

Del 05 de marzo
al 30 de abril

20
26

CURSO DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

Del Planetario al Cosmos

Sala de Proyecciones
Planetario de Madrid



PLANETARIO
DE MADRID

madrid.es

planetmad.es

Síguenos en...



@PlanetarioMad



Planetario de Madrid



Planetario de Madrid oficial

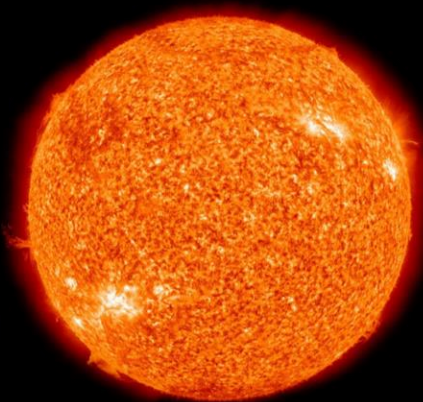


planetariomadrid



Planetario de Madrid

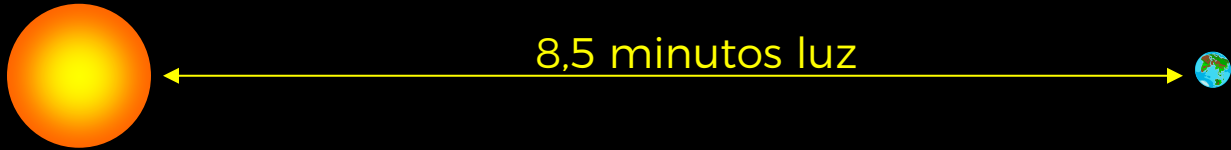
VIDA Y MUERTE DE LAS ESTRELLAS



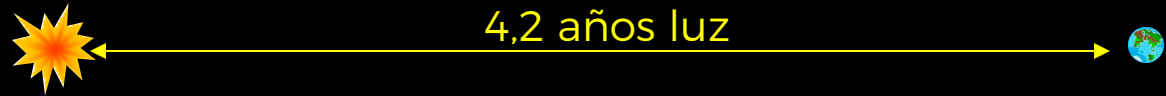
Planetario de Madrid
MUSEOS MUNICIPALES

La vara de medir astronómica

Año-luz: distancia que recorre la luz en un año. Su valor se puede hallar multiplicando 300.000 km/s (velocidad de la luz) por 365 días (duración de un año) y por 86.400 (segundos que tiene un día). El resultado es casi 9 billones y medio de kilómetros).

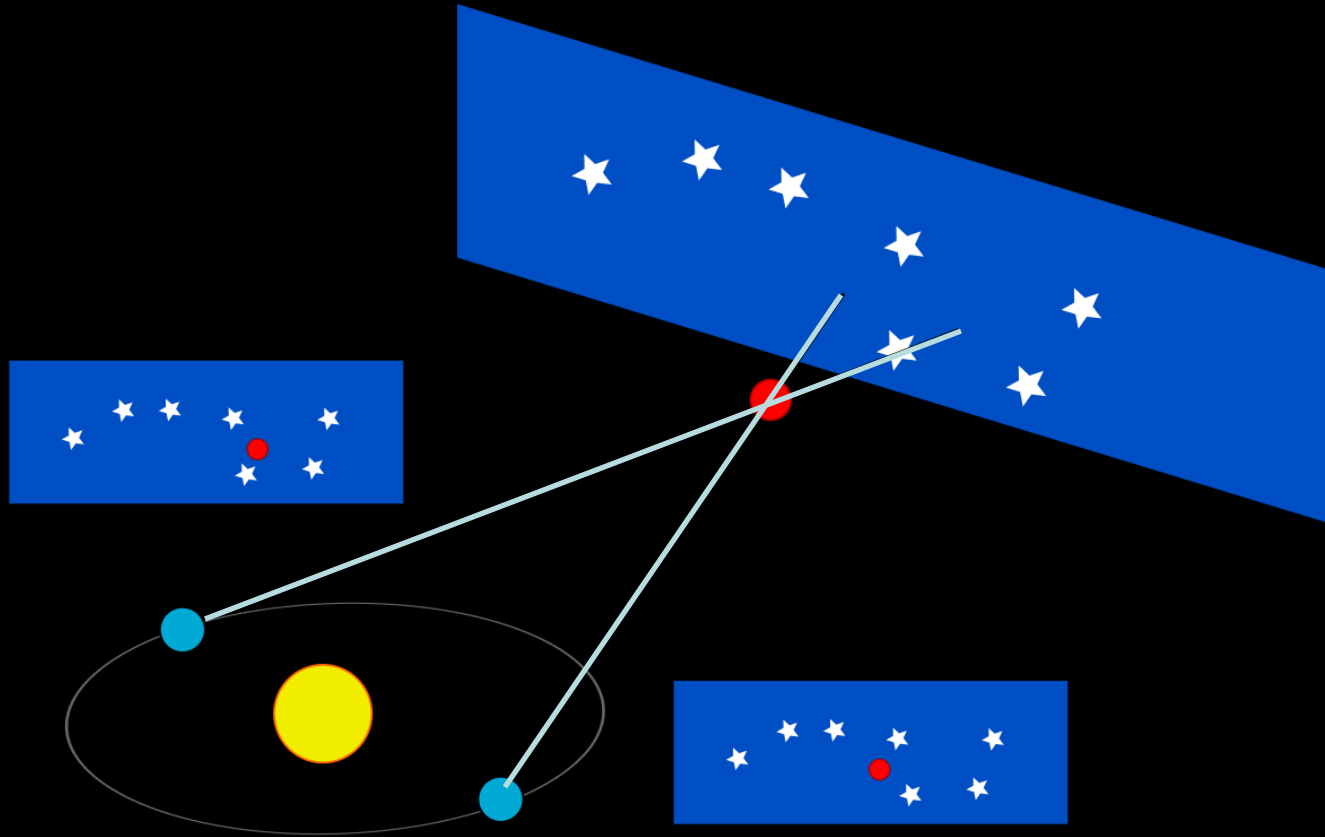


La distancia del Sol a la Tierra es de 150 millones de km, que equivale a 8 minutos-luz y medio. La luz que recibimos del Sol en este instante salió de él hace 8 minutos y medio.



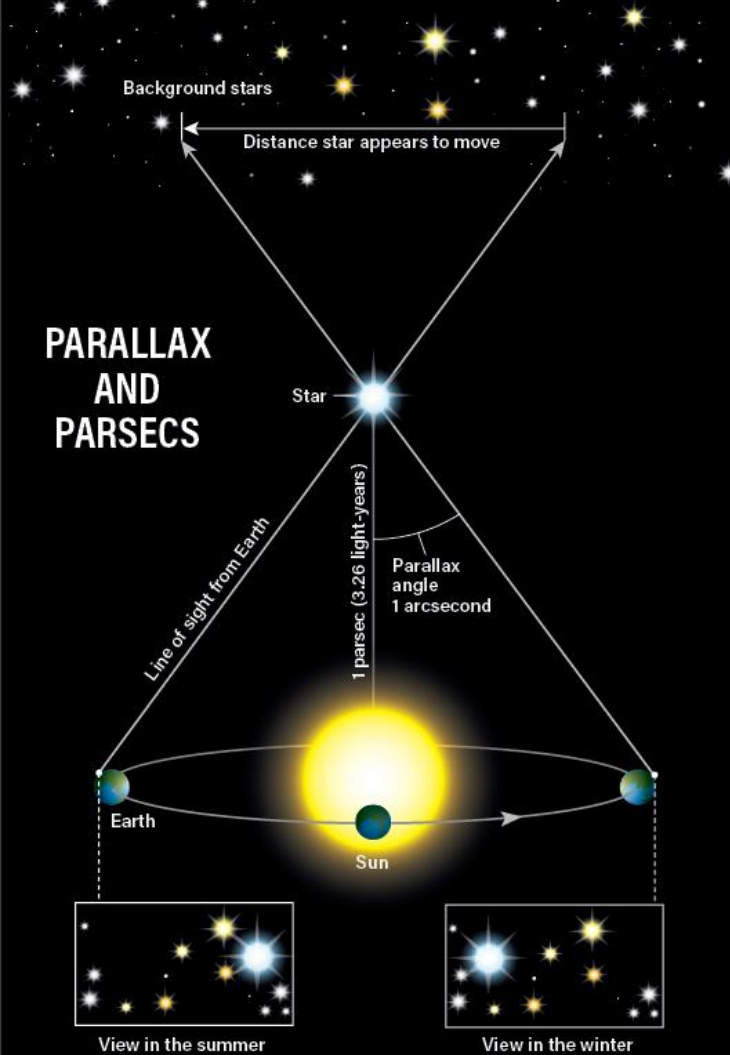
La estrella más cercana al Sistema Solar, Próxima Centauri, se encuentra a 4,2 años-luz. Un avión comercial, a unos 900 km/h, tardaría más de 5 millones de años en llegar a esa estrella.

