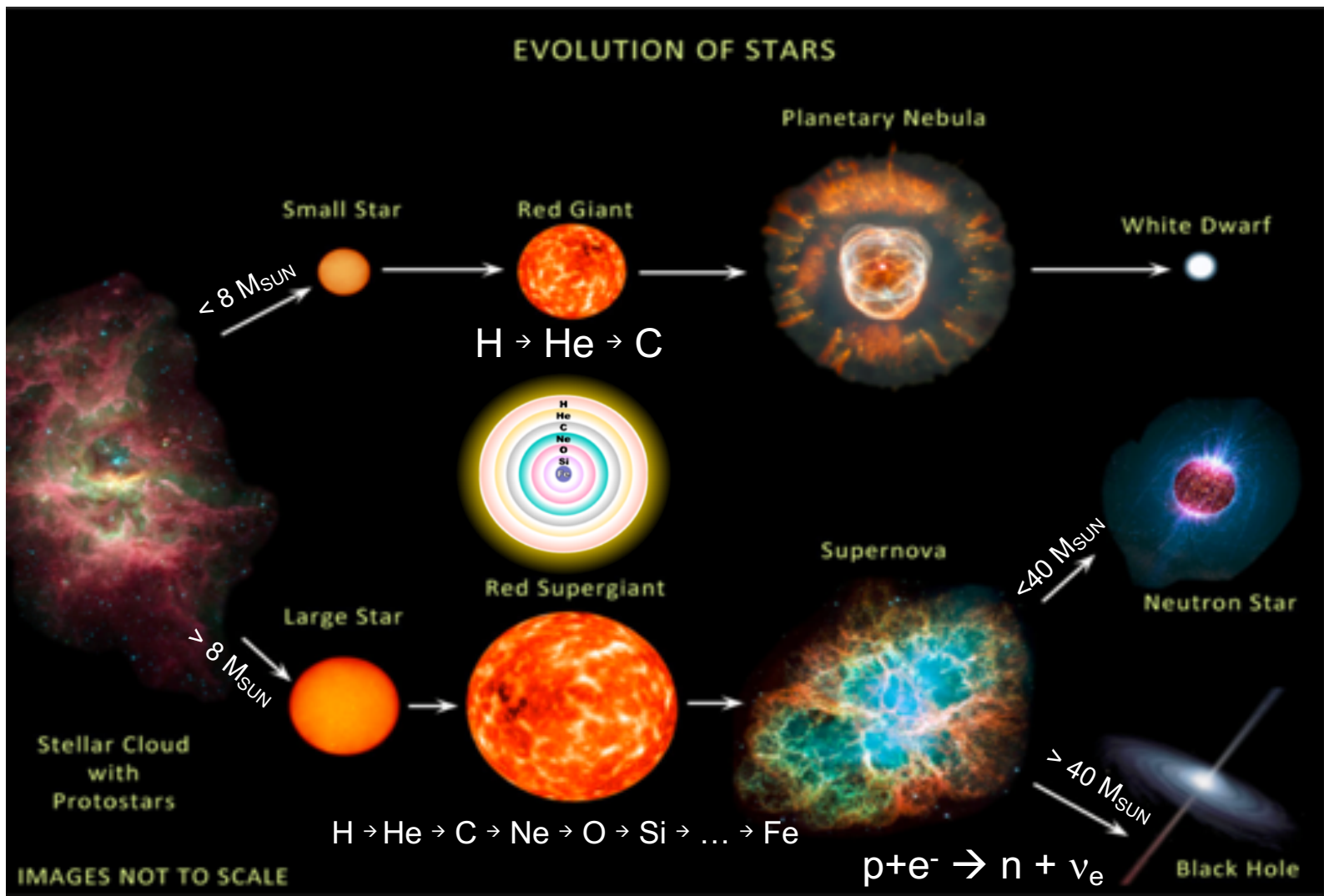
- **Fusión** de elementos ligeros libera energía
- **Fisión** de elementos pesados también libera energía.



(...)



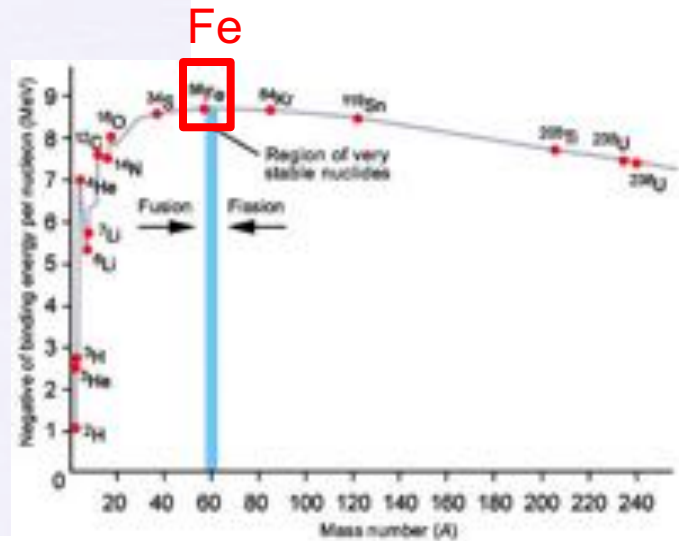
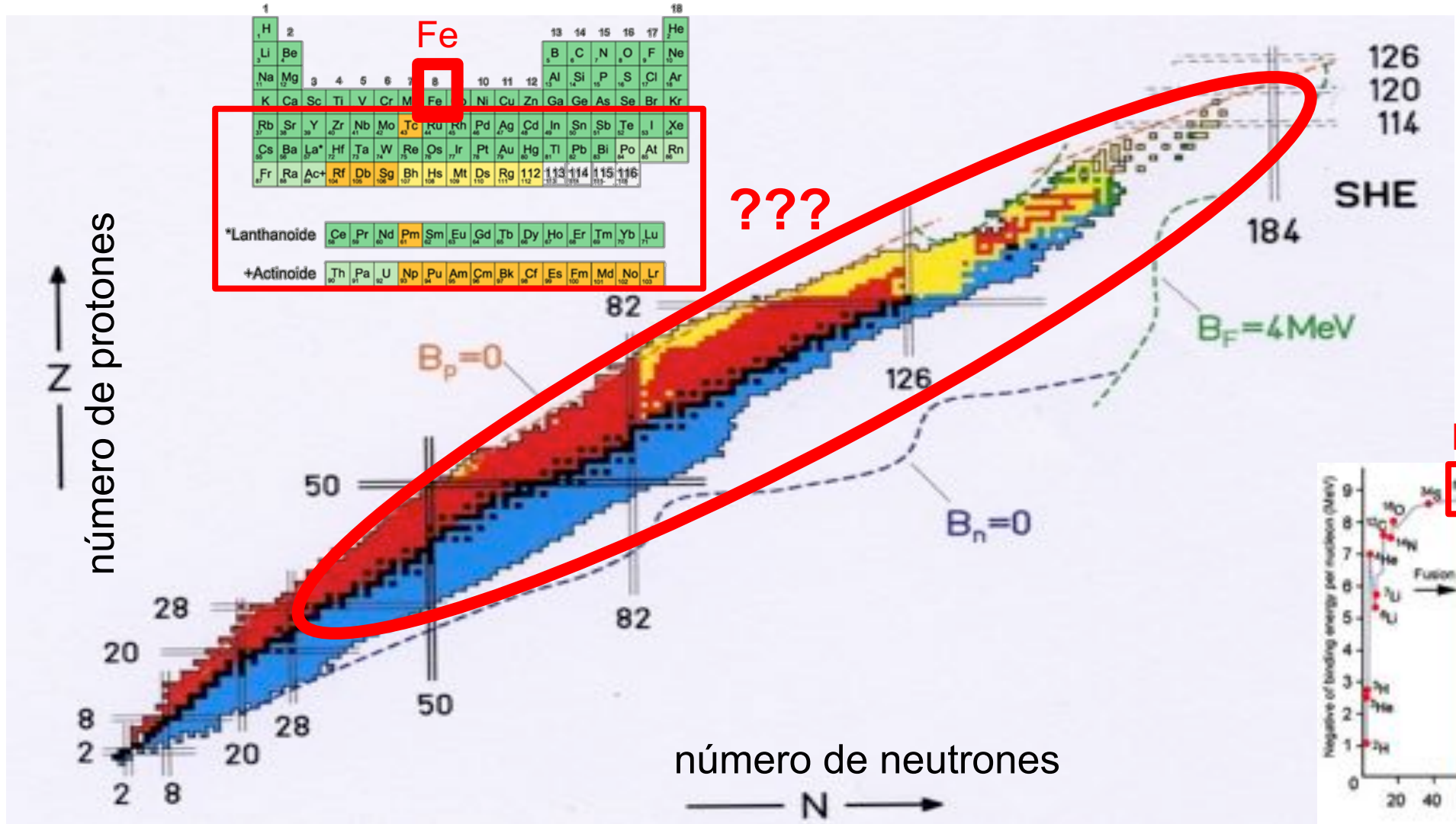
# Origen de los núcleos atómicos: nucleosíntesis primordial



Evolución estelar  
↓  
“batalla” de fuerzas entre:  
**Fusión (expansiva)**  
**vs.**  
**Gravitatoria (contractiva)**

