



# SUPERNOVAS: UN FIN CATASTRÓFICO PARA LAS ESTRELLAS

*Gloria Dubner*  
*Instituto de Astronomía y Física del Espacio*

*ANCEFN*  
*28/9/2018*



La noche del 30 de abril del año 1006 aparecía una estrella nueva muy brillante

Fue probablemente el evento estelar más brillante de la historia de la humanidad

# Publicado en el Xu Zizhi Tongjian Changbian

歷代名臣奏議卷之三百一  
灾祥

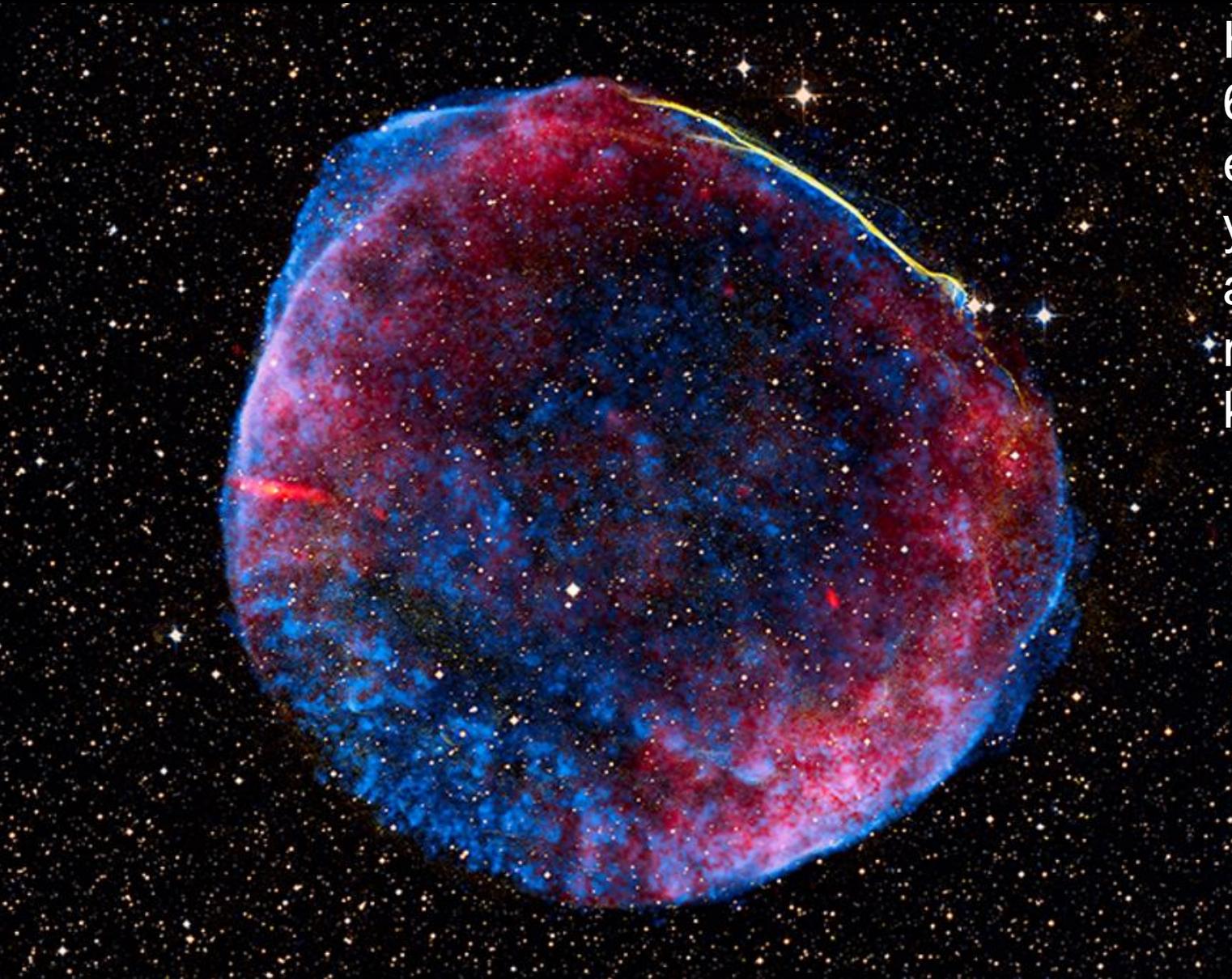
宋仁宗至和二年侍御史趙抃上言曰臣伏見自去年五月已來妖星遂見僅及周稔至今光耀未退此谷永所謂馳騁驟步芒炎長短所歷奸犯其為譎變甚可畏也又去冬連今春京東西路及陝右川蜀諸郡旱暵不雨麥苗焦死民既艱食寇攘必興此京房所謂欲德不用茲謂張厥災荒其為災沴復可懼也邇來岷峒山谷驚裂有聲他郡數處地亦震動此伯陽所謂陽伏而不能出陰迫而不能升蓋土失其性其為災異益可駭也夫燮調陰陽者三公之職天戒若曰陛下左右輔弼當得忠賢剛正之人為之乃可以召至和之氣消去萌之眚不然何以妖星譎變也早暵災沴也地震祥異也三者咎應察明如是之著耶臣愚伏望陛下謹天之戒應天以實取天下公議與天下瞻望之所謂賢人君子者降之使居廟堂之上責以三公四輔之事業委注而仰成之若然則陰陽以和災異以消朝廷清明矣狄畏服太平之風奇翹足引領而待之也臣朝夕思慮載惟擇賢命相繫國家休戚治亂之本伏願陛下慎重之然後發聖斷力行而不疑則宗廟社稷之福天下生靈之幸

起居舍人知諫院范鎮上奏曰臣伏見去冬多南風今春多西六風乍寒乍暑欲雨不雨又有黑氣蔽日此皆人事之所感動也黑氣陰也小人也日陽也君象也黑氣蔽日者陰侵陽小人惑君也欲雨不雨者政事不決也陳執中為相不病而家居者百日矣陛下以御史之言決一婢死而欲退宰相為是即乞速退執中以解天意以御史之言為非亦乞勅執中起視事無使天意久不決也寒暑者賞罰也乍寒乍暑者不當賞而賞當罰而不罰也鄧保吉有過於法不當為

su forma era como la de una media luna con rayos, y era tan brillante que uno podía realmente ver las cosas con su luz

Esa aparición súbita de luz no era una estrella nueva, sino el fin catastrófico de una estrella que tras brillar millones de años, en segundos terminó su vida con una explosión descomunal,