Midiendo distancias a estrellas: la paralaje



Definición de parsec (pc)

PARALLAX AND PARSECS



Brillo aparente de las estrellas

Magnitud aparente (m): comparando con una estándar (Vega), a la que se asigna magnitud aparente 0.0, la magnitud aparente de una estrella es:

$$m - 0.0 = -2.5 \log [F(\text{estrella})/F(\text{Vega})]$$

Estrella	Magnitud aparente	Magnitud absoluta
Sol	-26,72	+4,72
Sirio	-1,46	+1,42
Canopus	-0,72	-3,10
Vega	+0,04	+0,50
Rigel	+0,14	-7,1

$\Delta m = 5$ implica un cociente de brillos de 100

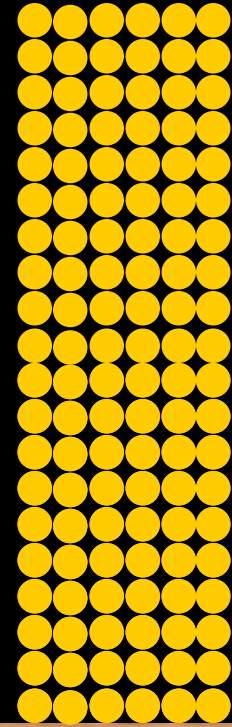
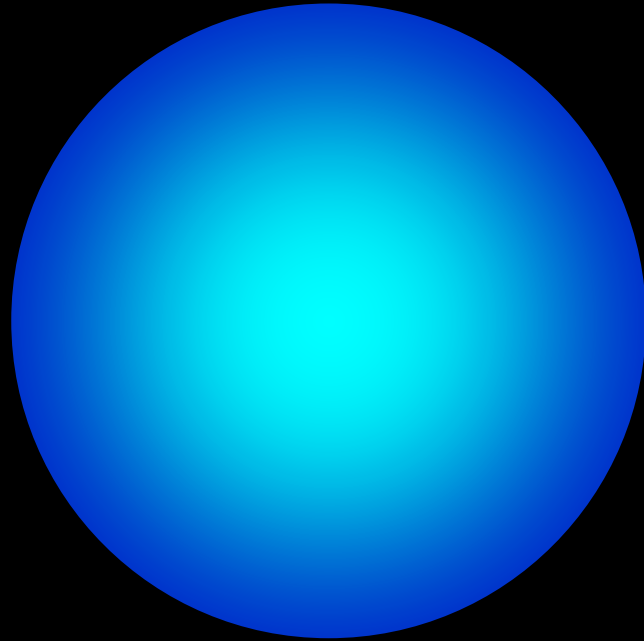
Brillo absoluto de las estrellas

Magnitud absoluta (M): magnitud aparente de una estrella si estuviera situada a una distancia de 10 pc

$$M = m + 5 - 5 \log [d(\text{parsecs})]$$

Estrella	Magnitud aparente	Magnitud absoluta
Sol	-26,72	+4,72
Sirio	-1,46	+1,42
Canopus	-0,72	-3,10
Vega	+0,04	+0,50
Rigel	+0,14	-7,1

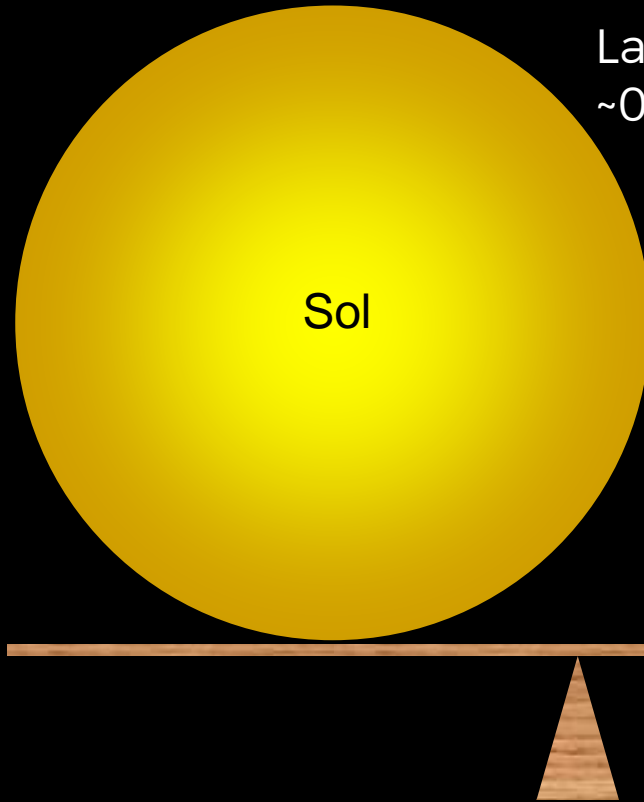
Masa de las estrellas



Las estrellas más masivas tienen
~120 veces la masa del Sol



Masa de las estrellas



Las estrellas menos masivas tienen
~0.08 veces la masa del Sol



La composición de las estrellas

La composición química de la mayoría de las estrellas es muy similar a la del Sol. Las abundancias de los elementos más significativos son:

	Masa (%)	Átomos (%)
Hidrógeno (H)	73.9	92.0
Helio (He)	24.5	7.8
Carbono (C)	0.24	0.027
Nitrógeno (N)	0.07	0.0068
Oxígeno (O)	0.57	0.049
Neon (Ne)	0.13	0.0085
Silicio (Si)	0.065	0.0032
Azufre (S)	0.040	0.0016
Hierro (Fe)	0.13	0.0032
Magnesio (Mg)	0.058	0.0039

Los elementos químicos que nos componen, y que componen todo lo que nos rodea, ya estaban aquí antes de que se formara el Sistema Solar