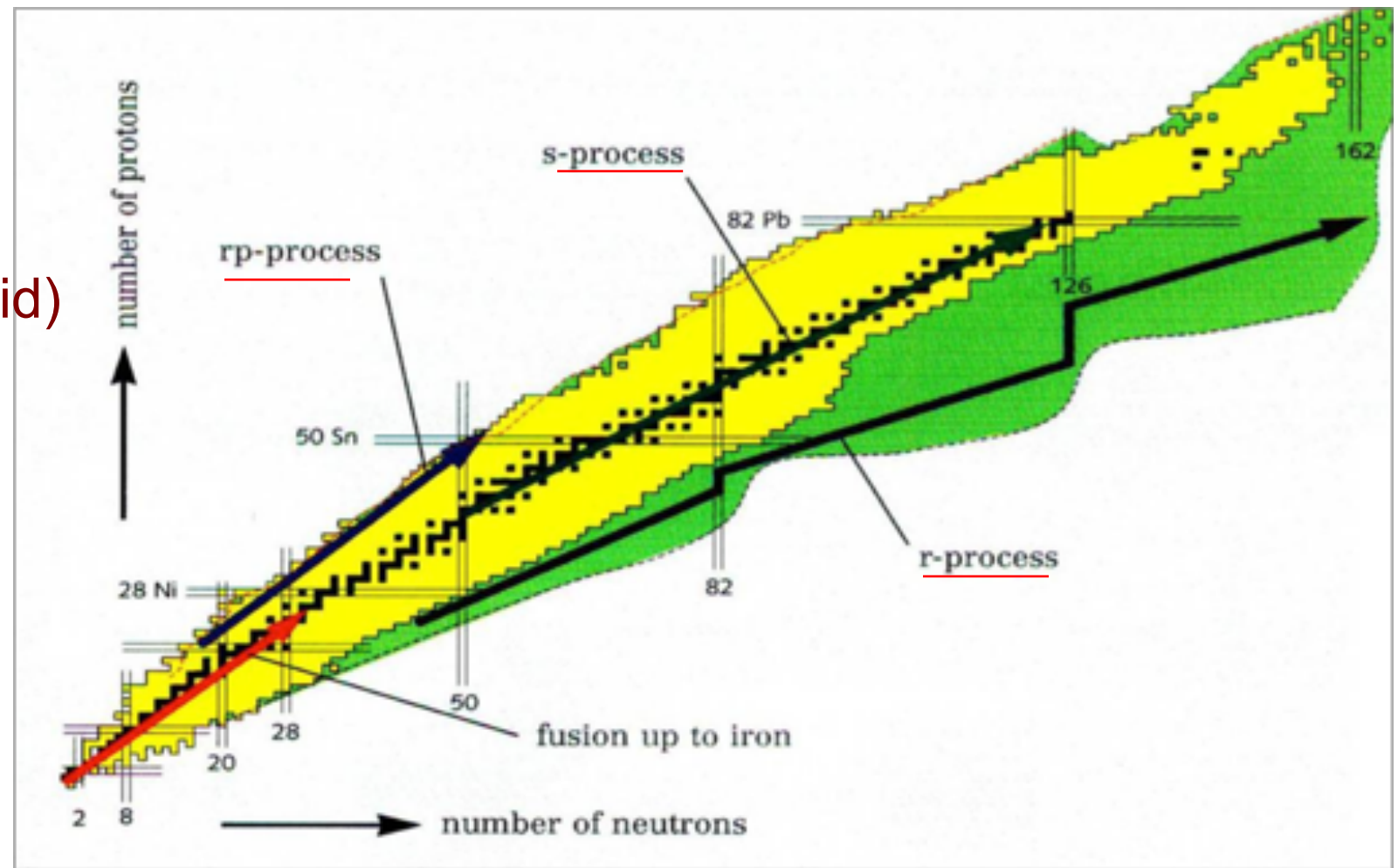
Cuando el combustible se termina solo queda la gravedad: colapso → Supernova

# Pero en la Tierra, tenemos elementos más pesados que el hierro ¿De dónde vienen?



# Procesos s, r y rp

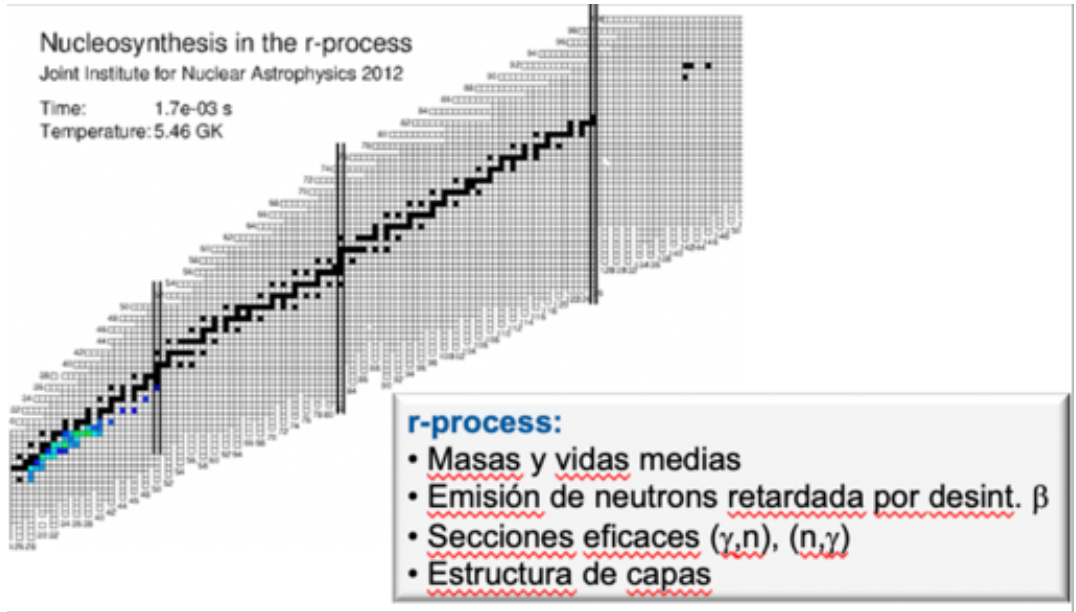
- **Captura de neutrones:** procesos s (slow) y r (rapid)
- **Captura de protones:** proceso rp (rapid proton)



# Procesos s, r y rp

- <http://www.jinaweb.org>

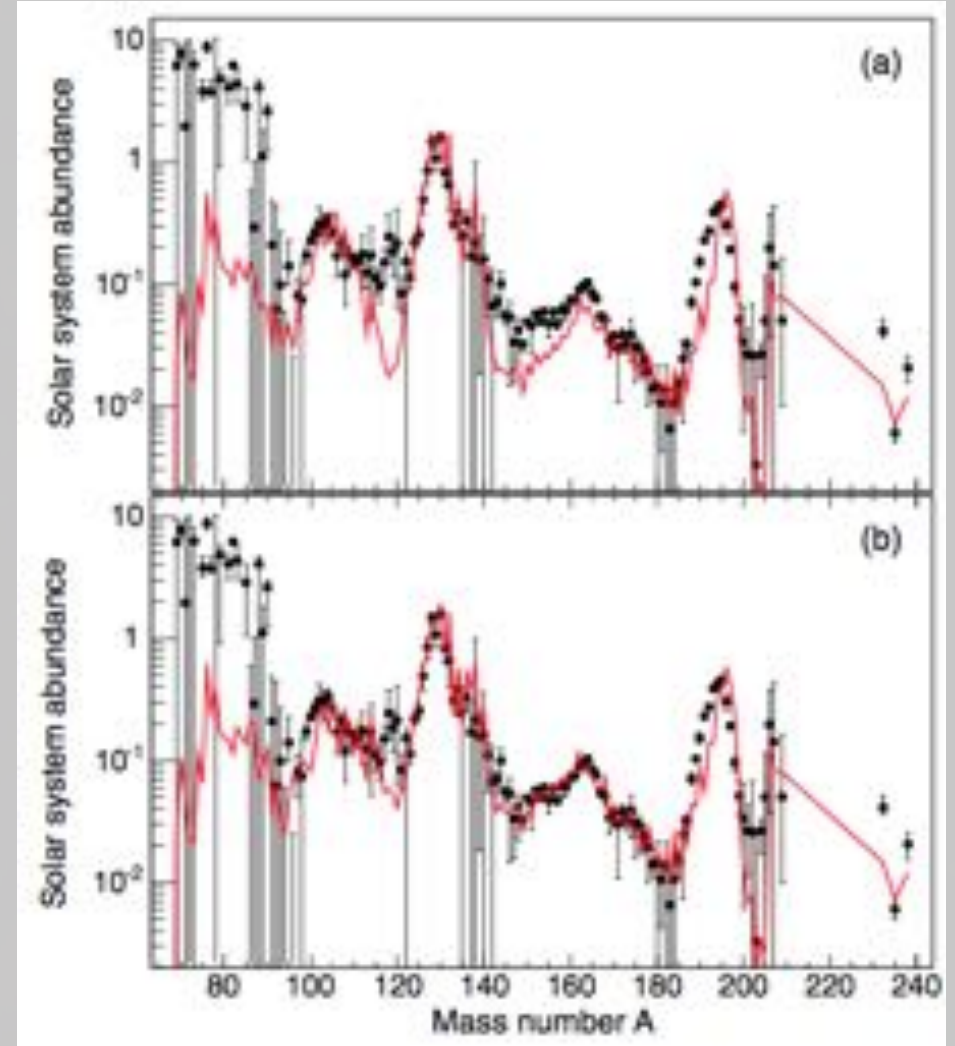
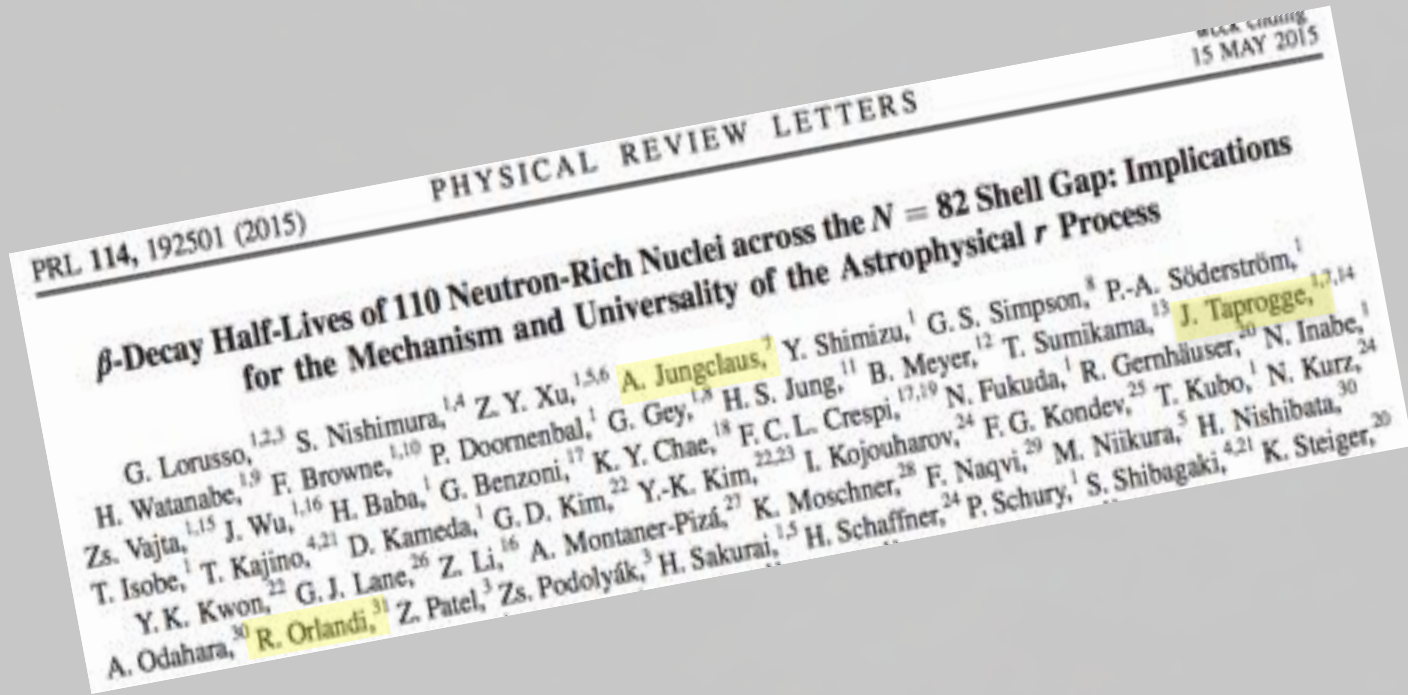
The **r-process** is responsible for the origin of about half of the elements heavier than iron that are found in nature, including elements such as gold or uranium. Shown is the result of a model calculation for this process that might occur in a supernova explosion. Iron is bombarded with a huge flux of neutrons and a sequence of neutron captures and beta decays is then creating heavy elements.