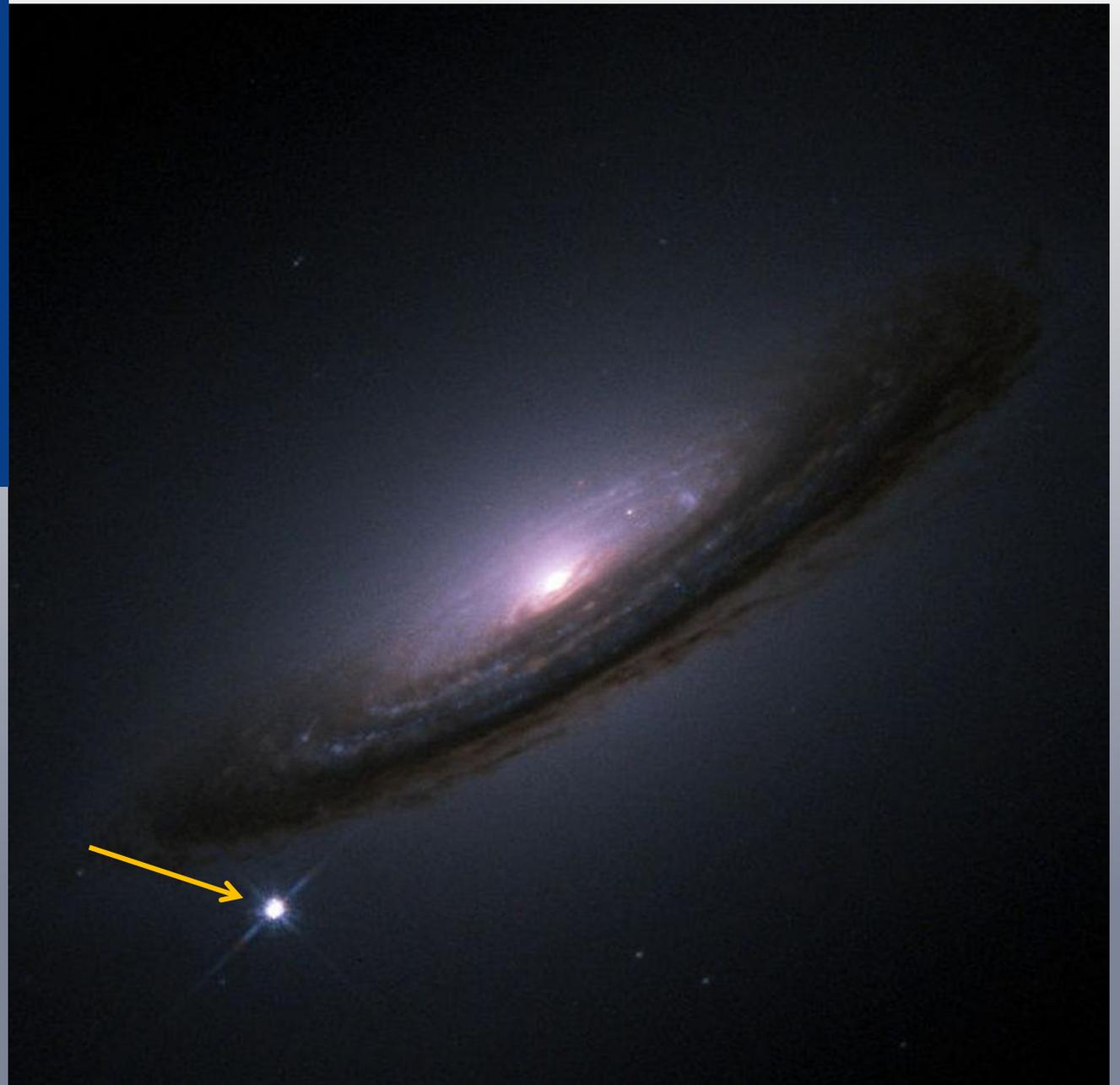
la **SUPERNOVA**

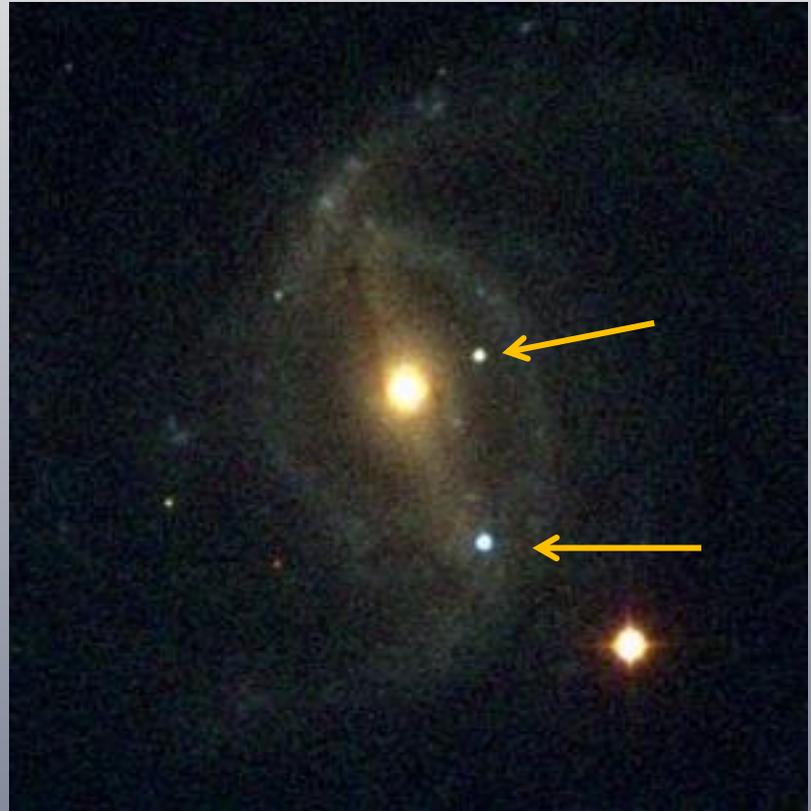
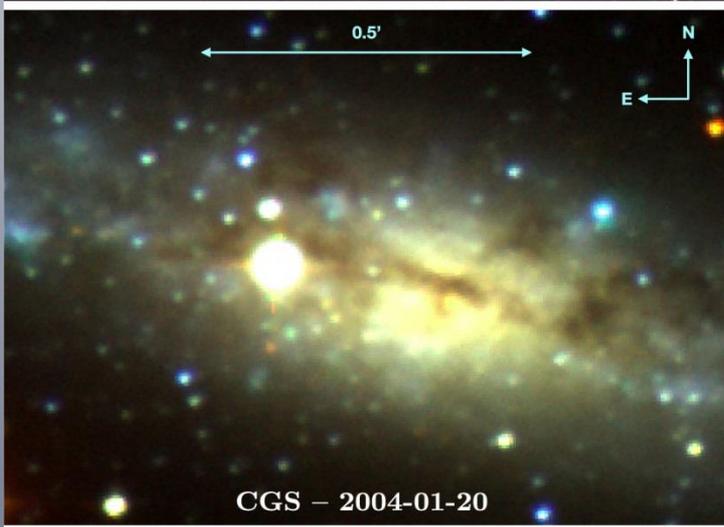
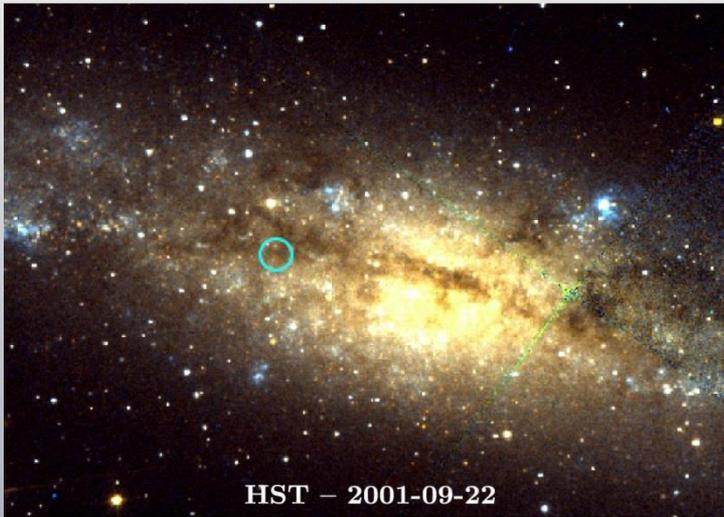


Hoy día cubre  
60 años luz  
en el espacio  
y se expande  
a más de 9  
millones de  
km/h

¿Cómo se descubren las supernovas?

De pronto  
aparece una  
nueva estrella que  
brilla como  
cientos de miles  
de estrellas juntas  
en un punto del  
espacio





## SN 1987A en la Nube Mayor de Magallanes

El 24 de febrero de 1987 llegó la luz de una estrella que explotó hace unos 170.000 años







# ¿Cómo mueren las estrellas?

## La masa de las estrellas define su destino

Las de **baja masa** (como el Sol o menores), fusionan lentamente el H y He y pueden llegar a ser tan viejas como el Universo

Las de **alta masa** consumen muy rápido todos sus recursos y no pueden generar más energía.  
Las estrellas más grandes posibles (~100 Soles) no viven más que un par de millones de años

# Evolución estelar

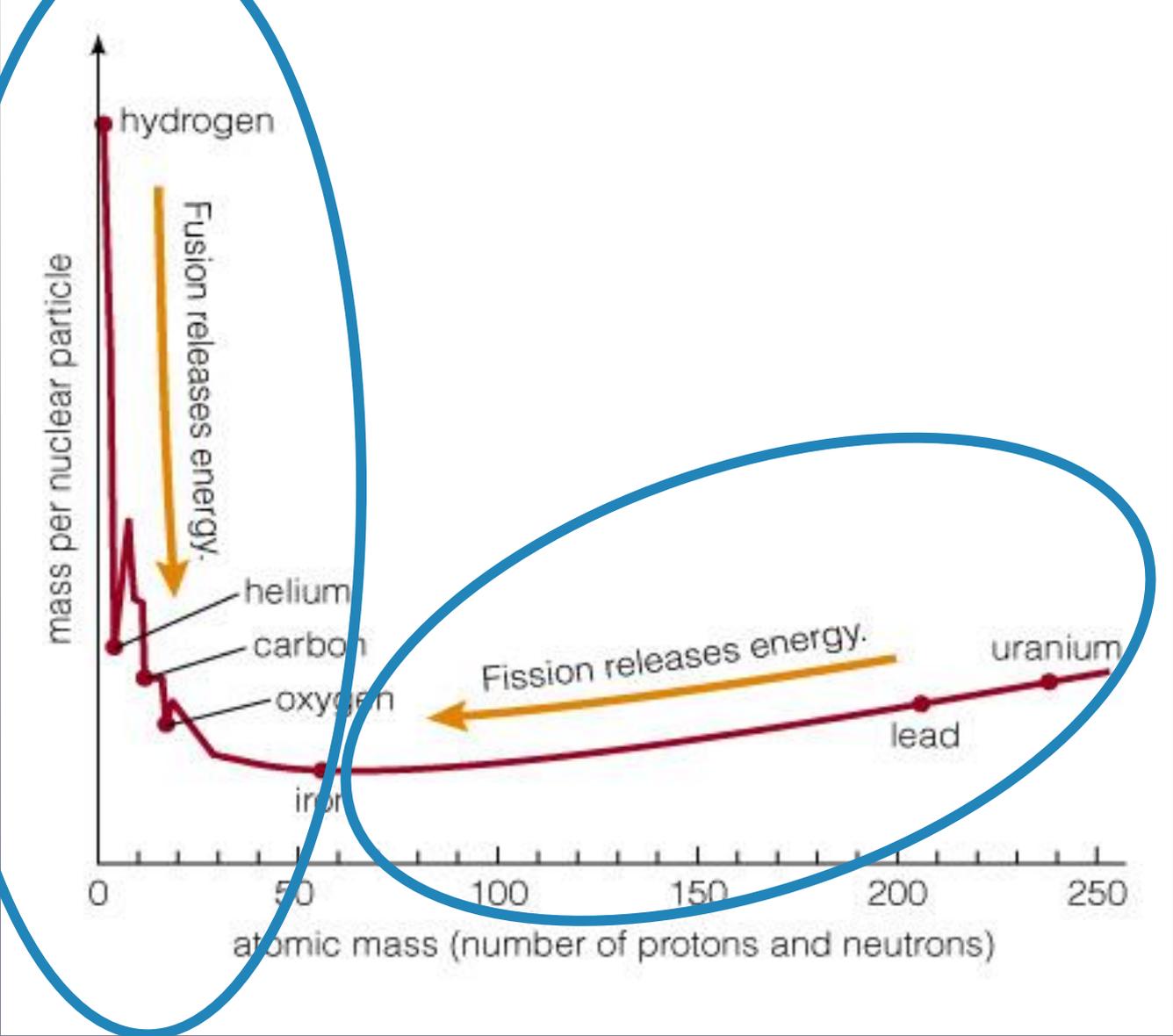
Para estrellas tipo solar, la evolución termina aquí.



Para estrellas de gran masa, la fusión nuclear continúa hasta el Fe

# Evolución aproximada de una estrella de 25 Mo

Proceso	Duración	Temperatura
Fusión de H a He	~10 millones de años	4 millones de grados
De He a C	~ un par de millones de años	100 millones de grados
De C a O, Ne, Mg	1000 años	600 millones de grados
De Ne a O, Mg	Pocos años	1000 millones de grados
De O a Si, S	1 años	2000 millones de grados
De Si a Fe	Días	3000 millones de grados
De Fe a neutrones	Menos de 1 segundo	Miles de millones de grados



La estrella continua radiando energía al espacio, pero ya no tiene ninguna producción propia de energía.

La gravedad comprime el núcleo de Fe y la temperatura aumenta enormemente

La respuesta del Fe es:

- Fisionarse en núcleos más livianos
- Algo del Fe sufre reacciones de fusión que producen núcleos más pesados consumiendo aún más energía



# LA EXPLOSIÓN CATASTRÓFICA



- En pocos segundos se acaba una vida estelar de cientos de miles de años y se libera al espacio una energía de unos  $10^{53}$  ergios *(equivalente a la que irradiaría el Sol durante 820.000 millones de años)*
- El 99% de esa energía se canaliza a la creación de neutrinos
- El sitio del estallido alcanza un brillo equivalente a 10.000 millones de Soles juntos
- Entre 5 y 10 masas solares salen despedidas a una velocidad de 5.000 a 10.000 km/s
- El 1% de energía que le quedó es inyectada al espacio y modificará irreversiblemente la física y la química del espacio circundante, afectando volúmenes de centenares de años luz

# Destino de las estrellas

```
graph TD; A[Destino de las estrellas] --> B[Estrellas de baja masa]; A --> C[Estrellas masivas]; C --> D[Estrellas con núcleo de Fe]; D --> E[COLAPSO GRAVITACIONAL]; E --> F[Supernovas Tipo Ib, Ic y II];
```