CALCIO



FÓSFORO



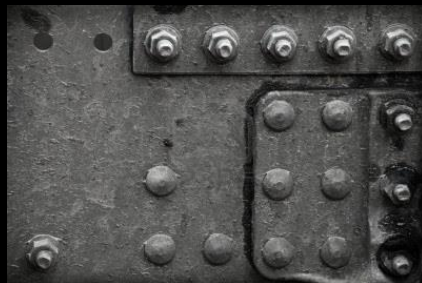
ORO



WOLFRAMIO



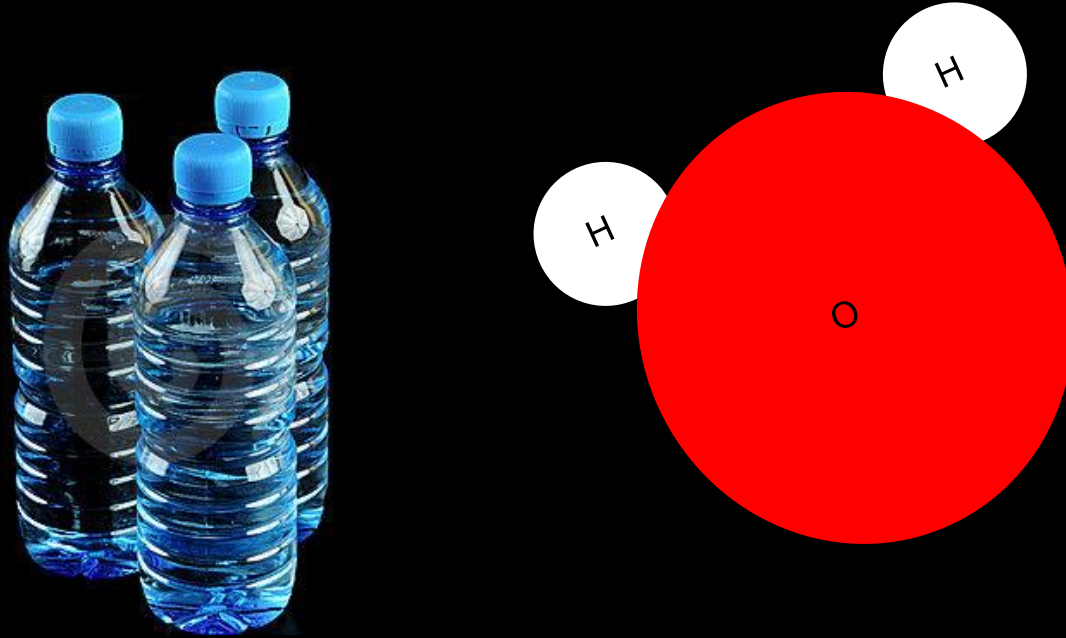
HIERRO



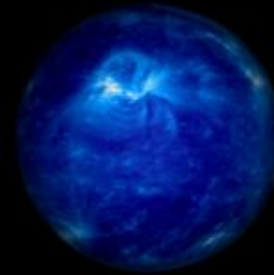
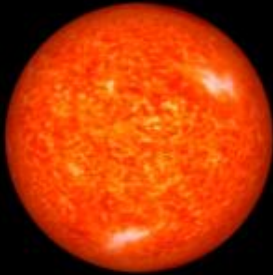
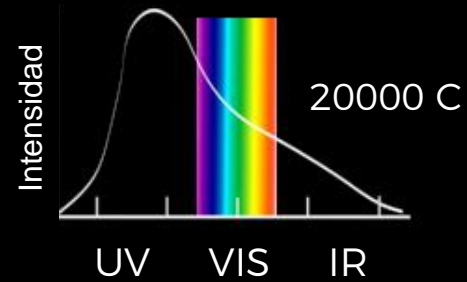
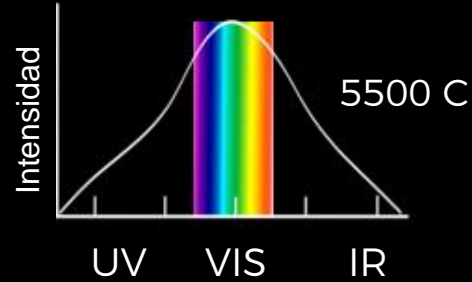
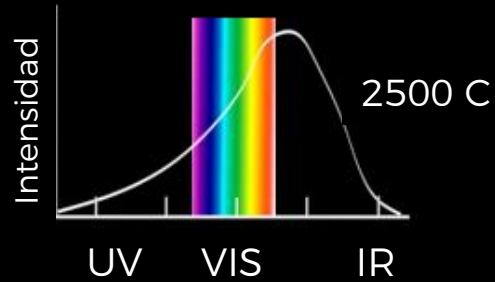
CARBONO, NITRÓGENO,
OXÍGENO, AZUFRE...



El hidrógeno (H), se creó mucho antes, hace 13.800 millones de años, en el *Big Bang*, la “Gran Explosión” que se cree dio origen al universo