# Procesos s, r y rp

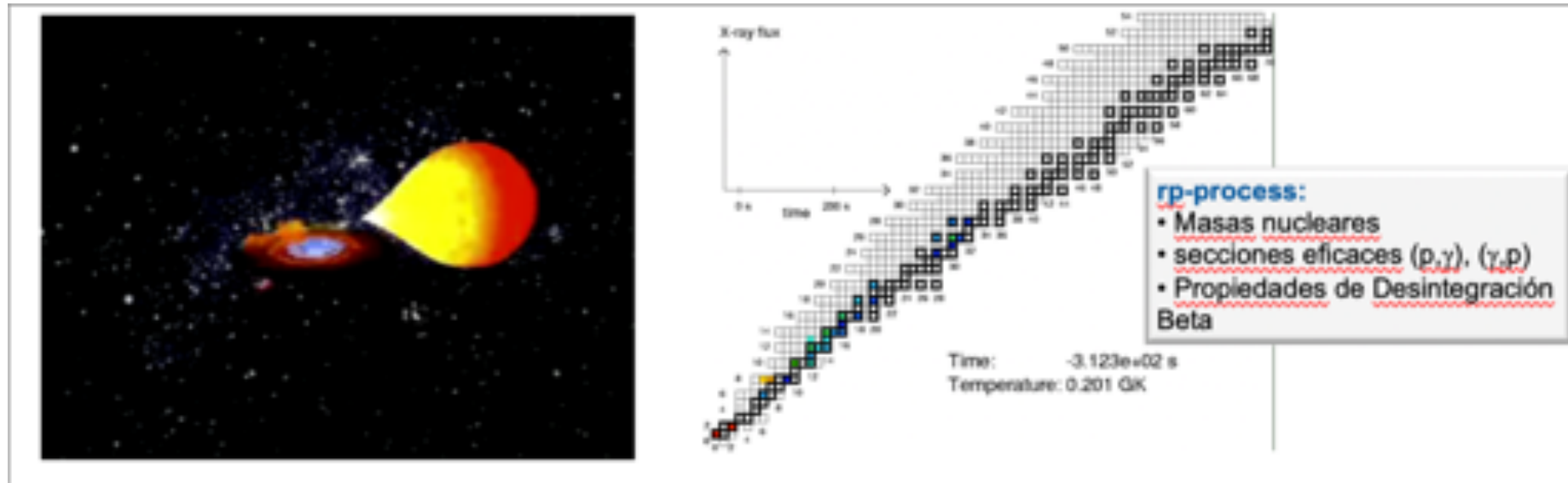
- Observable Físico: abundancias nucleares en el Sistema Solar



# Procesos s, r y rp

- <http://www.jinaweb.org>

If neutron stars are orbited by a normal companion star they can suck matter from the companion. This matter gets compressed and heated as it reaches the neutron star surface and if enough has accumulated it explodes in a gigantic hydrogen bomb. The explosion can be observed from earth as an **X-ray burst** with duration of 10-100s. X-ray bursts are suggested as possible scenarios for **rp-process** to occur.



PHYSICAL REVIEW C 83, 025801 (2011)

**Stellar weak decay rates in neutron-deficient medium-mass nuclei**

P. Sarriguren

*Instituto de Estructura de la Materia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Serrano 123, E-28006 Madrid, Spain*

(Received 5 November 2010; revised manuscript received 5 January 2011; published 2 February 2011)

Weak decay rates under stellar density and temperature conditions holding at the rapid proton-capture process are studied in neutron-deficient medium-mass waiting-point nuclei extending from Ni up to Sn. Neighboring isotopes to these waiting-point nuclei are also included in the analysis. The nuclear structure part of the problem is described within a deformed Skyrme Hartree-Fock + BCS + quasiparticle random-phase-approximation approach, which reproduces not only the  $\beta$ -decay half-lives but also the available Gamow-Teller strength distributions, measured under terrestrial conditions. The various sensitivities of the decay rates to both density and temperature are discussed. In particular, we study the impact of contributions coming from thermally populated excited states in the parent nucleus and the competition between  $\beta$  decays and continuum electron captures.

DOI: 10.1103/PhysRevC.83.025801

PACS number(s): 23.40.-s, 21.60.Jz, 26.30.Ca, 27.50.+e

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

Proposal to the ISOLDE and Neutron Time-of-Flight Committee

Beta decay of the  $N=Z$ , rp-process waiting points:  $^{64}\text{Ge}$ ,  $^{68}\text{Se}$  and the  $N=Z+2$ :  $^{66}\text{Ge}$ ,  $^{70}\text{Se}$  for accurate stellar weak-decay rates[May 29<sup>th</sup> - 2013]

E. Náchter, J.A. Briz, M. Carmona, A. Illana, A. Jungclaus, A. Perea, V. Pesudo, G. Ribeiro, J. Sánchez-del-Río, P. Sarriguren, J. Taprogge, O. Tengblad  
Instituto de Estructura de la Materia – CSIC, Madrid (Spain)

C. Domingo, A. Algora, J. Agramunt, G. Giubrone, V. Guadilla, A. Montaner, S.E.A. Orrigo, B. Rubio, J. L. Tain, E. Valencia  
Instituto de Física Corpuscular, CSIC – Universidad de Valencia (Spain)

J. José, A. Panikh  
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (Spain)

L.M. Fraile, I. Marroquín, O. Moreno, B. Olaizola, V. Pazyi, J.M. Udías, V. Vedia  
Universidad Complutense de Madrid (Spain)

M.J.G. Borge, T. Day Goodacre, V. Fedosseev, B. Marsh, E. Rapisarda, T. Stora  
CERN, Geneva (Switzerland)

W. Gelletly, P. Regan, Z. Podolyák, S. Rice  
University of Surrey, Guildford (United Kingdom)

R. Orlandi  
Katholieke Universiteit Leuven (Belgium)

Spokesperson(s): E. Náchter ([Enrique.Nacher@cern.ch](mailto:Enrique.Nacher@cern.ch))  
C. Domingo ([Cesar.Domingo@ific.uv.es](mailto:Cesar.Domingo@ific.uv.es))  
A. Algora ([Alejandro.Algora@ific.uv.es](mailto:Alejandro.Algora@ific.uv.es))

CERN-INTC-2013-009 / INTC-P-374  
29/05/2013

- Resumiendo: los núcleos son “productos” de la vida (y muerte) de las estrellas... y algo más
- Para entender la **procedencia de los núcleos y sus abundancias** en la Tierra **necesitamos** comprender los mecanismos de **evolución estelar y galáctica** a lo largo de la historia del Universo  

... y viceversa ...
- Para comprender la **evolución de las estrellas, necesitamos** comprender las **propiedades de los núcleos**  
(secciones eficaces de captura, tasas de desintegración, masas...)
- Esto se estudia experimentalmente en el laboratorio utilizando aceleradores de partículas y detectores.