Estrellas de  
baja masa

Estrellas  
masivas

Estrellas con núcleo  
de Fe

**COLAPSO GRAVITACIONAL**

Supernovas  
Tipo Ib, Ic y II

# Los remanentes del colapso gravitatorio

## Objetos compactos

**ESTRELLAS  
DE  
NEUTRONES**

**AGUJEROS  
NEGROS**

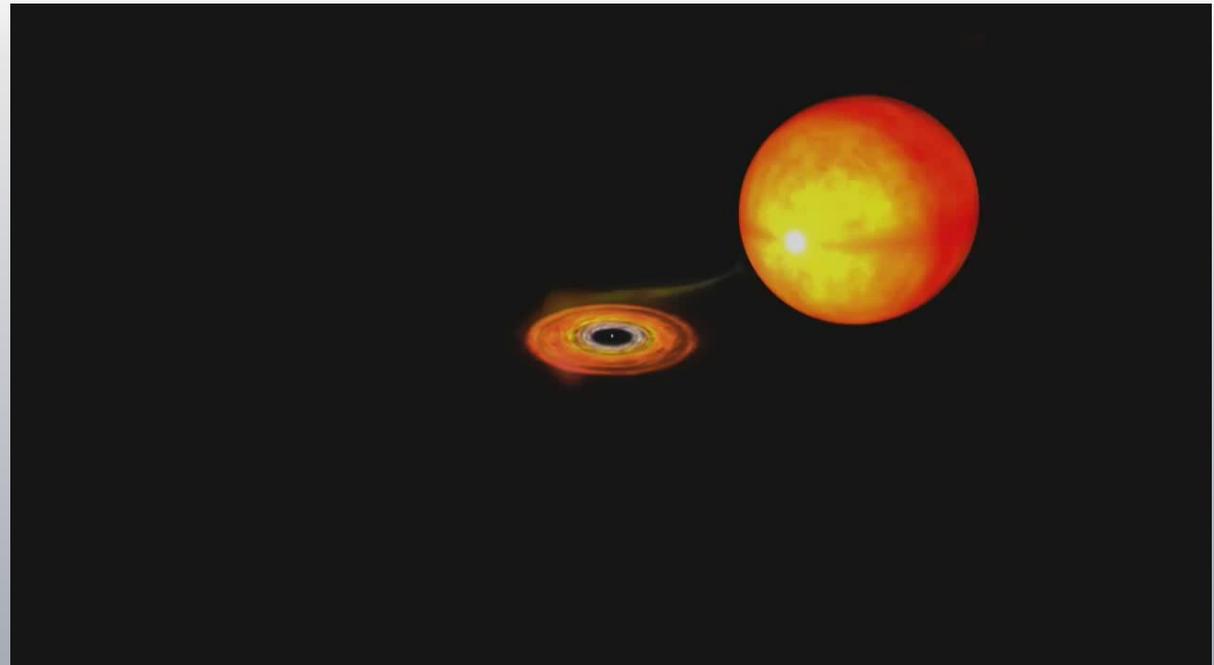
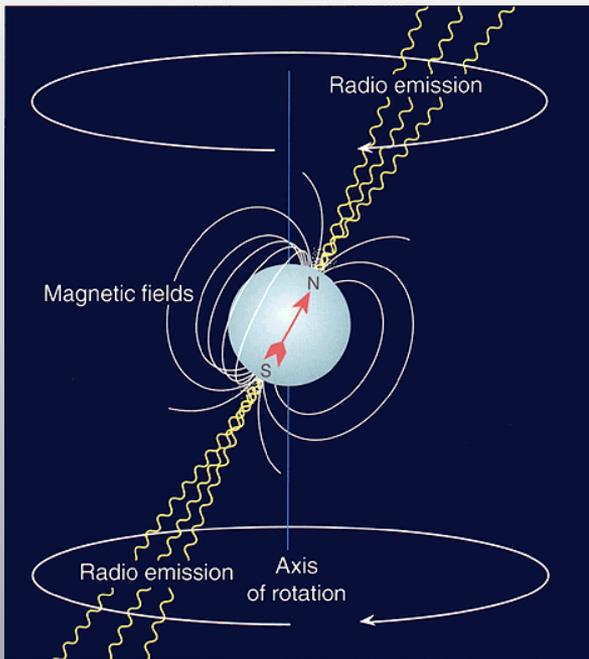
## Y sus acciones

# Las estrellas de neutrones: estrellas de física extrema

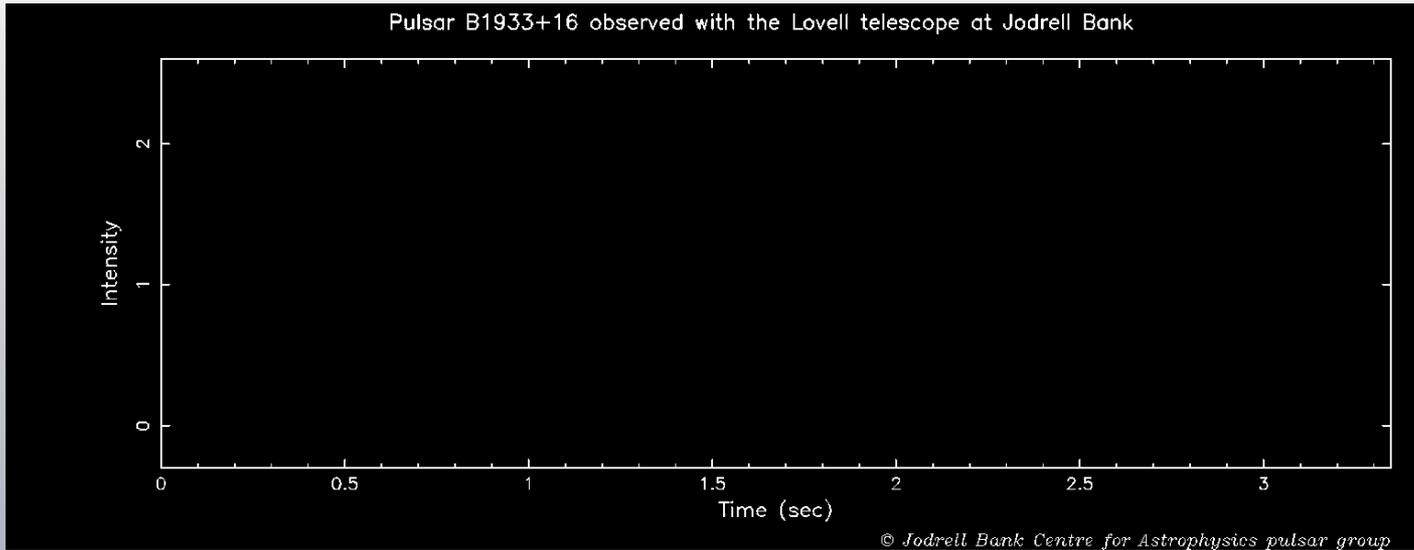
Son esferas de unos 20 kilómetros de diámetro de superfluido de neutrones donde  $1 \text{ cm}^3$  pesa más de 100 millones de toneladas.

Un campo magnético de unos  $10^{12}$  (hasta  $10^{15}$  Gauss)  
(campo de máxima intensidad generado en Tierra  $12 \times 10^6$  Gauss)

En 1934, a sólo 2 años del descubrimiento del neutrón, Baade y Zwicky escribieron: *“Con toda reserva podemos adelantar la impresión de que una supernova representa la transición de una estrella ordinaria a una estrella de neutrones, consistente principalmente de neutrones. Tal estrella puede ser de muy pequeño radio y extremadamente alta densidad”*.



## Simulación de un pulsar de mili-segundo

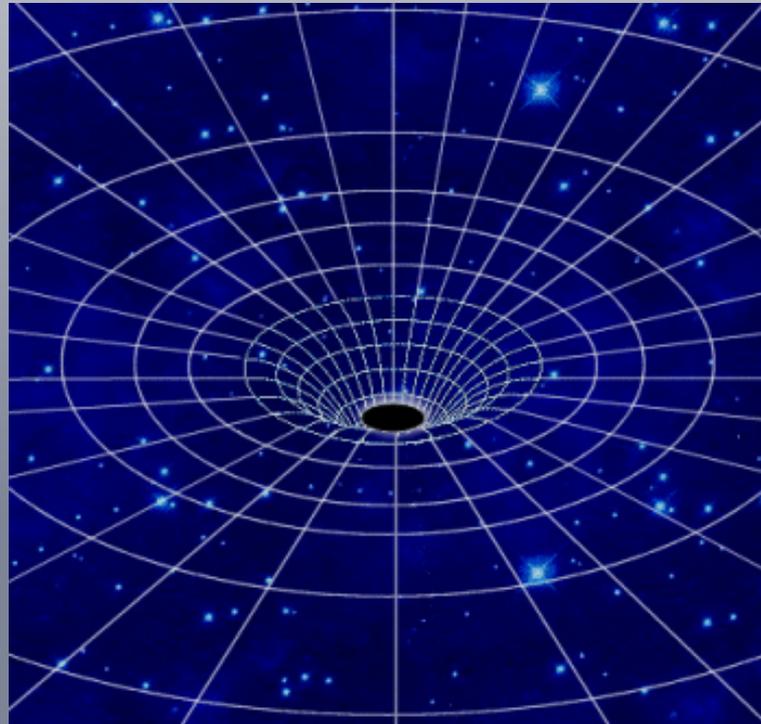


Pulsar B1933+16    3 pulsos/seg    edad:900.000 años

## Agujeros negros de masa estelar

En el caso extremo de que la masa del núcleo de la estrella sea mayor que  $\sim 3 M_{\odot}$ , la energía no alcanza para expeler las capas externas de la estrella.

Toda su masa cae sobre el núcleo y nada puede detener el colapso. Se forman entonces los *agujeros negros*,



# Destino de las estrellas

```
graph TD; A[Destino de las estrellas] --> B[Estrellas de baja masa]; A --> C[Estrellas masivas]; C --> D[Estrellas con núcleo de Fe]; D --> E[COLAPSO GRAVITACIONAL]; E --> F[Supernovas Tipo Ib, Ic y II];
```