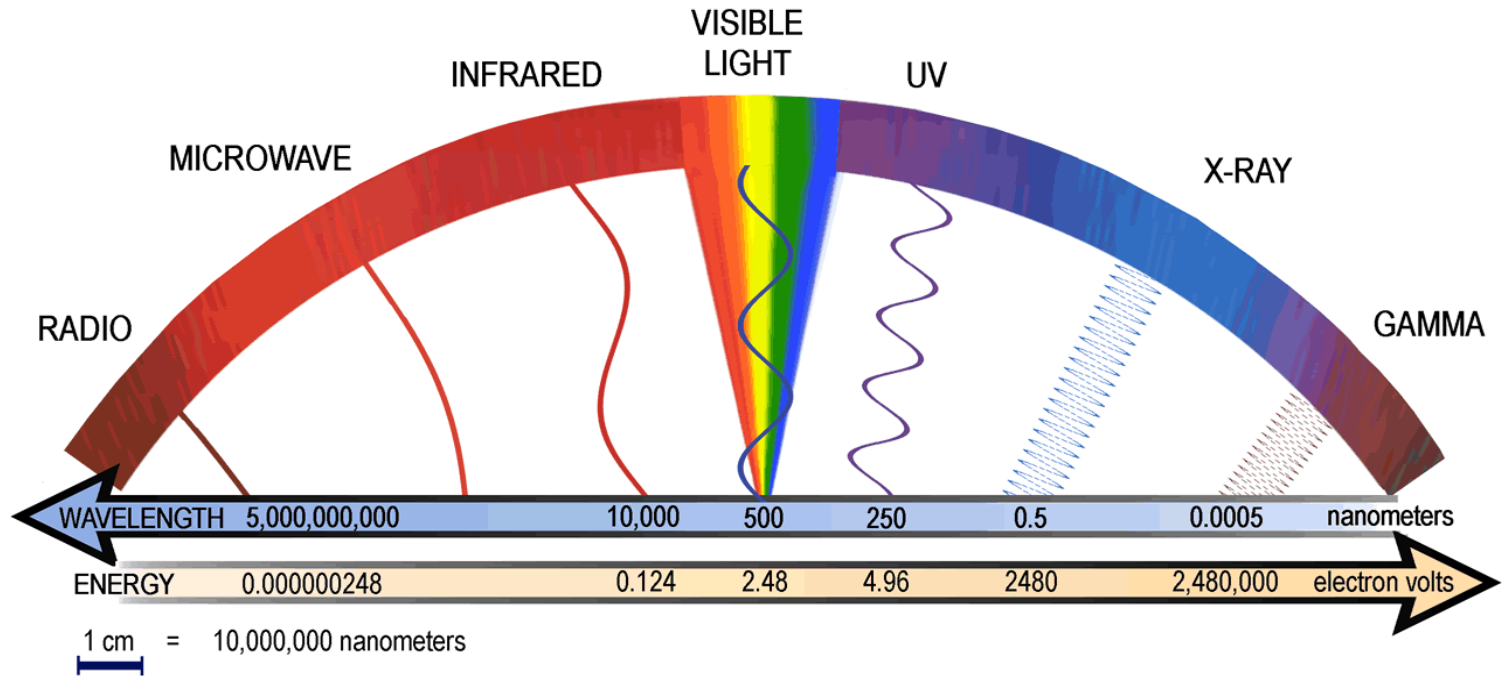


Temperaturas y colores





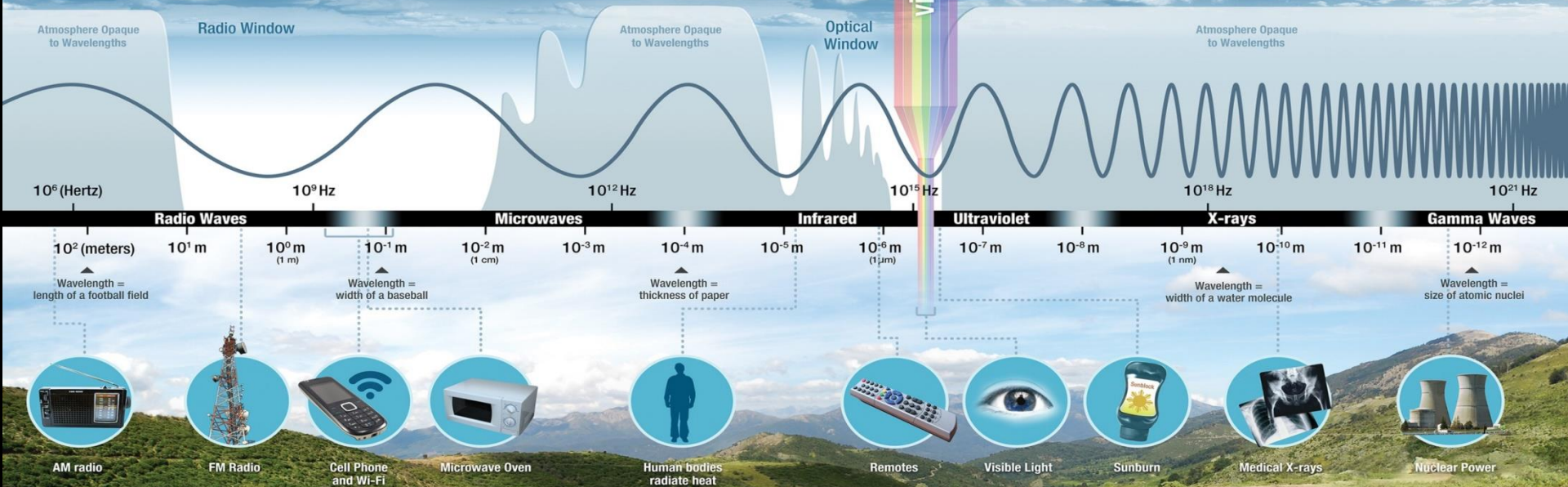
El espectro electromagnético

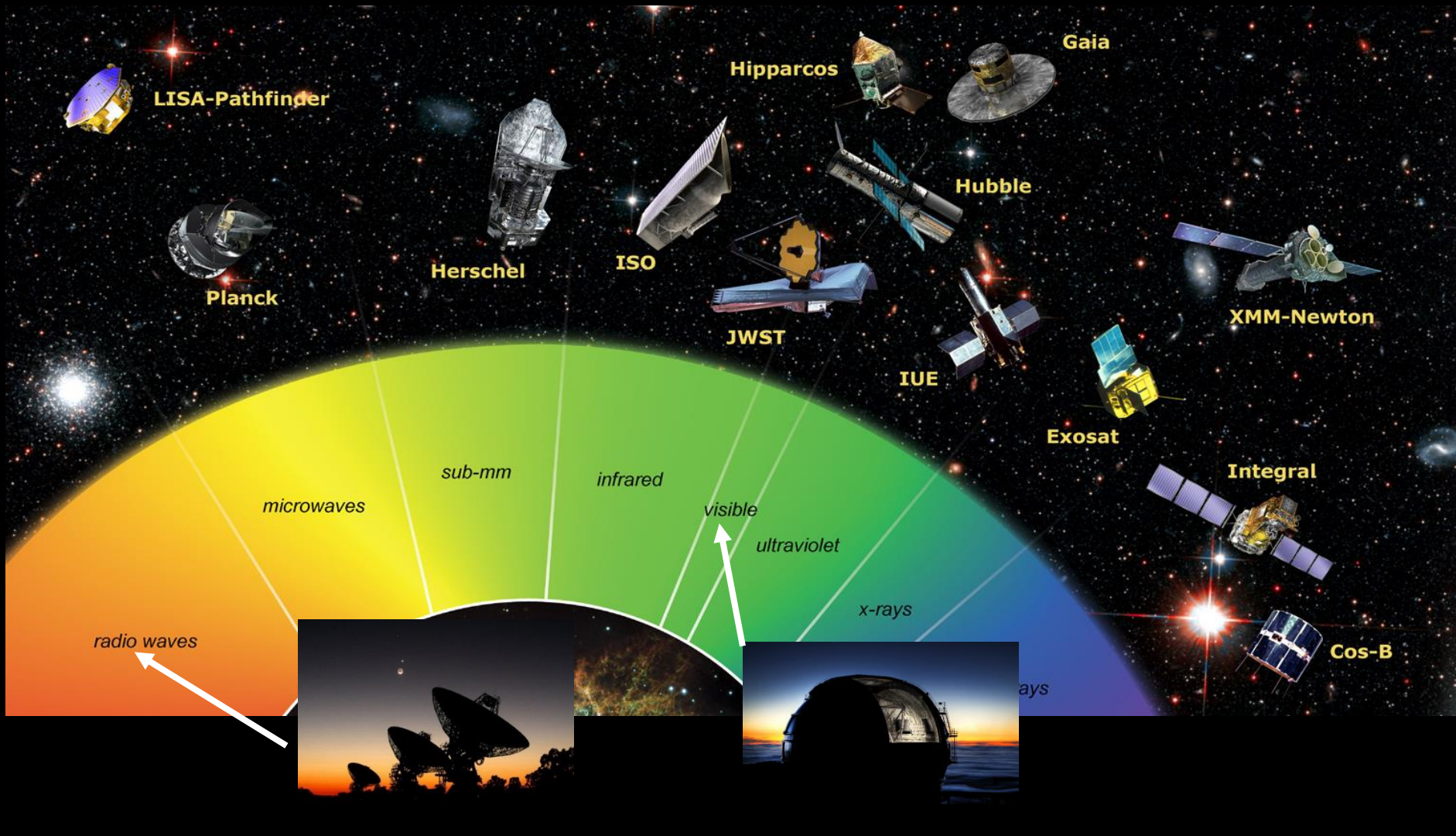


La atmósfera terrestre es opaca a la luz en el infrarrojo, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