# Y TODO ESTO..., ¿PARA QUÉ?



- Física nuclear para radiodiagnóstico:  
imagen médica (CT, PET, NMR...)
- Física nuclear para radioterapia

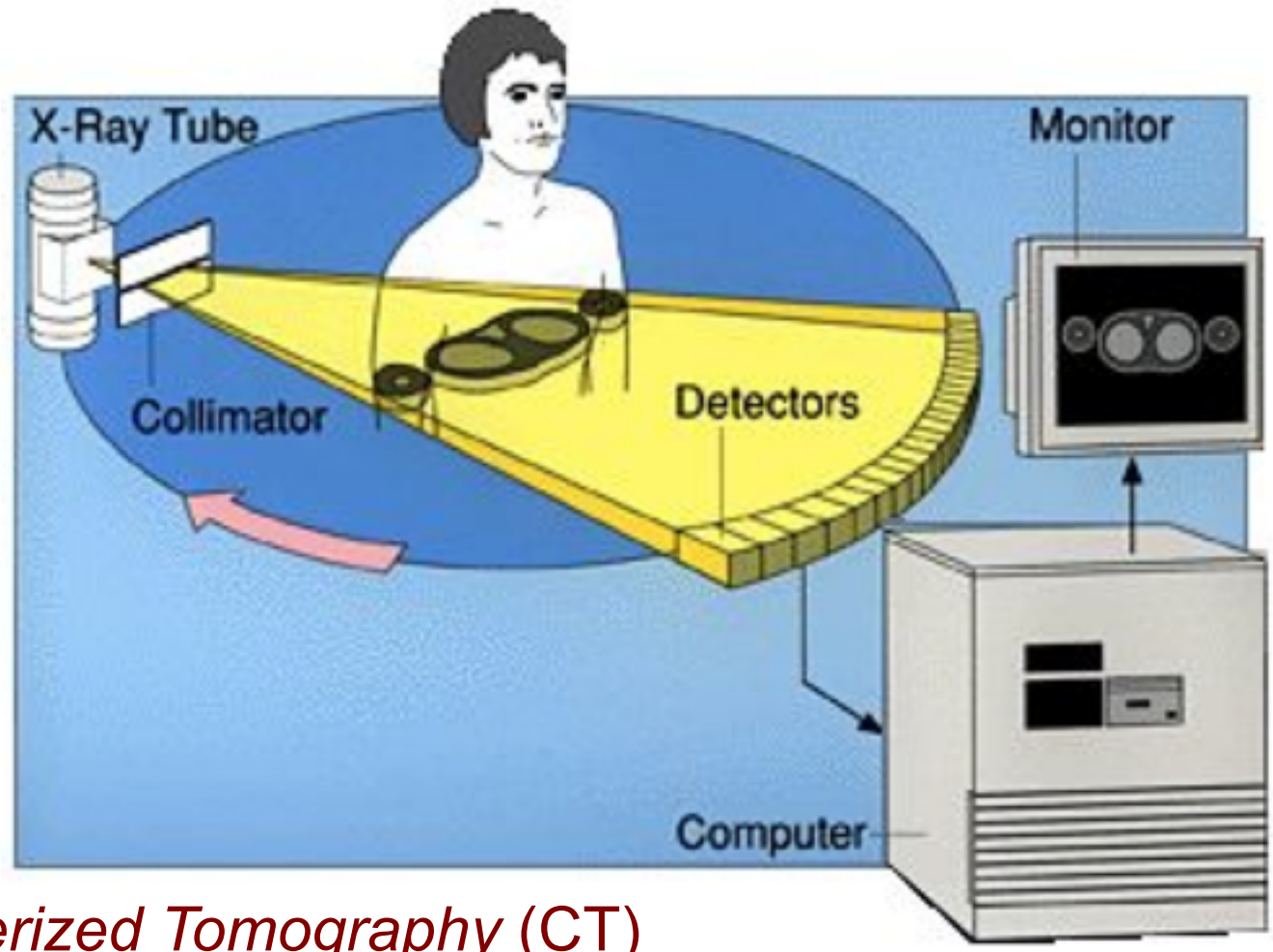
- ***Computerized Tomography (CT):***

diagnóstico tradicional por transmisión de rayos X → *buena imagen morfológica*

- ***Positron Emission Tomography (PET):***

uso de radio-trazadores y su acumulación en diferentes órganos del cuerpo  
→ *buena imagen funcional*