Estrellas de  
baja masa

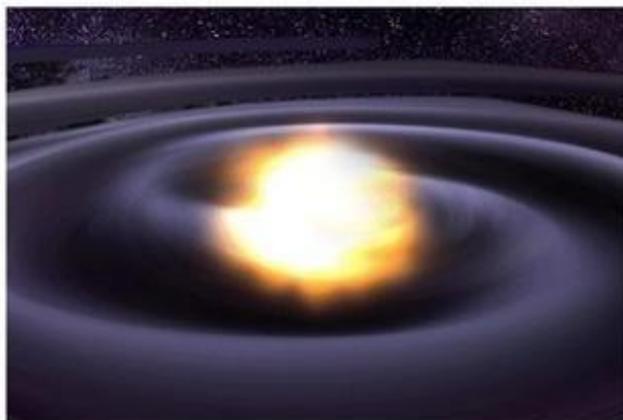
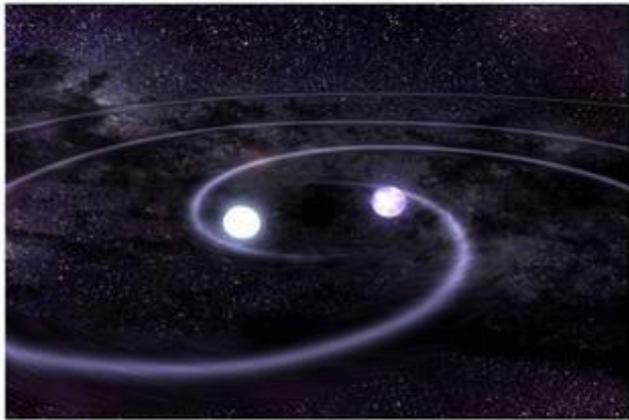
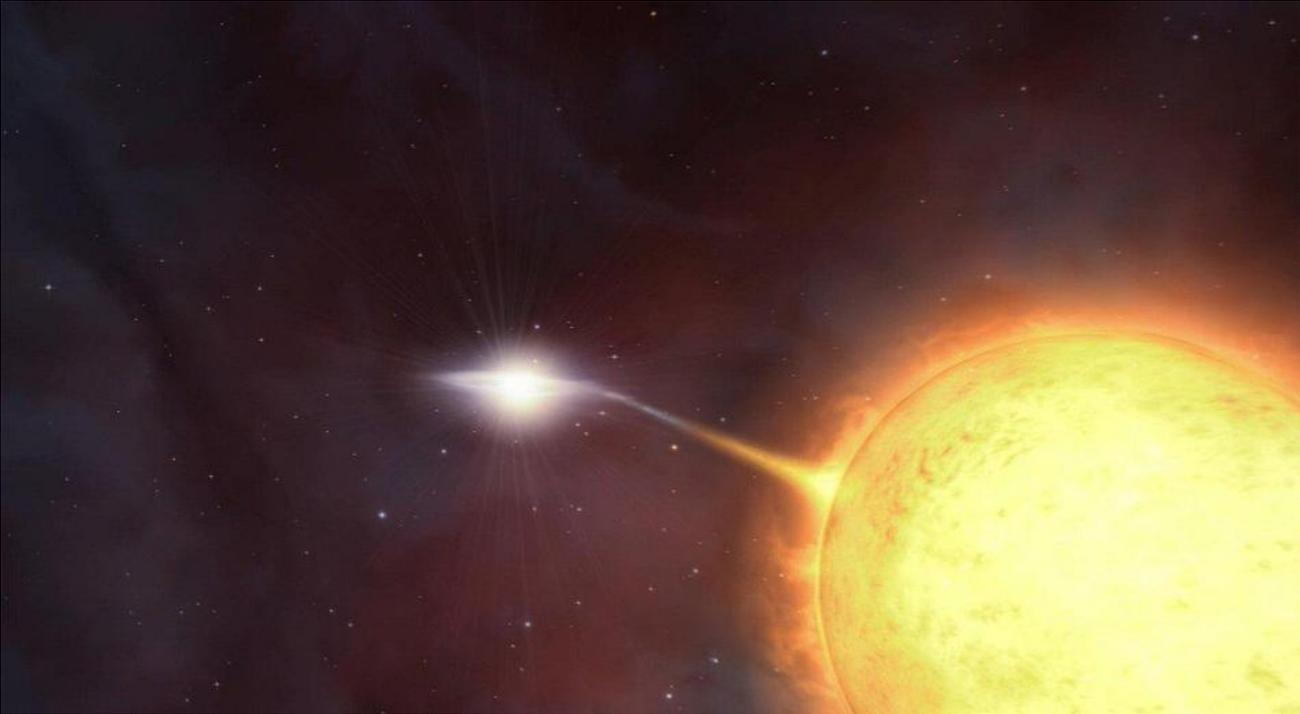
Estrellas  
masivas