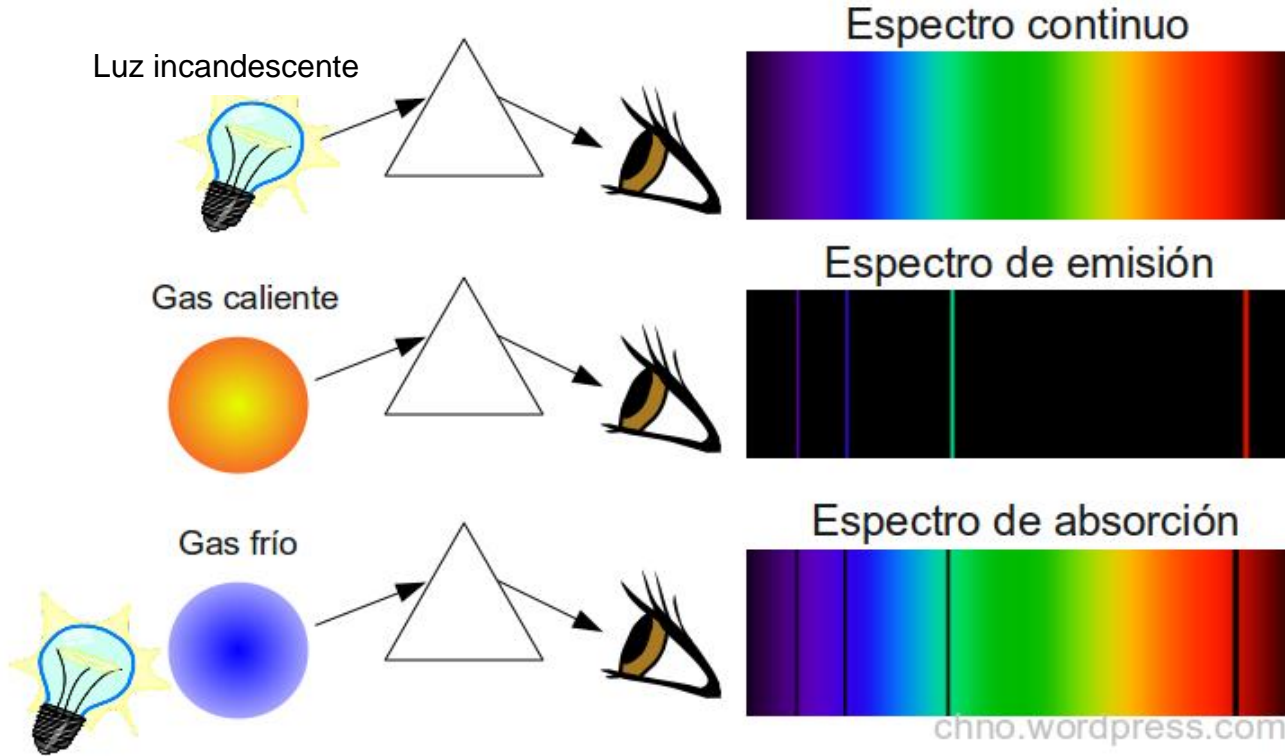


¡Observando solo la luz visible, la imagen del Universo sería INCOMPLETA!