# Radiodiagnóstico: CT & PET

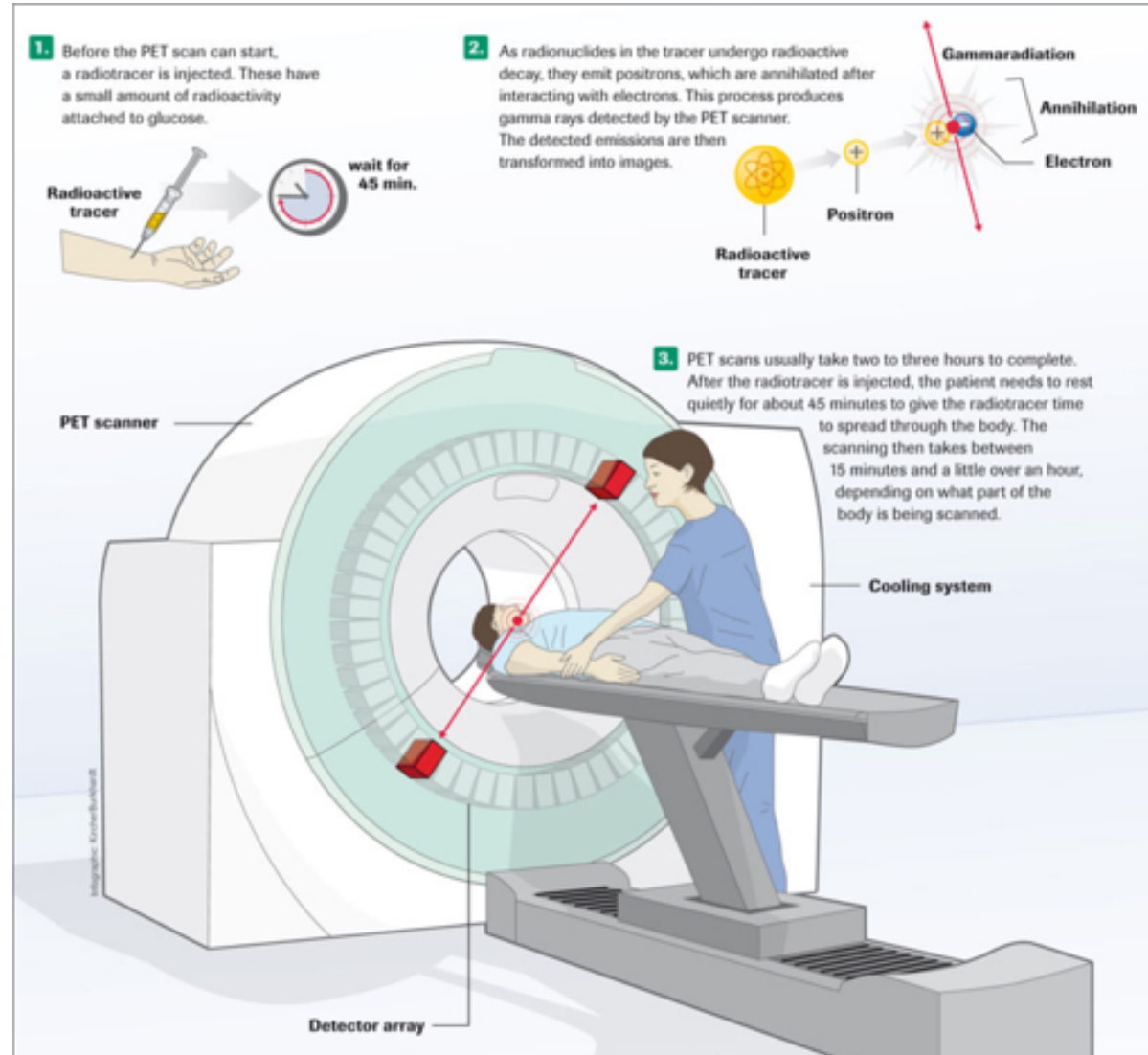


*Computerized Tomography (CT)*



# Radiodiagnóstico: CT & PET

FDG  
(FluoroDeoxiGlucosa)  
con  $^{18}\text{F}$



*Positron Emission Tomography (PET)*

# Radiodiagnóstico: CT & PET

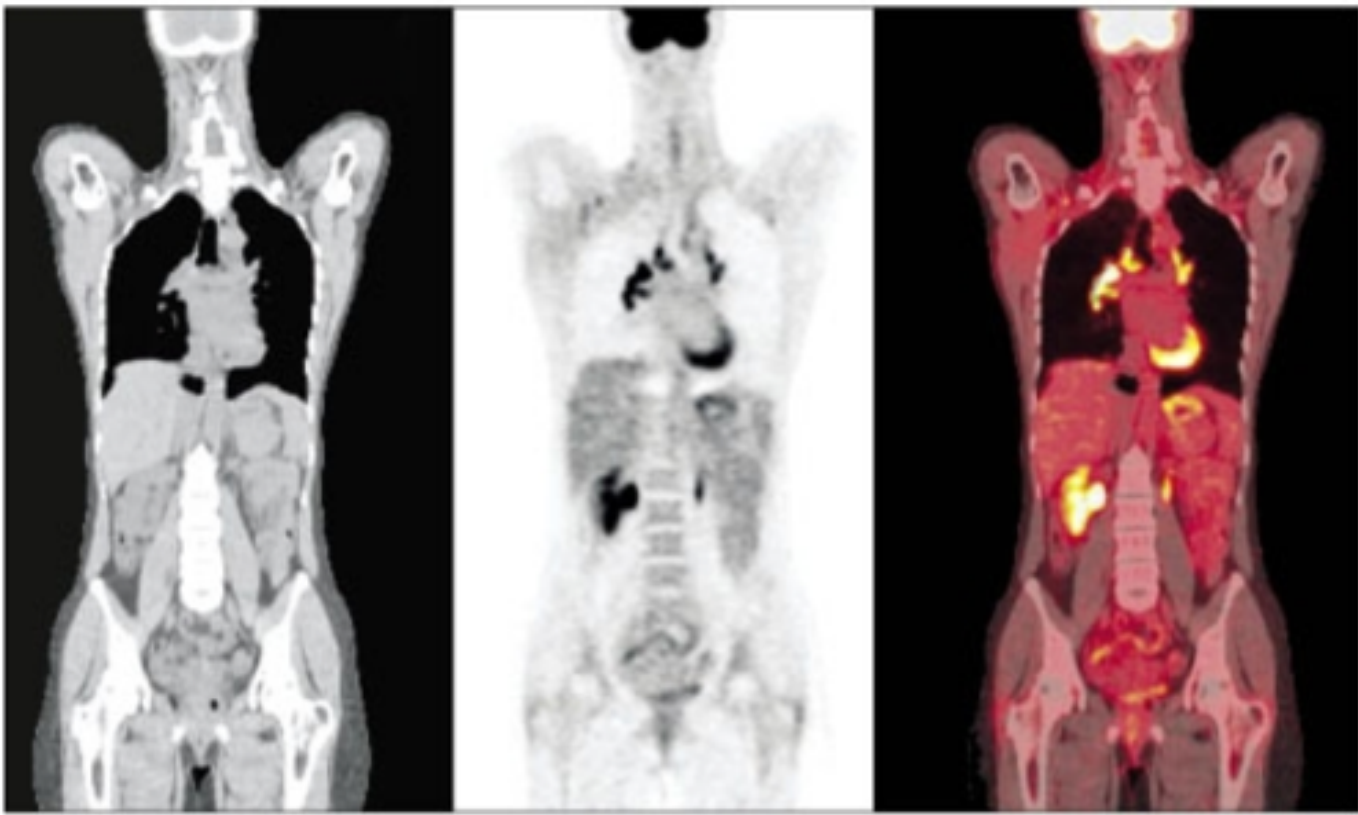
**CT Scan**  
Organs and bones



**PET Scan**  
Cell activity

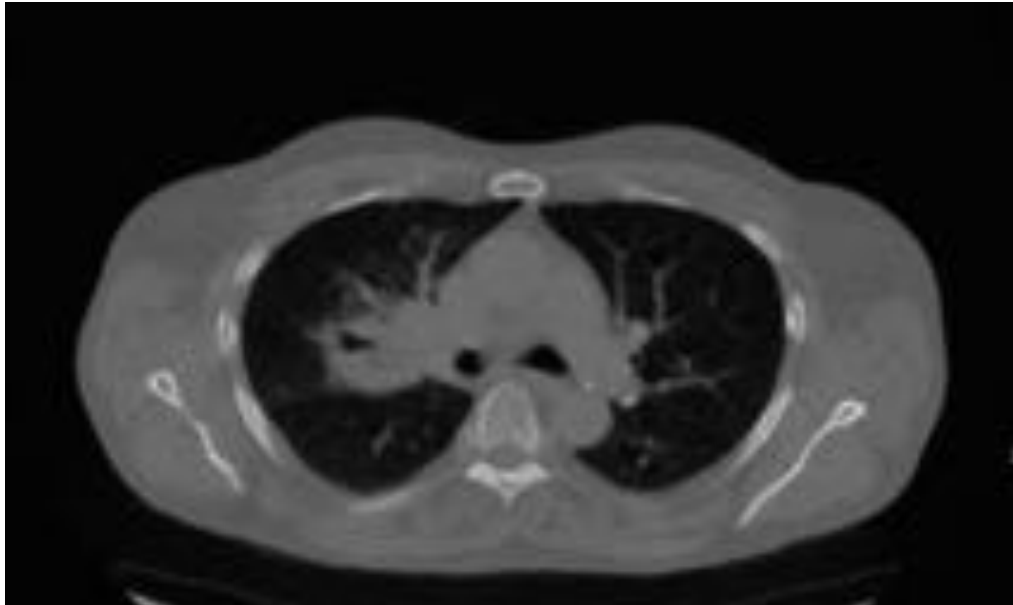


**PET/CT Scan\***  
Exact location of high cell activity



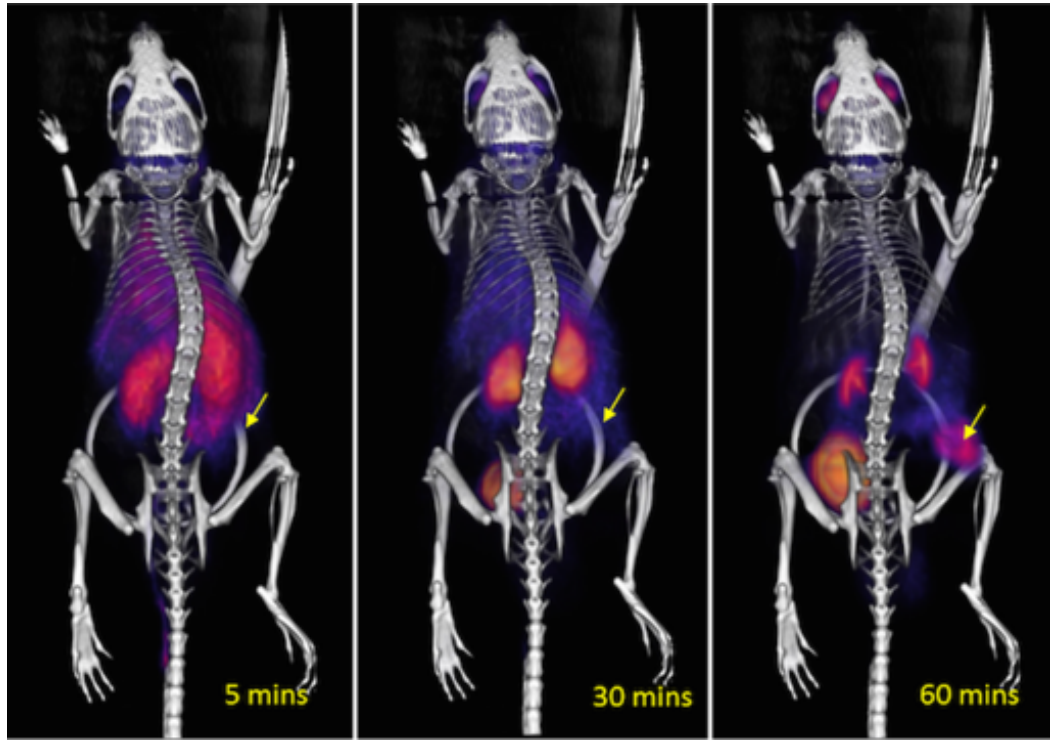
*Combinación PET/CT:  
imagen funcional con gran  
definición y calidad morfológica*

# Radiodiagnóstico: CT & PET



*Combinación PET/CT:  
imagen funcional con gran definición y calidad morfológica*

# Radiodiagnóstico: CT & PET



*Combinación PET/CT:  
imagen funcional con gran definición y calidad morfológica*

# Radioterapia:

## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )

- ***Terapia con rayos X o  $\gamma$***

tubos de rayos X, fuente de  $^{60}\text{Co}$ , acelerador lineal de electrones  
(barata, menos selectiva)

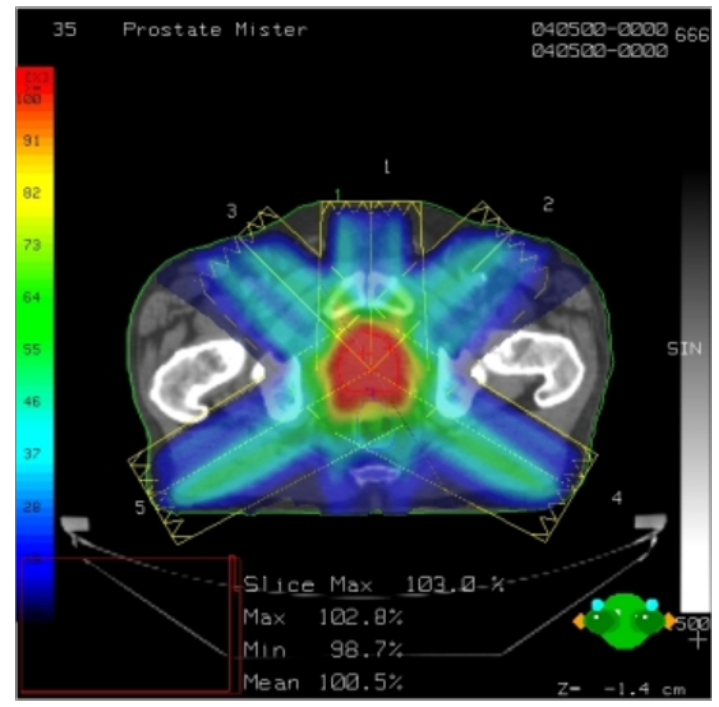
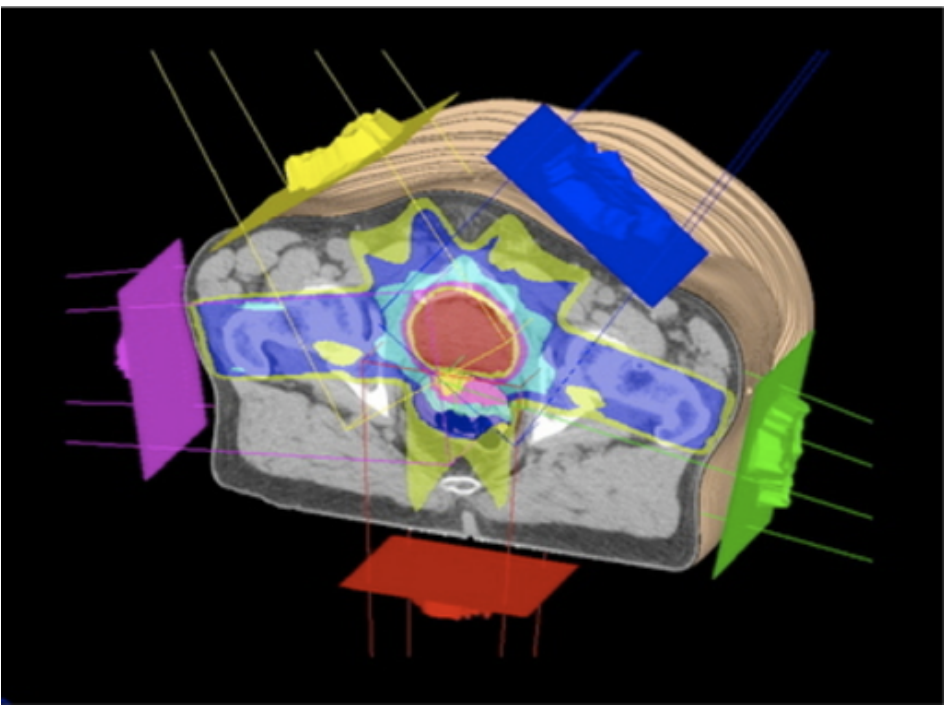
- ***Terapia con hadrones***