Estrellas con núcleo  
de Fe

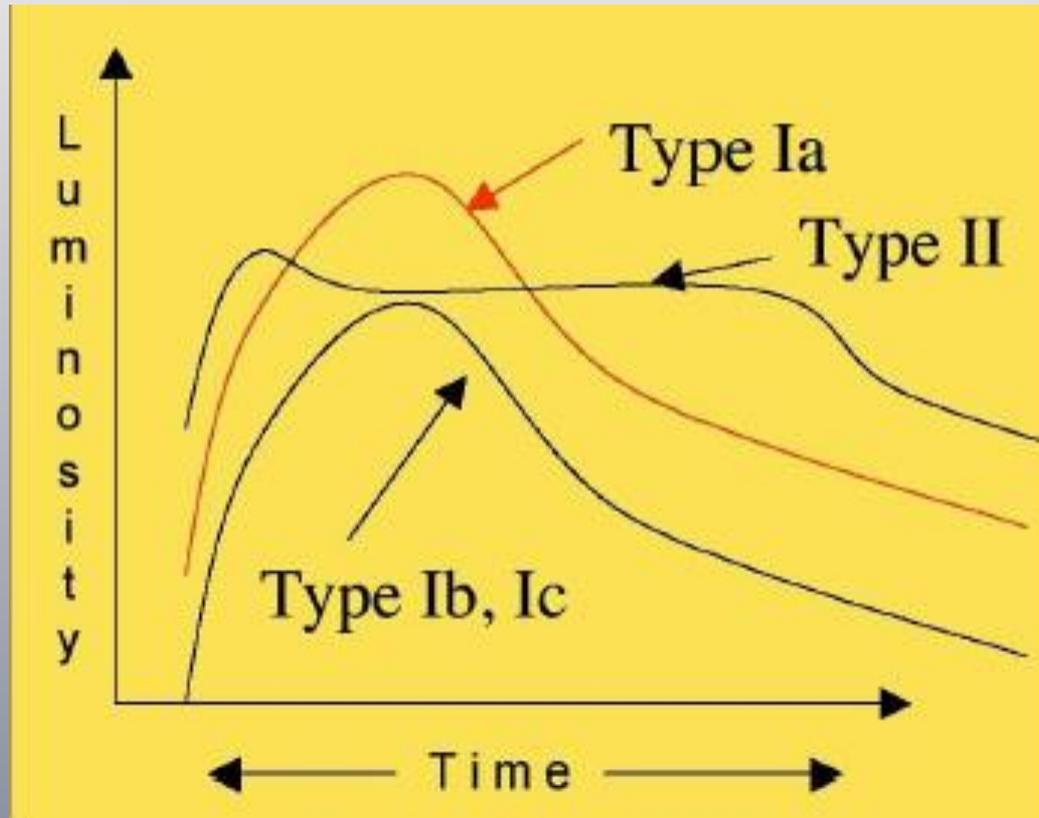
**COLAPSO GRAVITACIONAL**

Supernovas  
Tipo Ib, Ic y II

# Puede darse otra forma de explosión con estrellas de baja masa



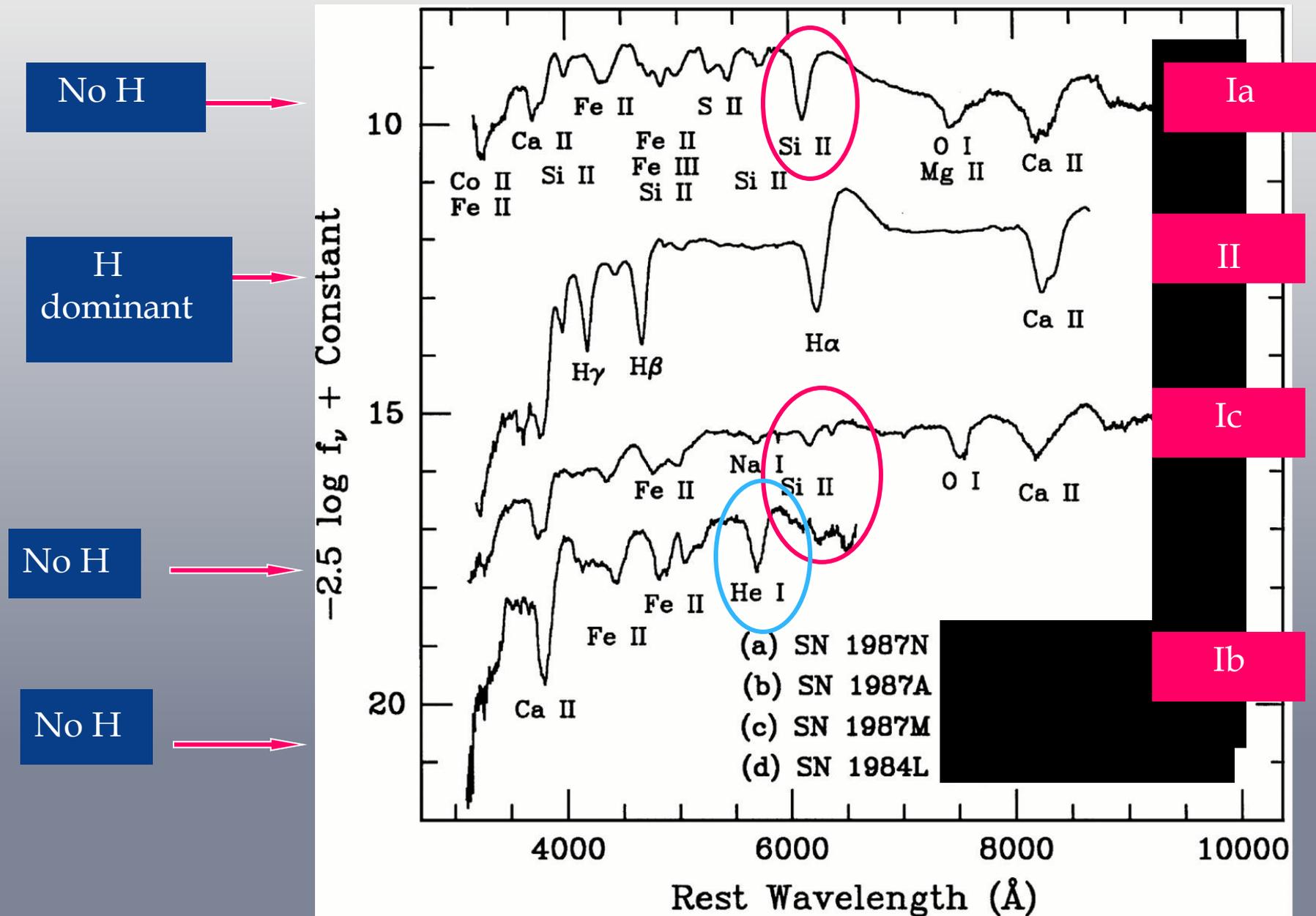
# Curvas de luz después de la explosión



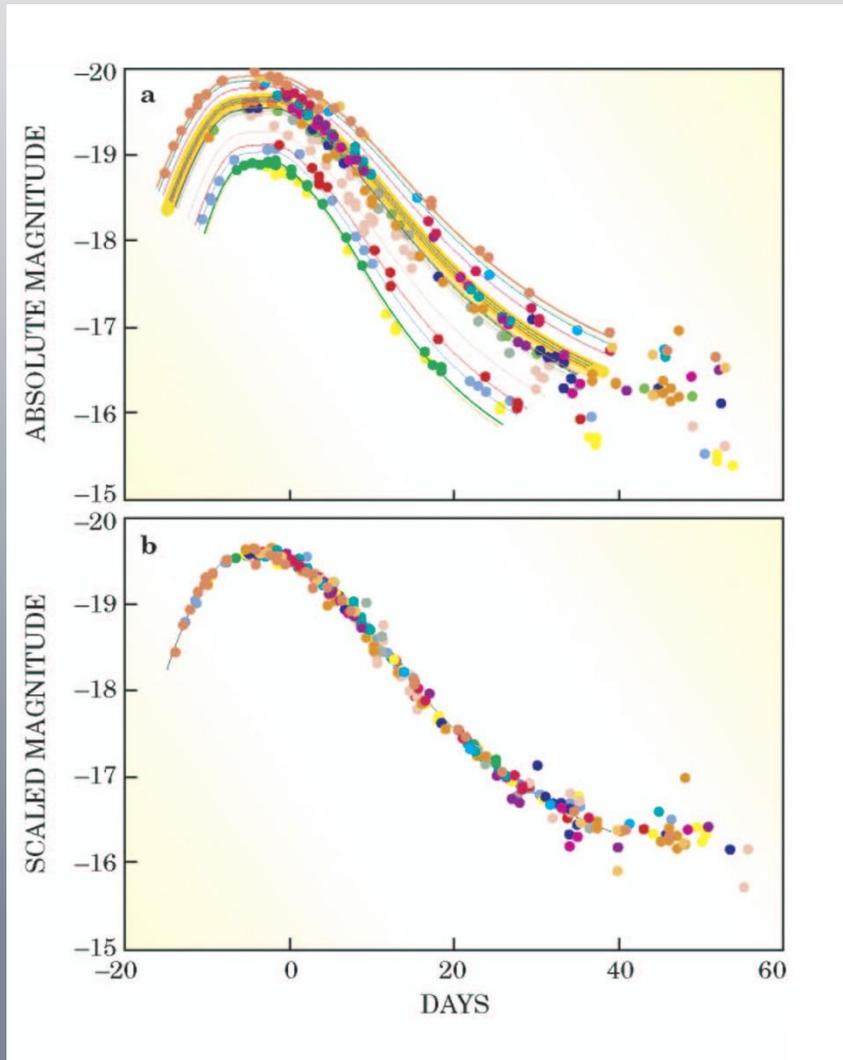