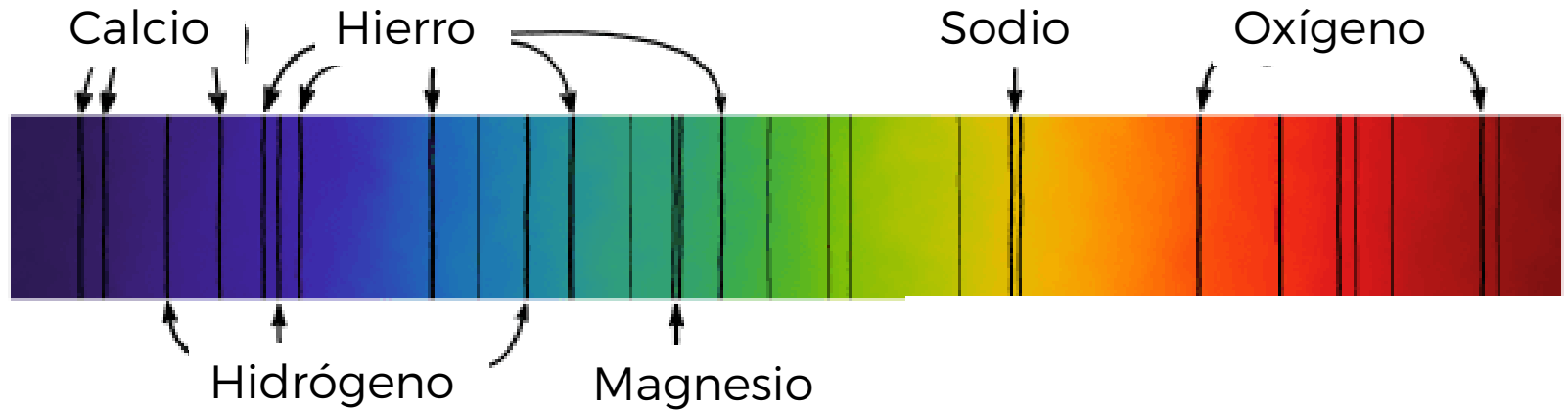




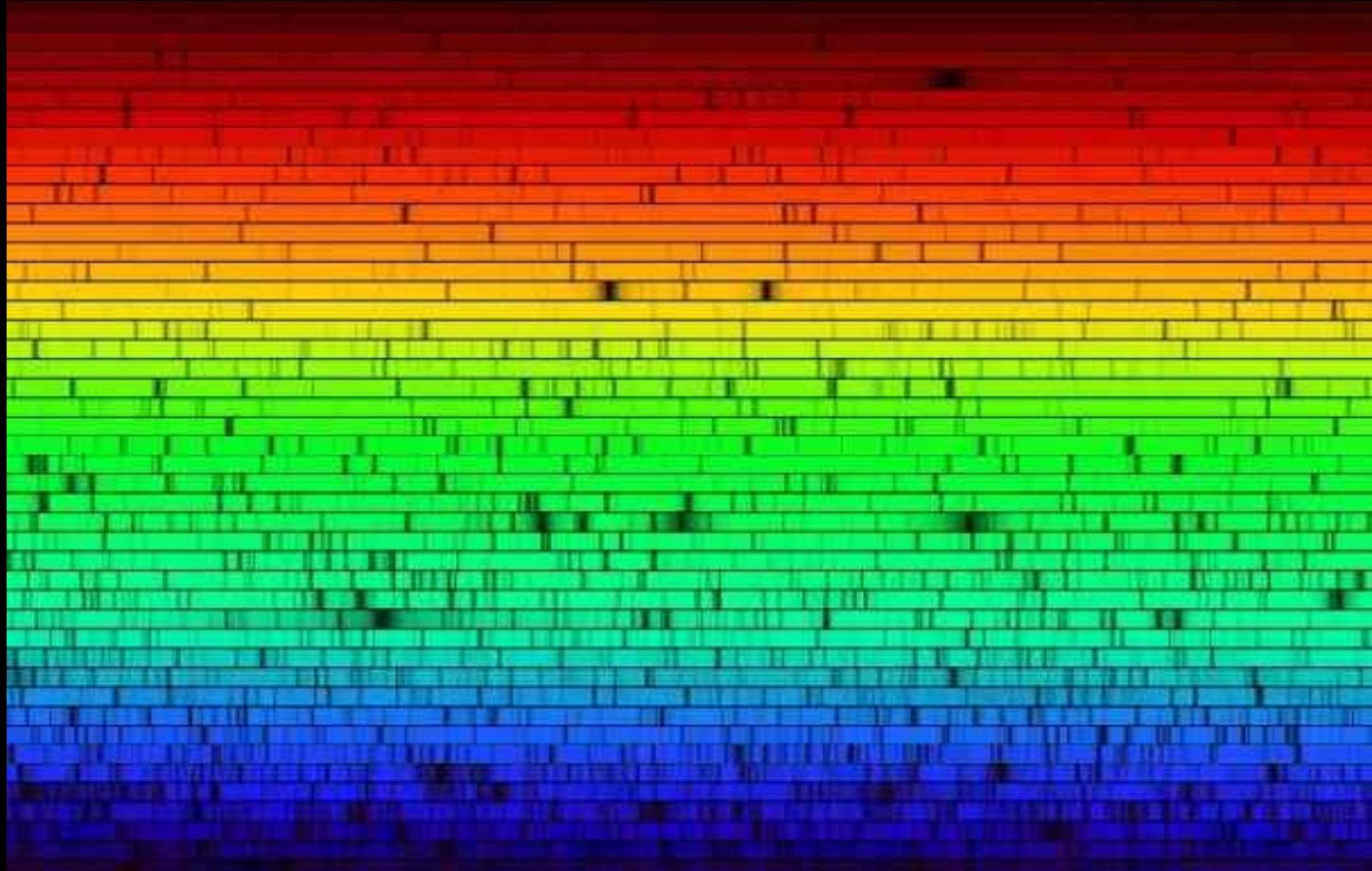
Una pequeña lección de espectroscopía



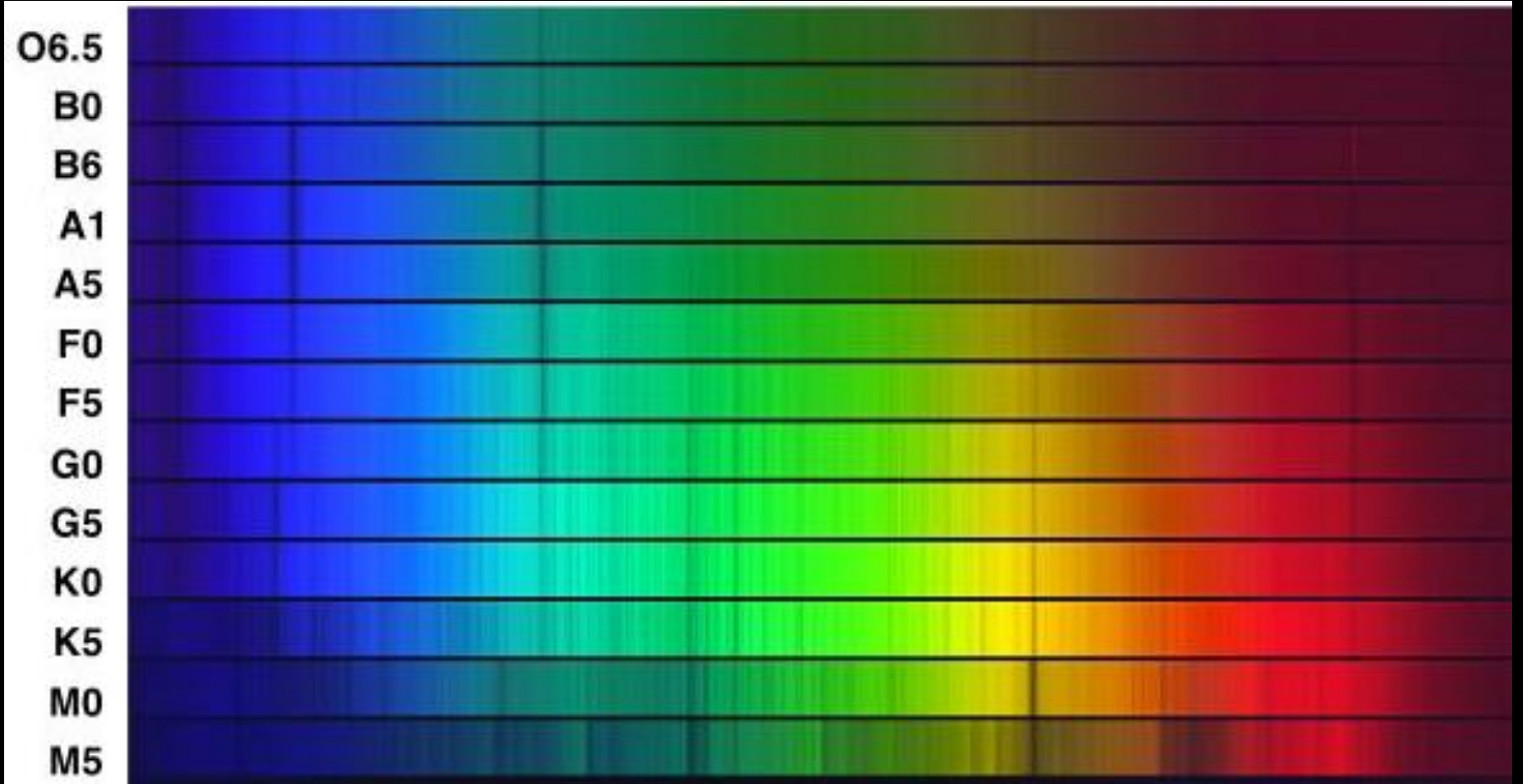
Algunas líneas espectrales del Sol



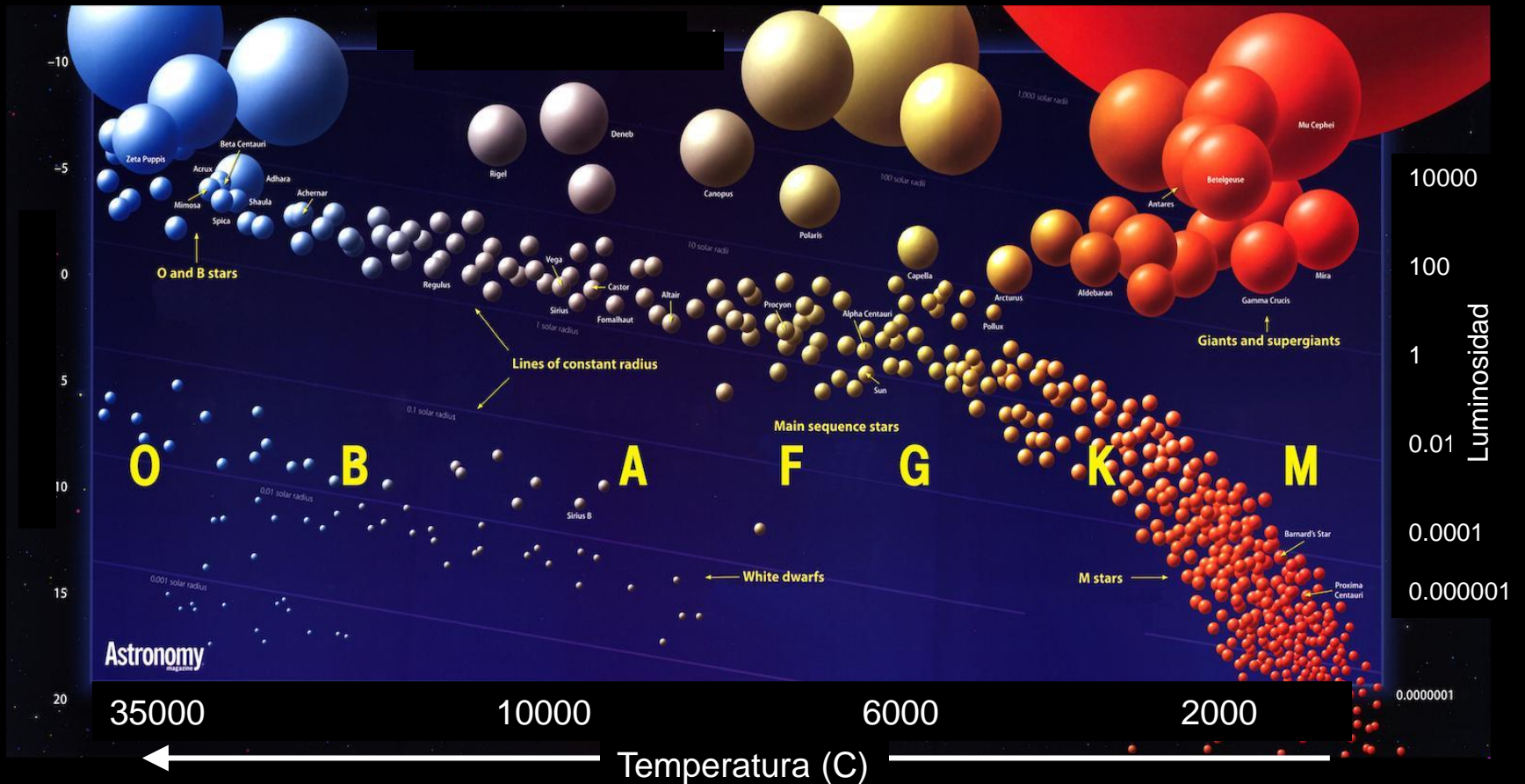
El espectro del Sol



Tipos espectrales (OBAFGKMLTY)



El diagrama HR (Hertzprung-Russell)