aceleradores (ciclotrones o sincrotrones) de protones o de  $^{12}\text{C}$   
(cara, muy selectiva)

# Radioterapia:

## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )

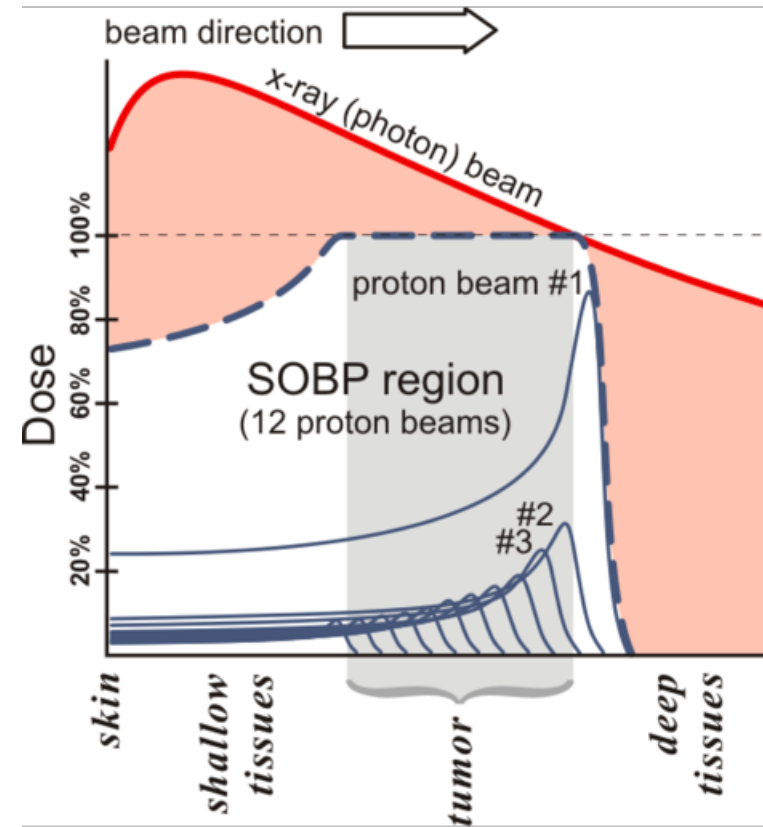
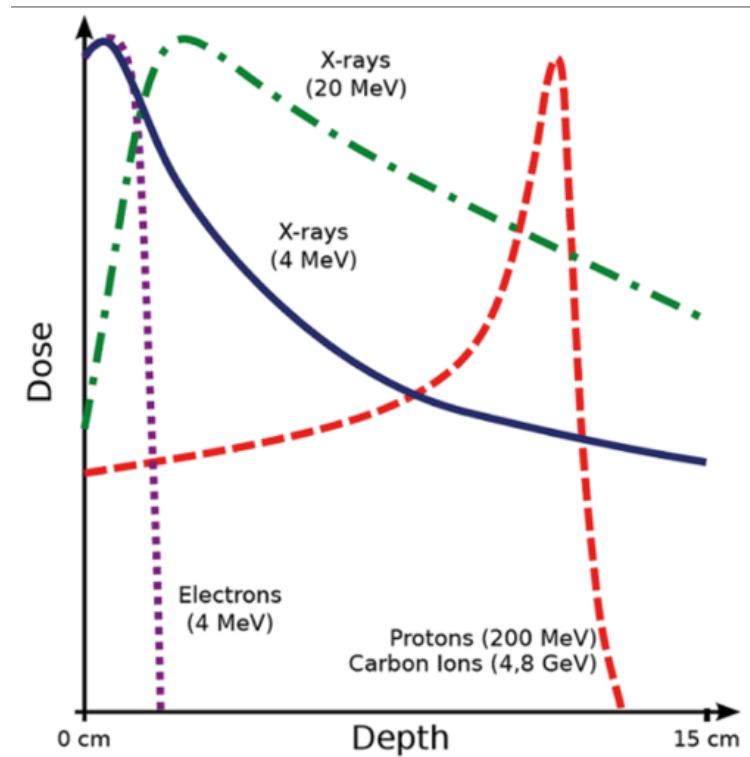
- Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)
- Terapia conformada 3D



# Radioterapia:

## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )

- *Hadronterapia*: hace uso de haces acelerados de p o  $^{12}\text{C}$  → dosis muy localizada



Area roja:  
dosis extra  
administrada  
al paciente

# Radioterapia:

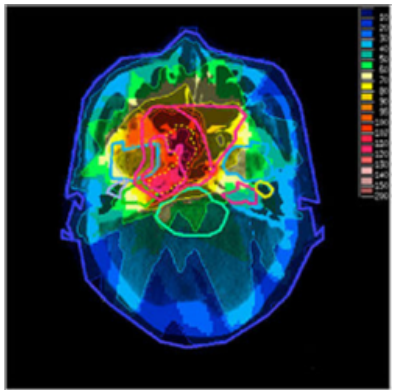
## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )

**Carcinoma nasofaringeal:**

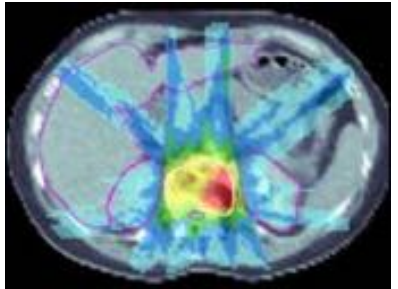
**Tumor medular:**



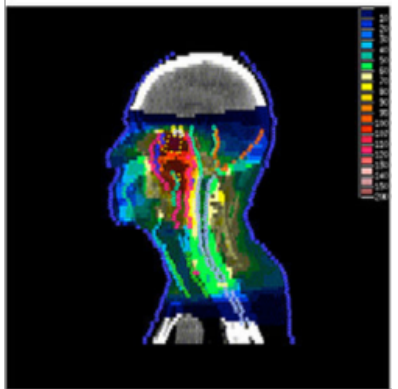
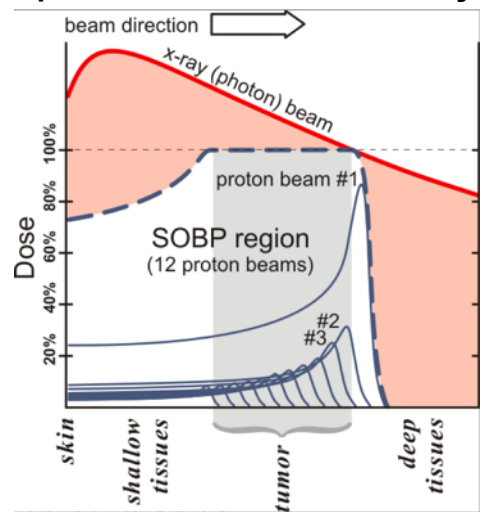
rayos X



rayos X



Energía depositada frente a la profundidad en el tejido:





# Radioterapia:

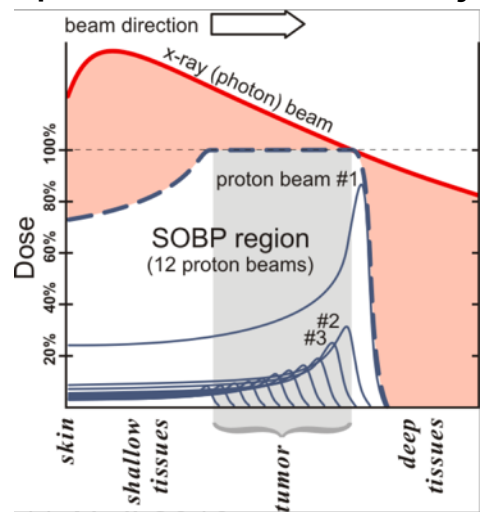
## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )

### Carcinoma nasofaringeal:

### Tumor medular:

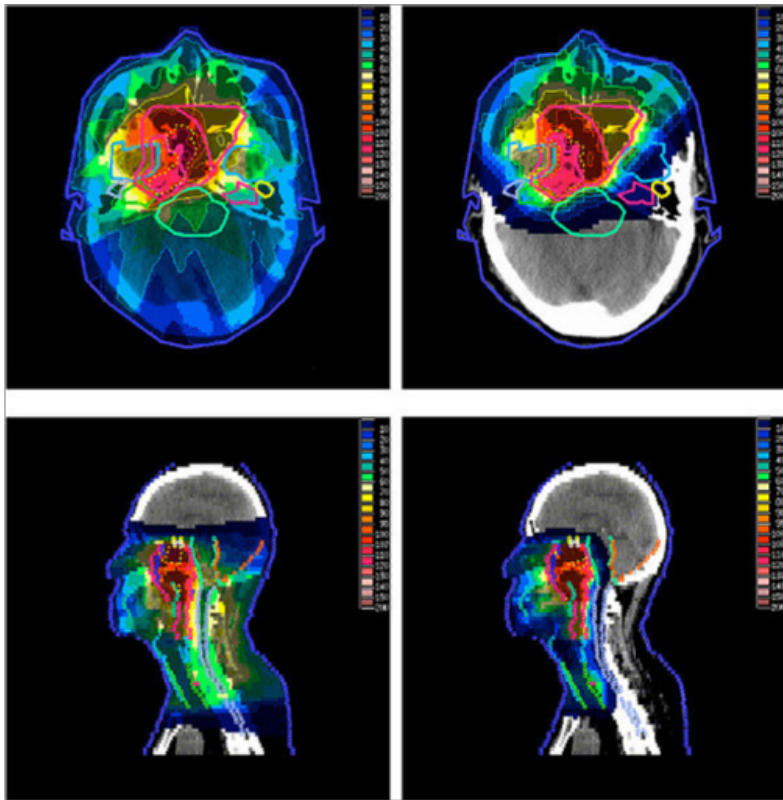


Energía depositada frente a la profundidad en el tejido:

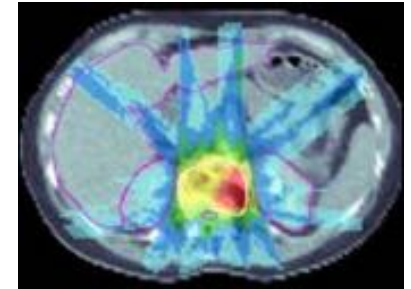


rayos X

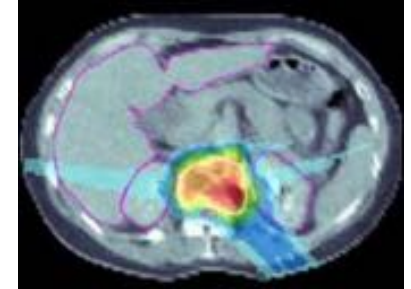
protones



rayos X

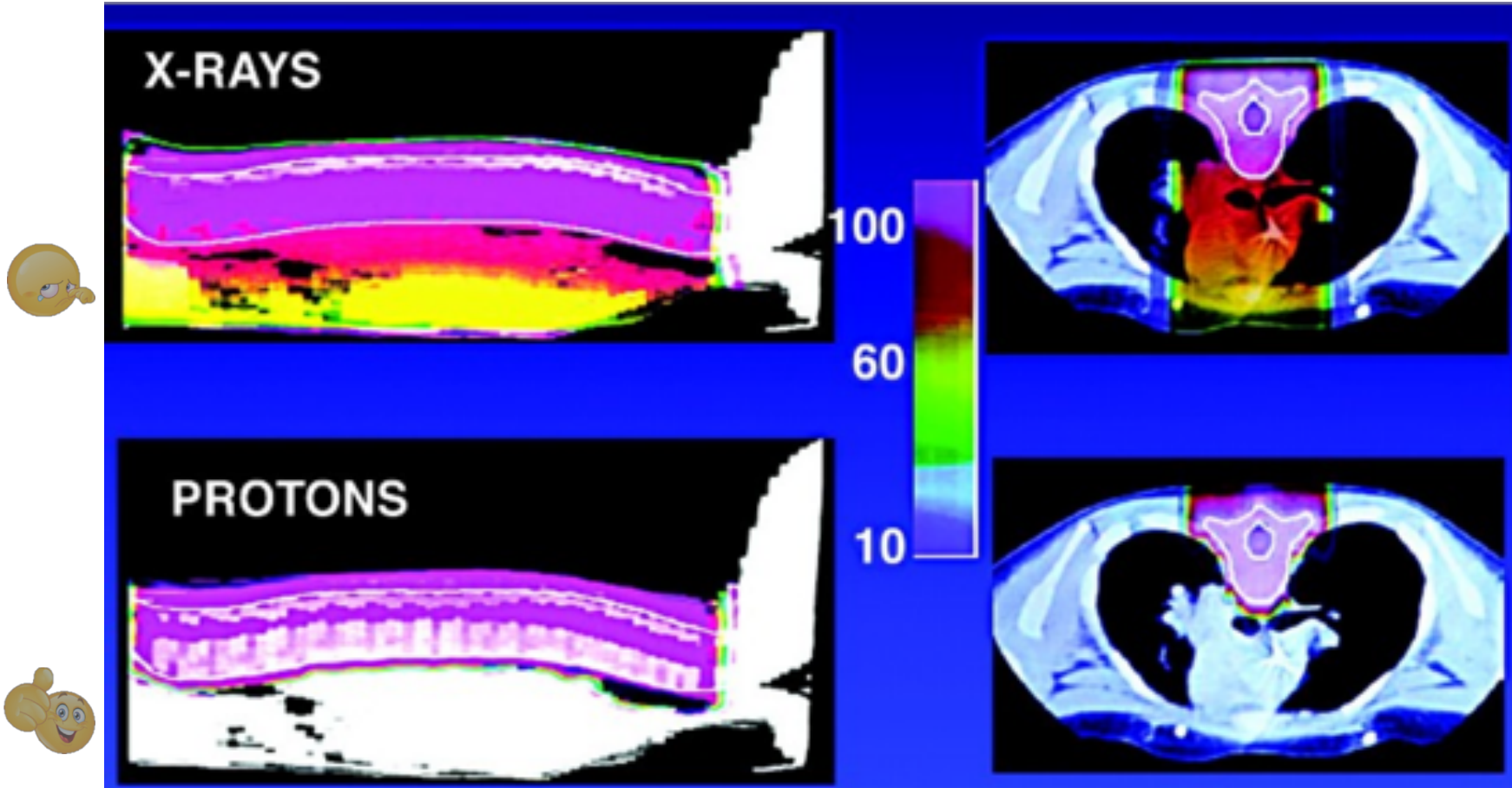


protones



# Radioterapia:

## rayos X o $\gamma$ vs hadrones (p, $^{12}\text{C}$ )



Medulloblastoma pediátrico.

# Radioterapia con hadrones en España

- Actualmente hay 81 centros de protonterapia y 13 de hadronterapia con  $^{12}\text{C}$  funcionando en todo el mundo
- En España, próximamente abrirán dos de protonterapia: Quirónsalud y Clínica Universidad de Navarra.



Disponible Finales 2019



Disponible Principios 2020



UNIDAD DE TERAPIA DE PROTONES  
**INICIO DE TRATAMIENTO A PACIENTES A PRINCIPIOS DE 2020**

Con una superficie de 3.600m<sup>2</sup> la nueva unidad cuenta con un acelerador de protones, dos salas de tratamiento para pacientes (gantrys), salas de trabajo y equipo e instalaciones de apoyo.

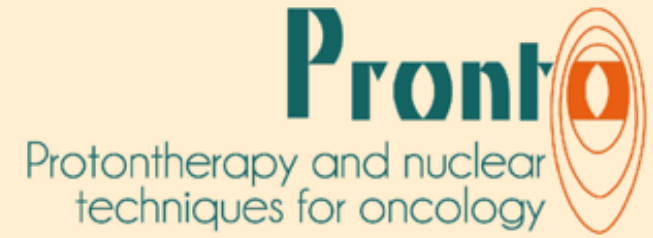


Primer centro de protonterapia contra el cáncer en España empezará a funcionar en 2019