SNe Type Ia attain  $M_V = -19.5$

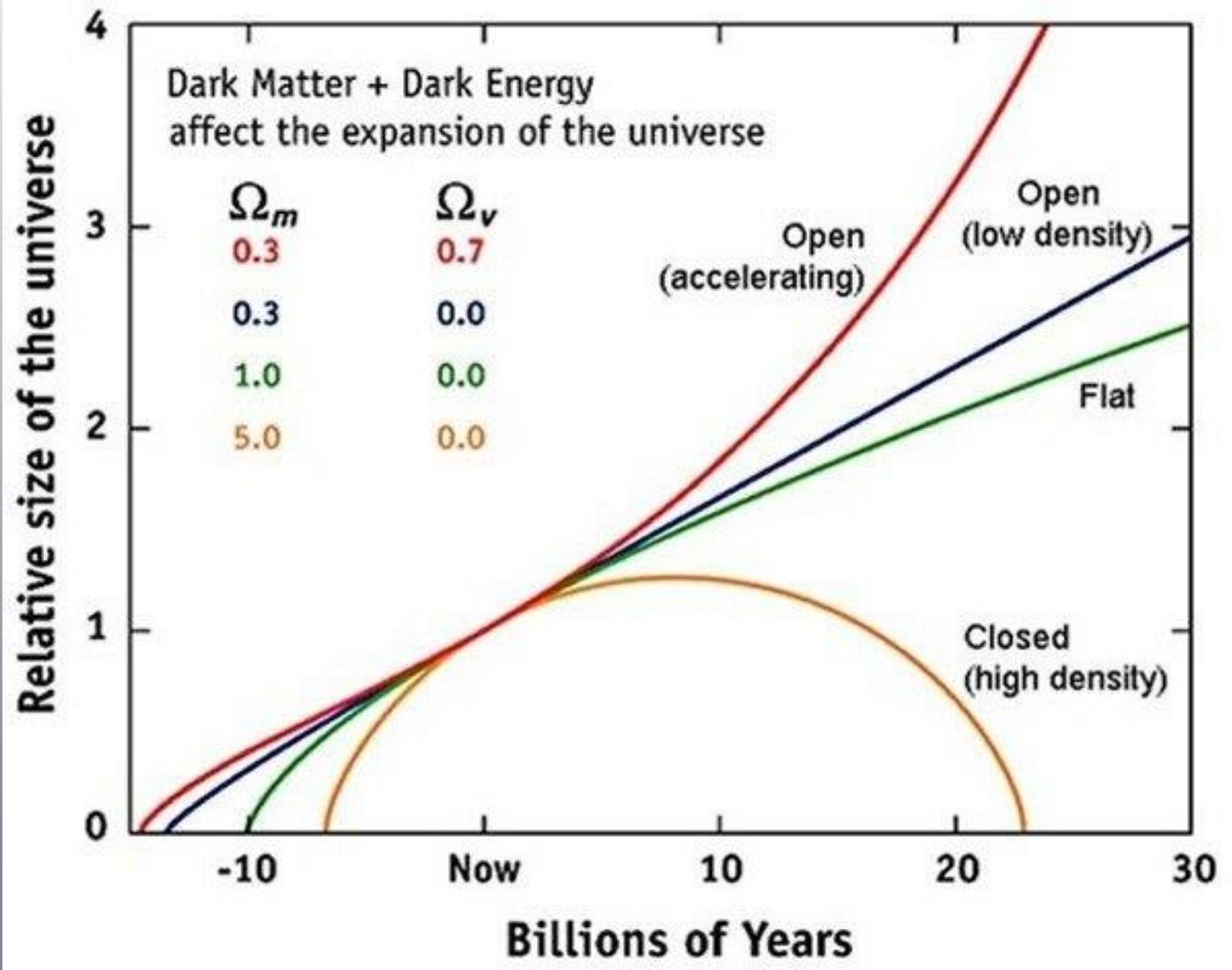
SNe Type II       $M_V = -18$

# Espectros tempranos ( 1 semana después de la explosión)



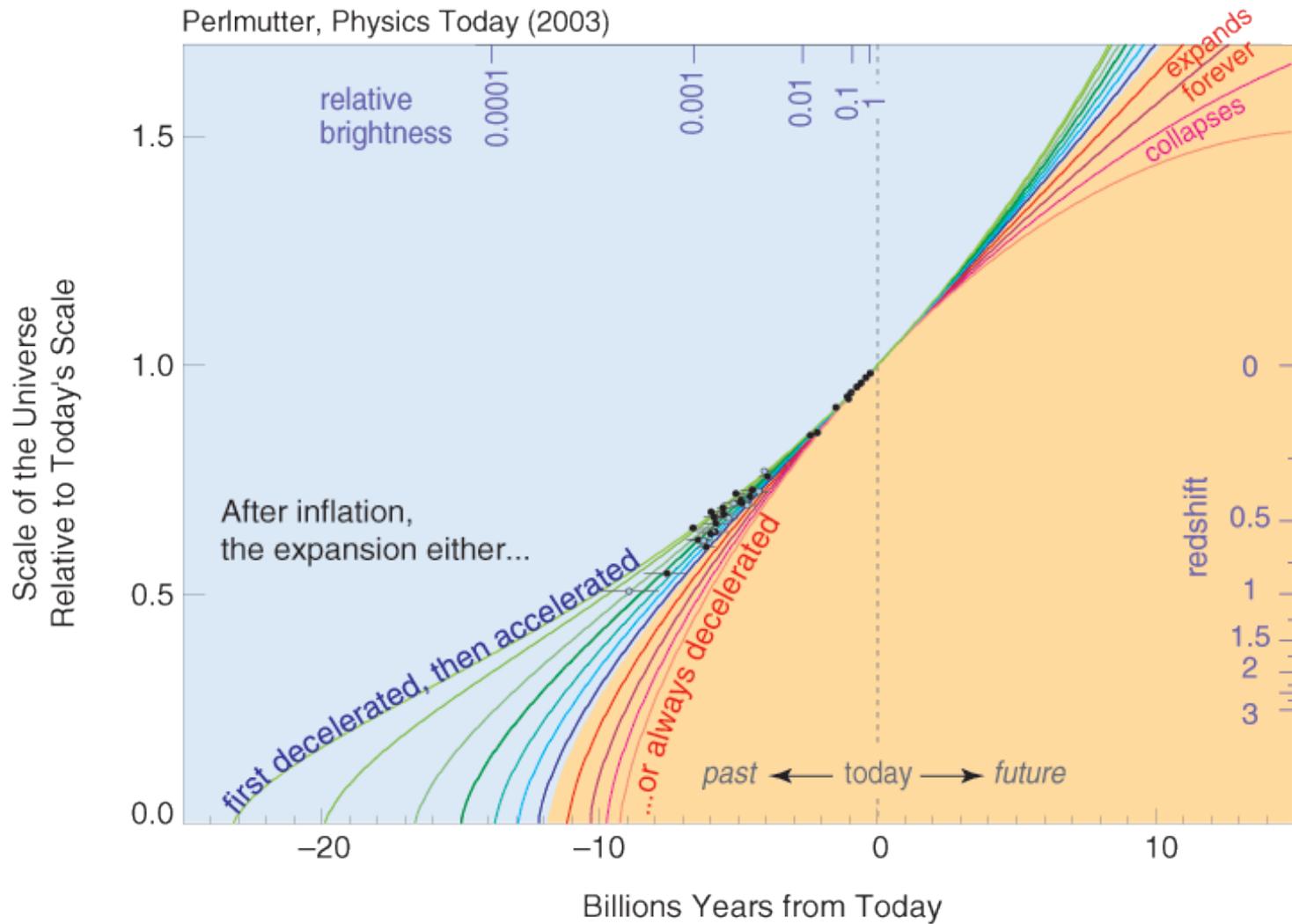
# Supernovas Tipo Ia



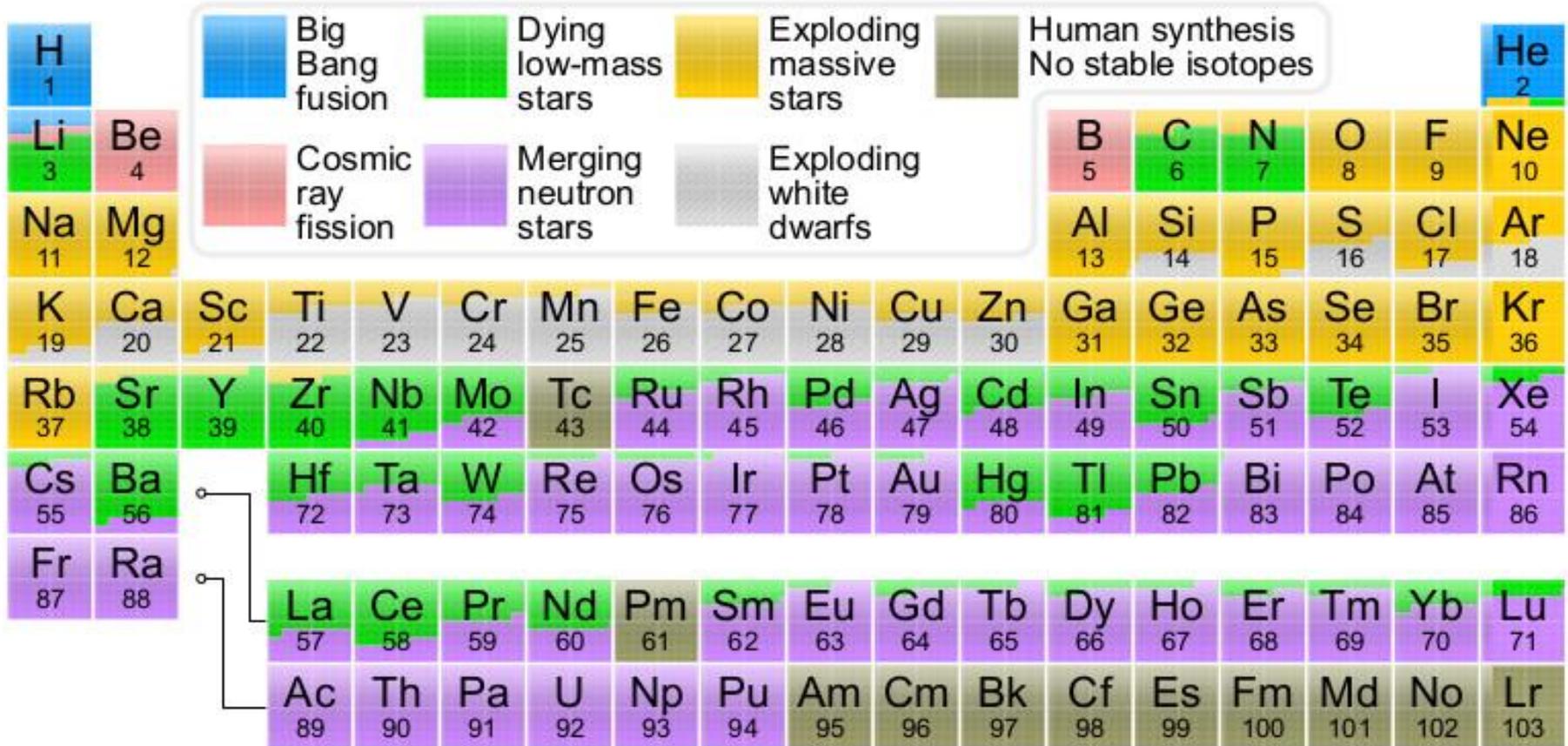


# Expansion History of the Universe

Perlmutter, Physics Today (2003)