Las estrellas se forman a partir de nubes de gas llamadas nebulosas

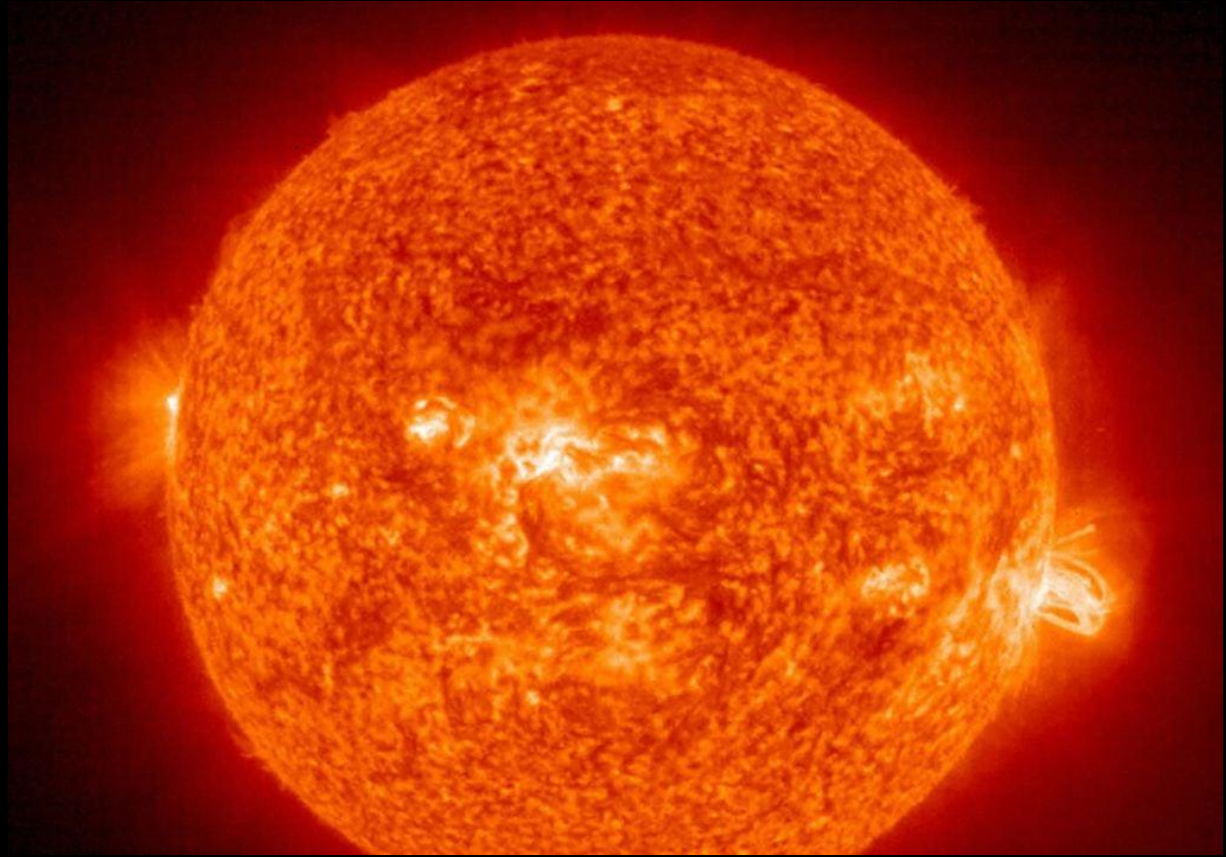
El Sol actual

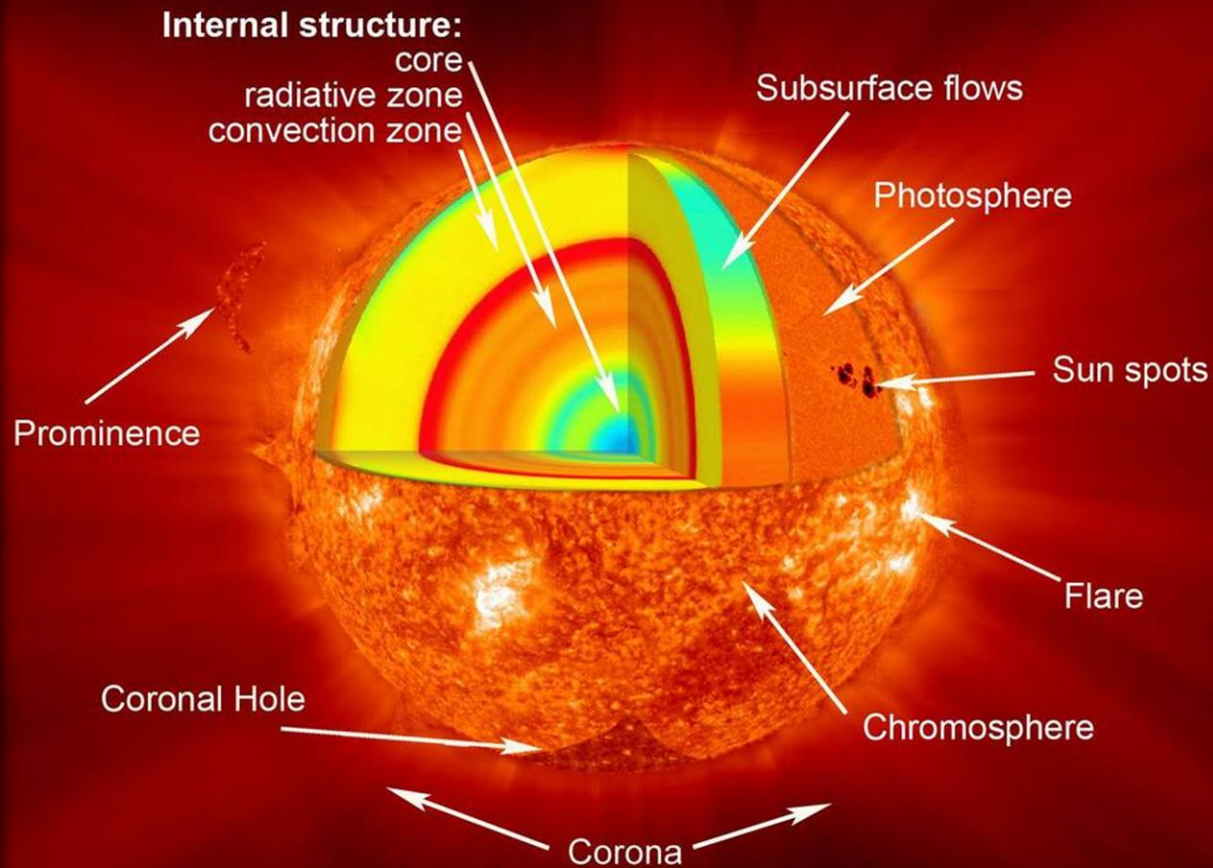
Hidrógeno: 73.9 %

Helio: 24.5 %

$4 \text{ H}^+ \rightarrow \text{He}^{++} + \text{energía}$

$$E = m c^2$$



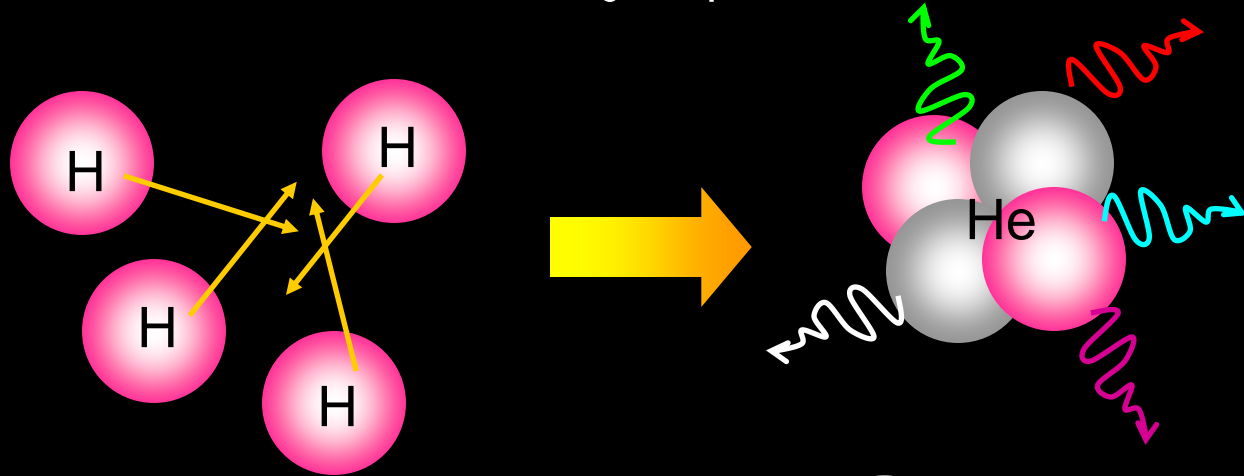


El Sol lleva en esta fase (SECUENCIA PRINCIPAL) unos 4500 millones de años y le queda otro tanto