Javier Tovar | MADRID/EFE/REDACCIÓN SALUD | Miércoles 06.06.2018



B2017/BMD-3888  
Programas de I+D en Biomedicina 2017



# ¡Gracias por vuestra atención!

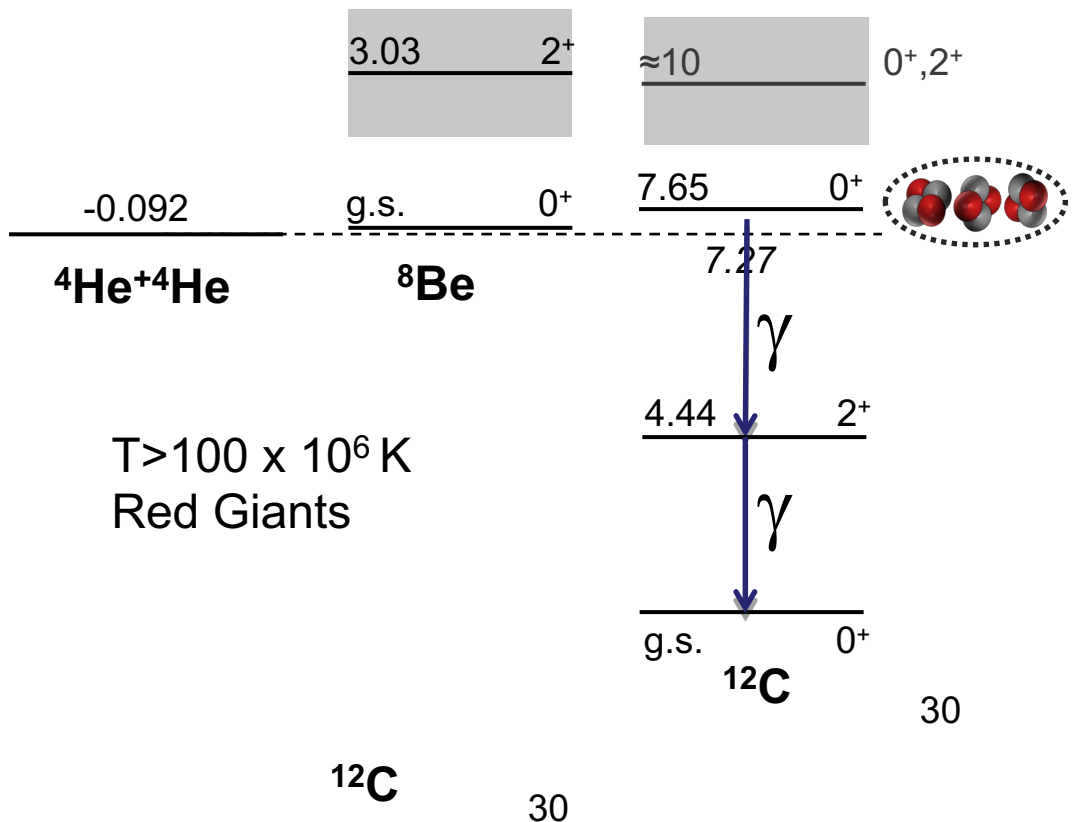
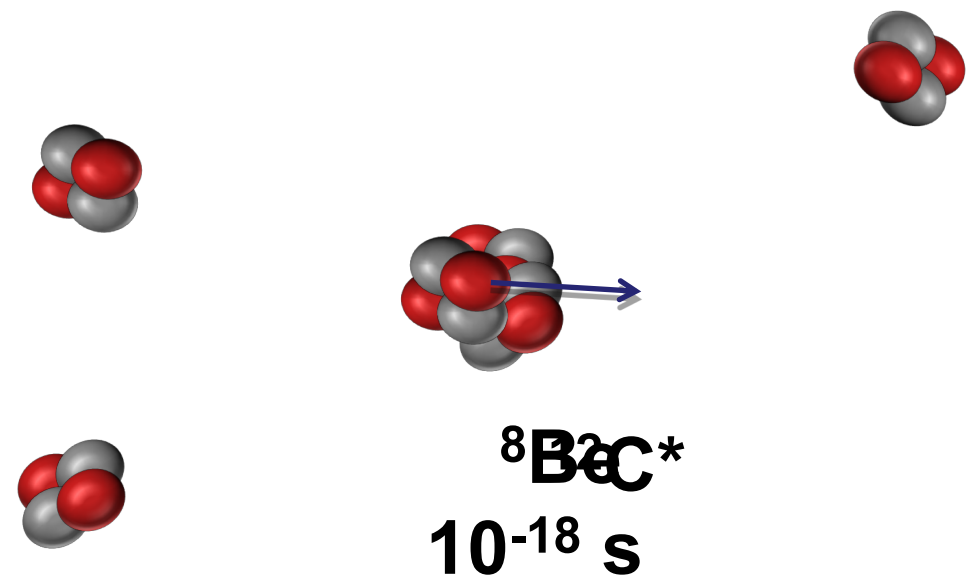


*Para mas información y contacto:*

[http://www.iem.csic.es/departamentos/nuclear/fnexp/index\\_es.html](http://www.iem.csic.es/departamentos/nuclear/fnexp/index_es.html)

# Origen de los núcleos atómicos: nucleosíntesis estelar

Fred Hoyle propuso la existencia de una resonancia en  $^{12}\text{C}$  sin la cual no podría producirse el proceso triple alfa en las condiciones que se encuentra el He en una gigante roja → **Argumento antropocentrista**



# Gamma-cámaras portátiles

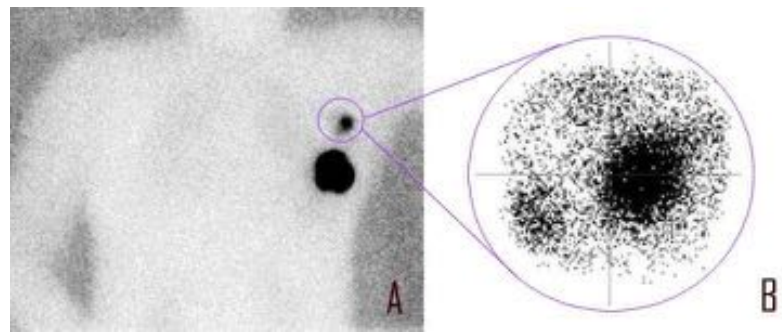
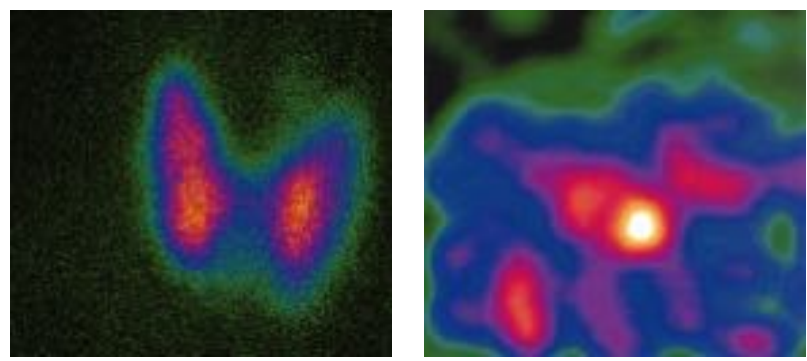


Imagen de tumor de New Scientist, Agosto 2007

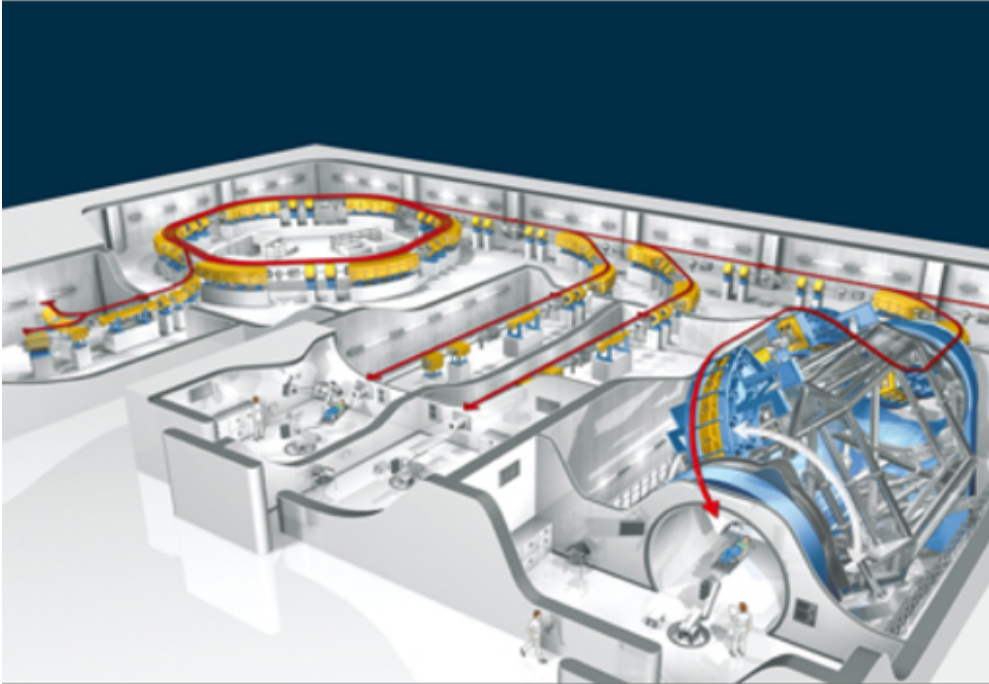


Paratiroides, Hospital General Universitario, Valencia

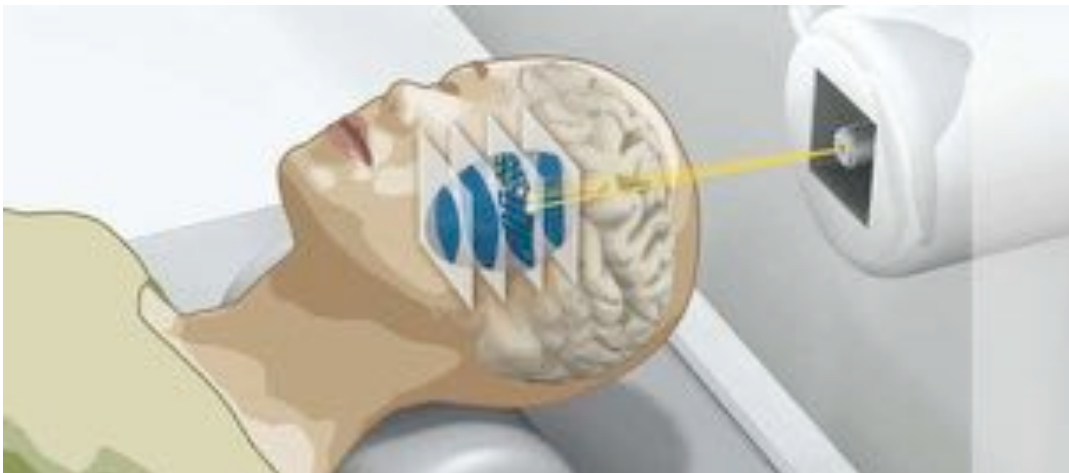


Imagen de cámara gamma portátil de [www.gem-imaging.com](http://www.gem-imaging.com), empresa spin-off del CSIC

# HIT: Centro de terapia con haces de iones en Heidelberg



- Este centro realiza terapia con protones e iones pesados.
- Tiene permiso para tratar pacientes desde 2 Nov 2009  
Aprox.: 750 pacientes/año
- Trata tumores de difícil acceso hasta 30 cm



- Fuente de Iones de  $CO_2$ , libera  $C_2$  ionizado.
- Acelerador lineal  $\beta=0.1$
- Sincrotrón acelera iones de  $C$  hasta  $\beta=0.73$