# Poblando de átomos al Universo





# Los remanentes de supernovas

- Objetos compactos

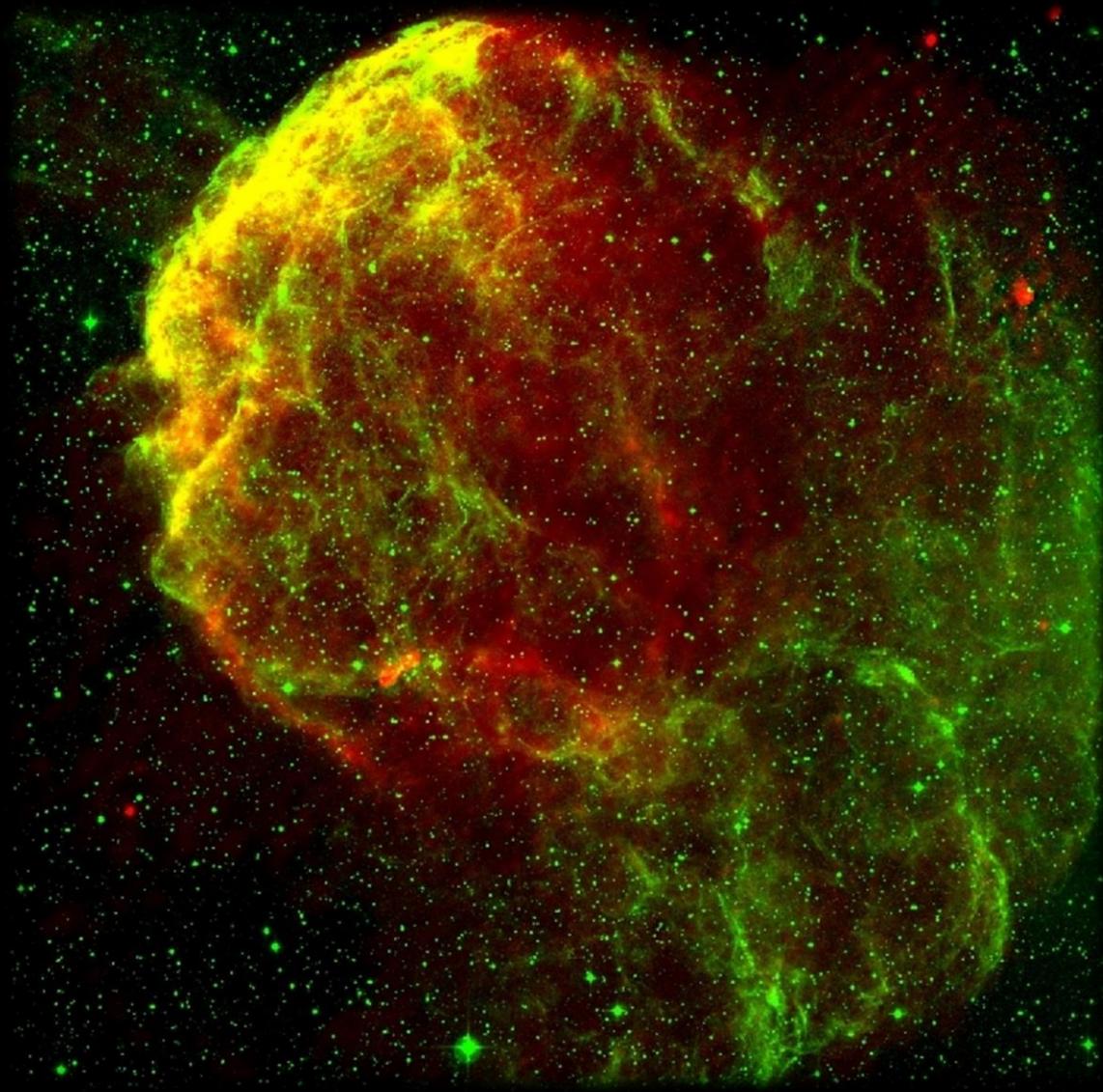
**ESTRELLAS  
DE  
NEUTRONES**

**AGUJEROS  
NEGROS**

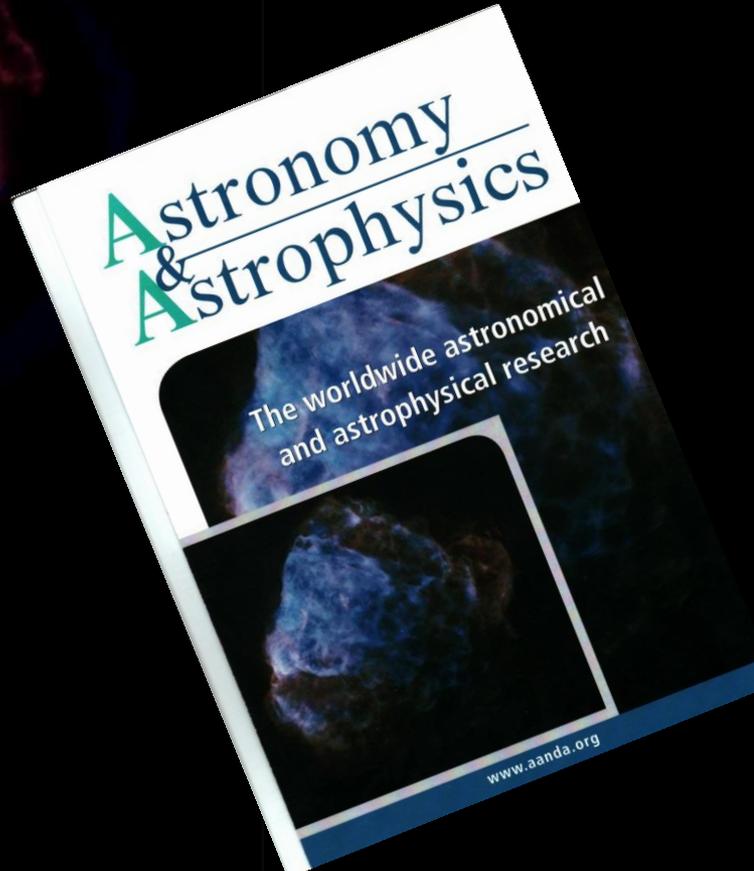
- Acciones

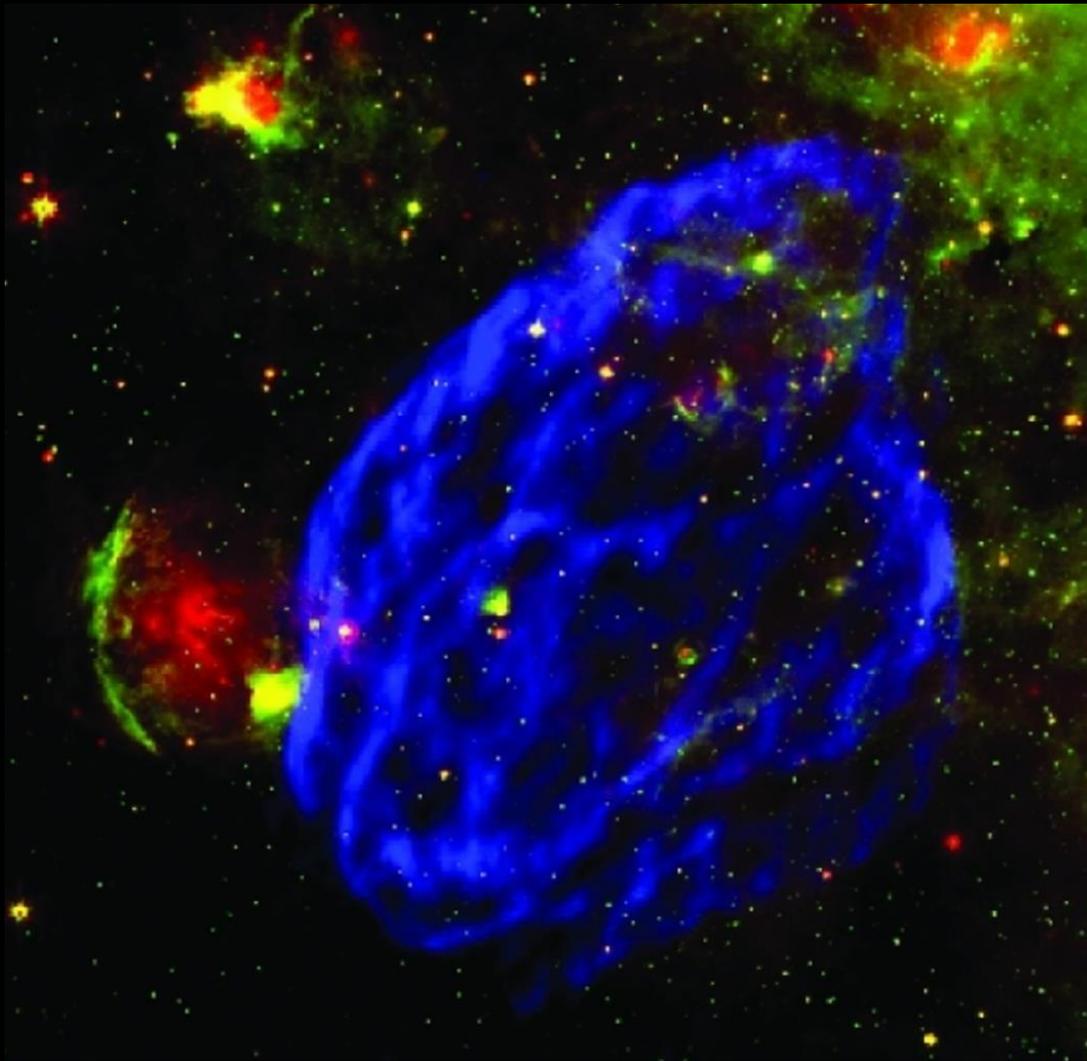
**NEBULOSAS  
DE VIENTO  
DE PULSAR**

**REMANENTES  
DE  
SUPERNOVA**

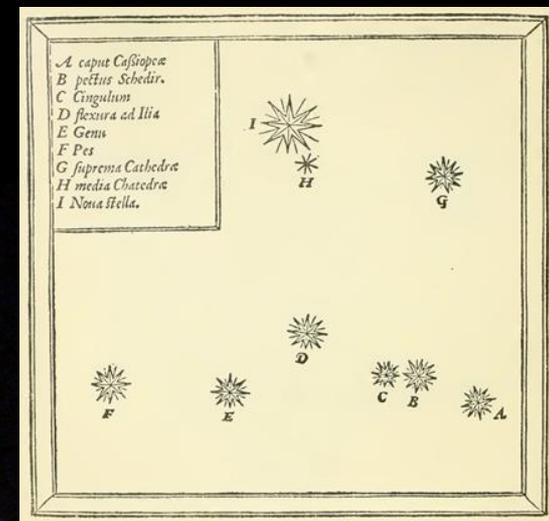
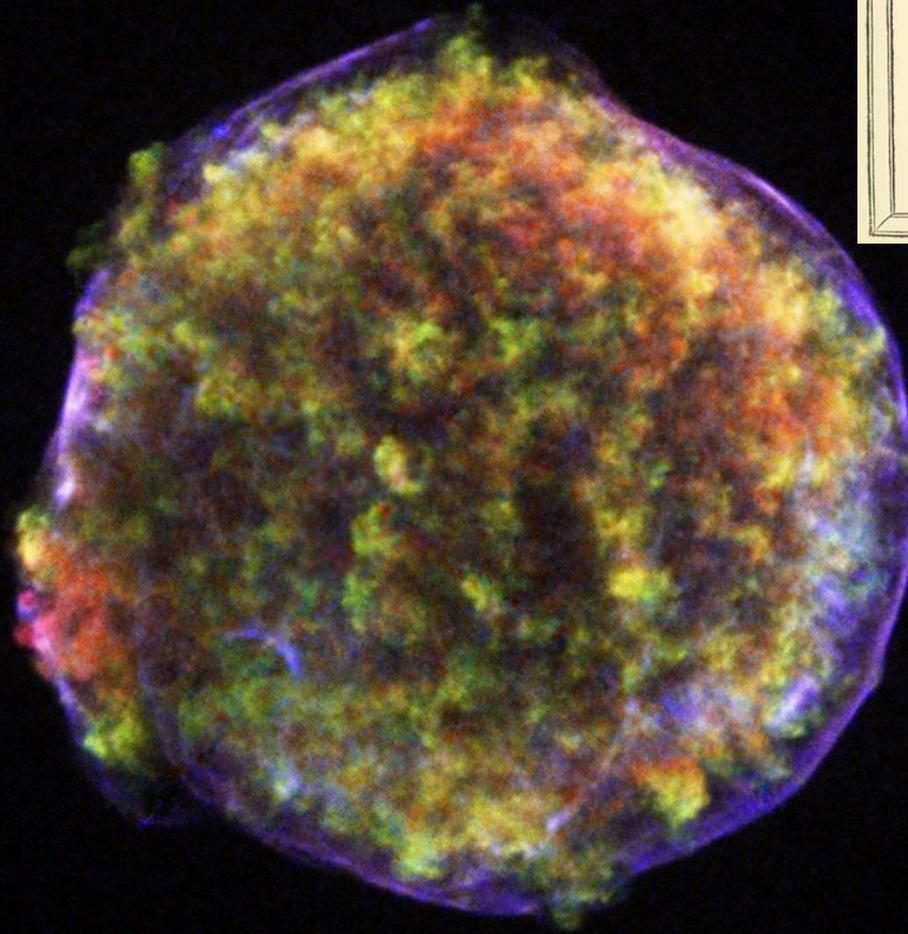


# Puppis A





# Tycho





- En una galaxia como la Vía Láctea explotan unas  $\sim 2 - 3$  por siglo
- En el Universo visible explotan unas 8 supernovas por segundo.
- En 1 hora aparecen casi 30.000 supernovas nuevas en el Universo.

# Cuál sería el impacto si explota una SN cerca?



El flujo de rayos  $\gamma$  que se produce al momento de la explosión puede inducir reacciones químicas en la alta atmósfera convirtiendo Nitrógeno molecular en óxidos de Nitrógeno.

Una SN Tipo II, Ib y Ic tiene que estar más cerca que **26 años luz** para afectar

Una SN Ia a **3000 años luz** de la Tierra ya sería suficiente para destruirla

Se encontraron niveles elevados de iones de nitrato en el hielo antártico que coincidirían con SN 1006 (SNIa a 7200 ly) y del Cangrejo (SNII a 6300 años luz)

# Estudio de Restos de Supernovas

Confluencia  
multidisciplinaria

Astronomía  
multiespectral

Astrofísica

Física de partículas

Física del plasma

Física de altas  
energías

Cosmología

Astrobiología

Arqueoastronomía

Cuatro Premios Nobel en Física  
por investigaciones relacionadas  
con explosiones de Supernovas  
y/o sus efectos  
(1974, 1993, 2011, 2017)

# Grupo de RSN y Medio Interestelar en IAFE

JVLA, US



GMRT,  
India



ASTE, Chile



ALMA,  
Chile



ATCA, Australia





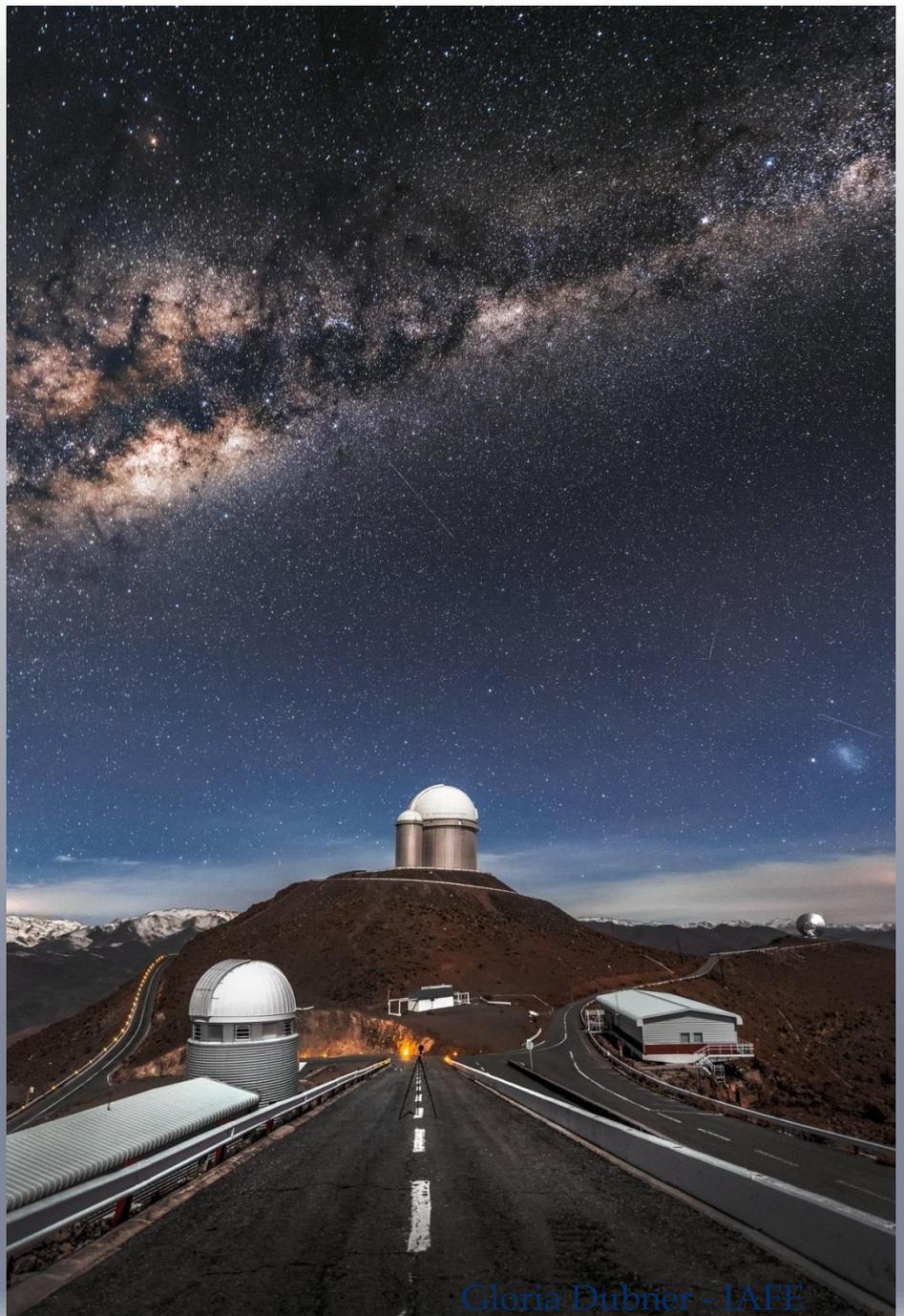
Chandra NASA



Hubble NASA



XMM-Newton ESA



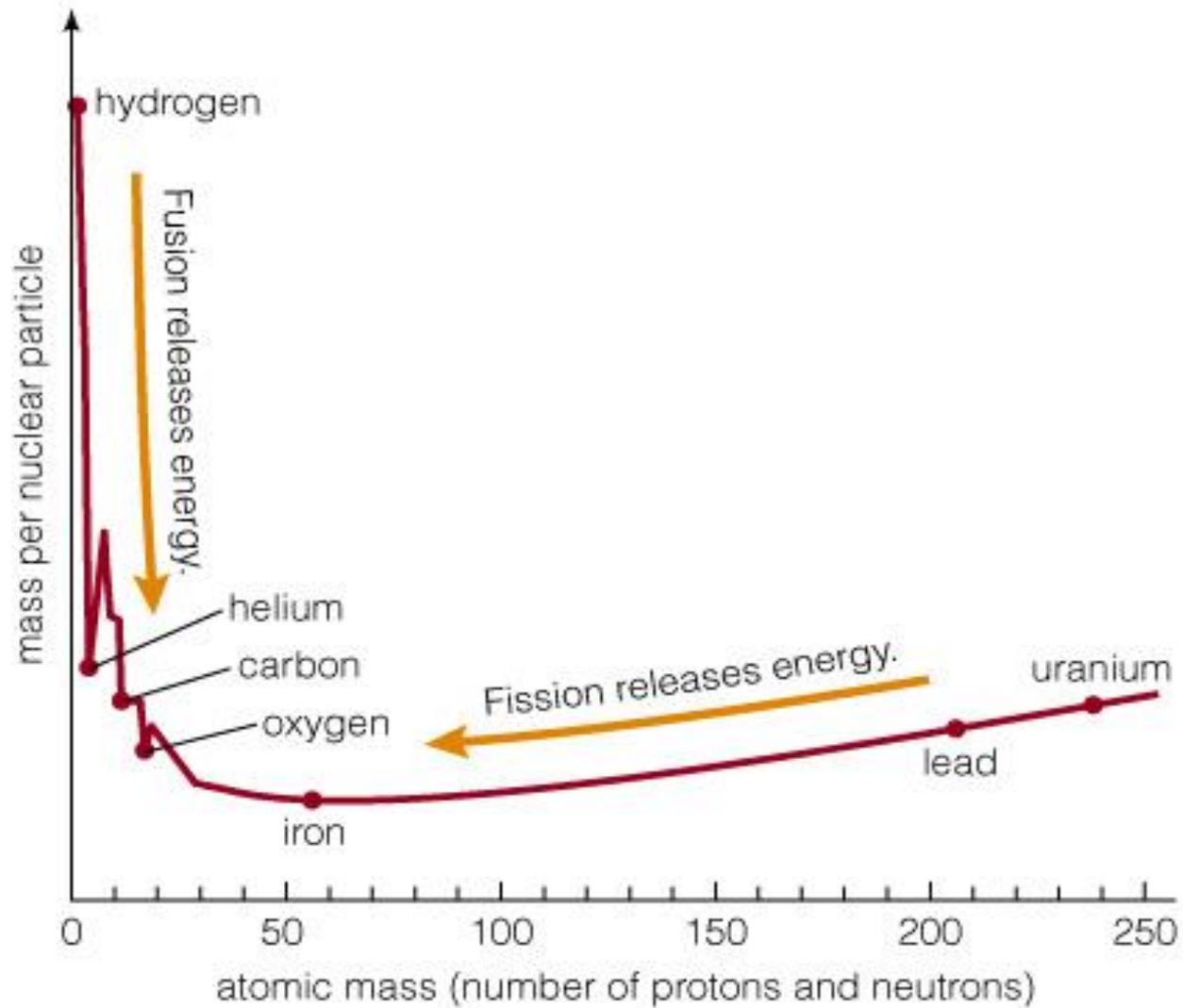
Gloria Dubner - IAFE

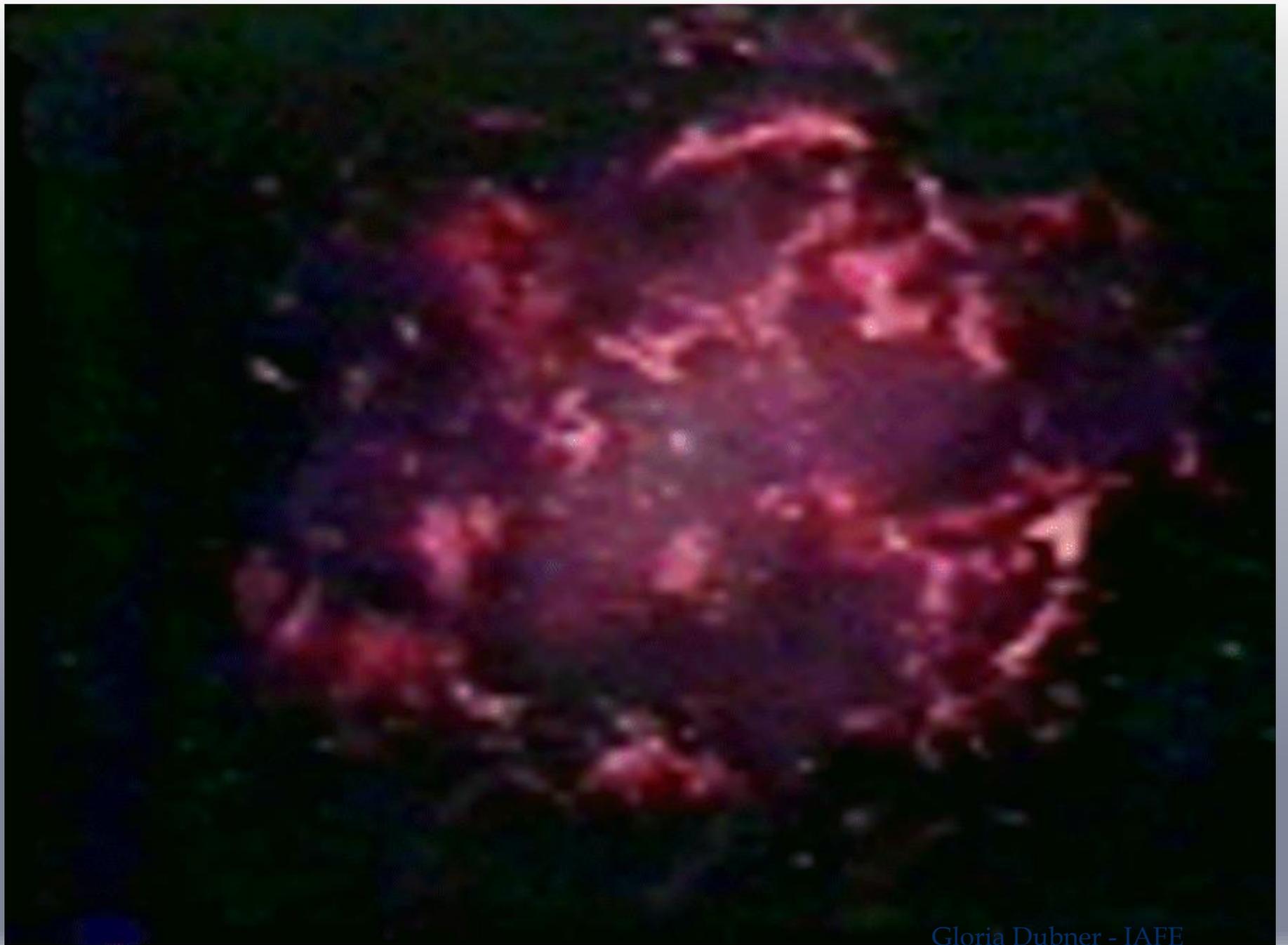


Gracias !!!

# Evolución aproximada de una estrella de 25 Mo

Proceso	Duración	Temperatura
Fusión de H a He	~10 millones de años	4 millones de grados
De He a C	~ un par de millones de años	100 millones de grados
De C a O, Ne, Mg	1000 años	600 millones de grados
De Ne a O, Mg	Pocos años	1000 millones de grados
De O a Si, S	1 años	2000 millones de grados
De Si a Fe	Días	3000 millones de grados
De Fe a neutrones	Menos de 1 segundo	Miles de millones de grados







## Supernova Explosion

Inert iron core stops producing energy, but continues to produce neutrinos which release energy from core

Densities climb, protons and electrons combine to produce neutrons and more neutrinos

Sudden loss of energy causes core to collapse from lack of pressure support

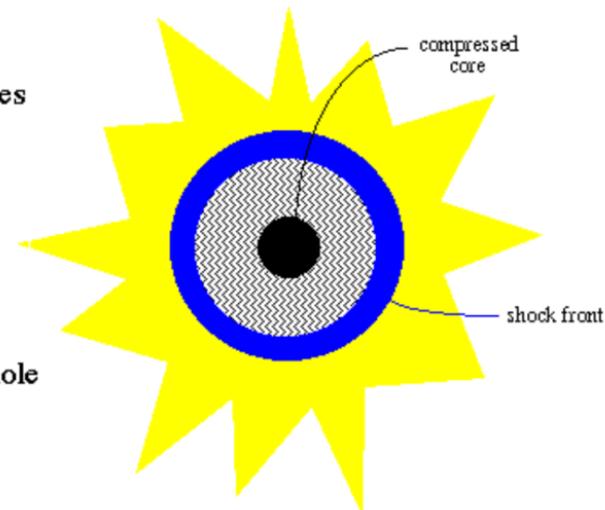
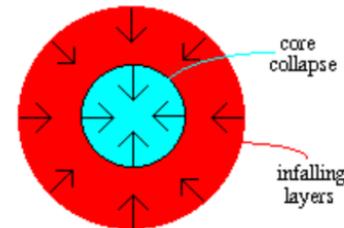
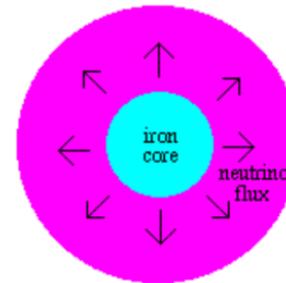
Regions around core are unsupported and plunge onto core at speeds up to 15% the speed of light

Neutron densities are so high in core that it is incompressible and rigid. Infalling layers strike core and rebound.

In a fraction of a second, a wave of matter forms a shock front and moves outward towards stellar surface.

Shock wave hits surface of star and explodes

Inward shock compresses remaining stellar core into neutron star or black hole



Se crean "fuentes galácticas" empujadas por RSN.

- Son la principal fuente de calentamiento del gas difuso y principal fuente de transferencia de energía entre estrellas y medio gaseoso
- En las galaxias forman túneles, chimeneas y plumas sobresaliendo del disco