Cada segundo quemamos unos 4 millones de toneladas de hidrógeno

A pesar de ello estando en la secuencia principal sólo perderá el 0.1% de toda su masa

¿Qué sucede en el interior del Sol y de las estrellas durante la mayor parte de su vida?

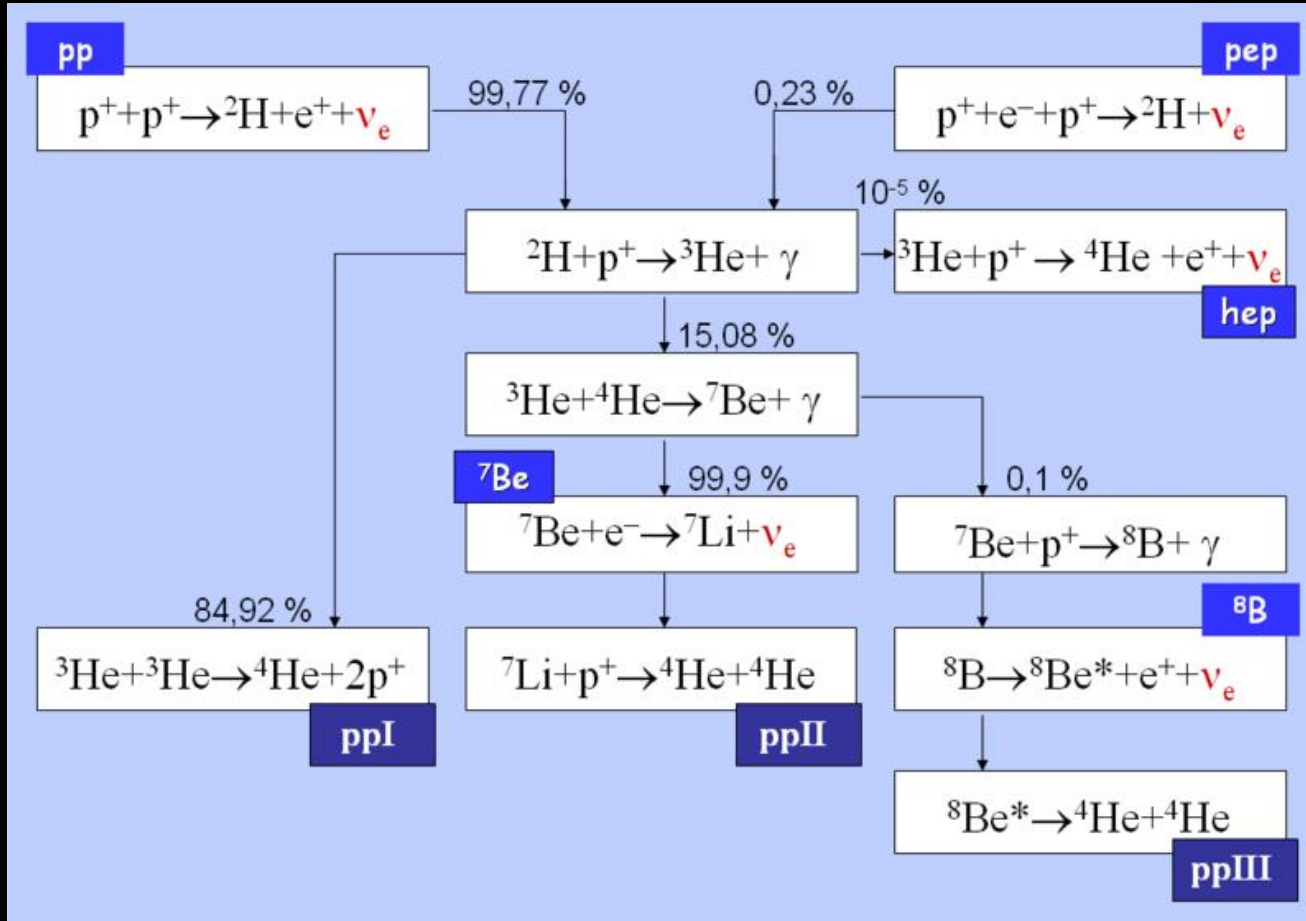


Secuencia principal

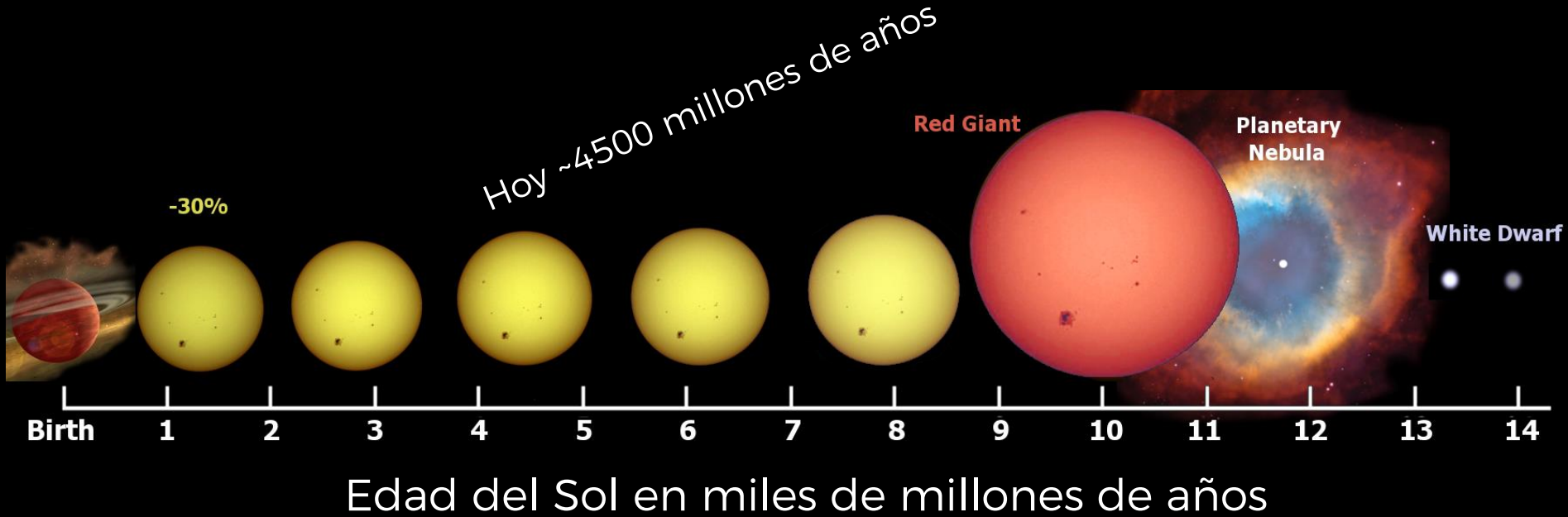


$$E = mc^2$$

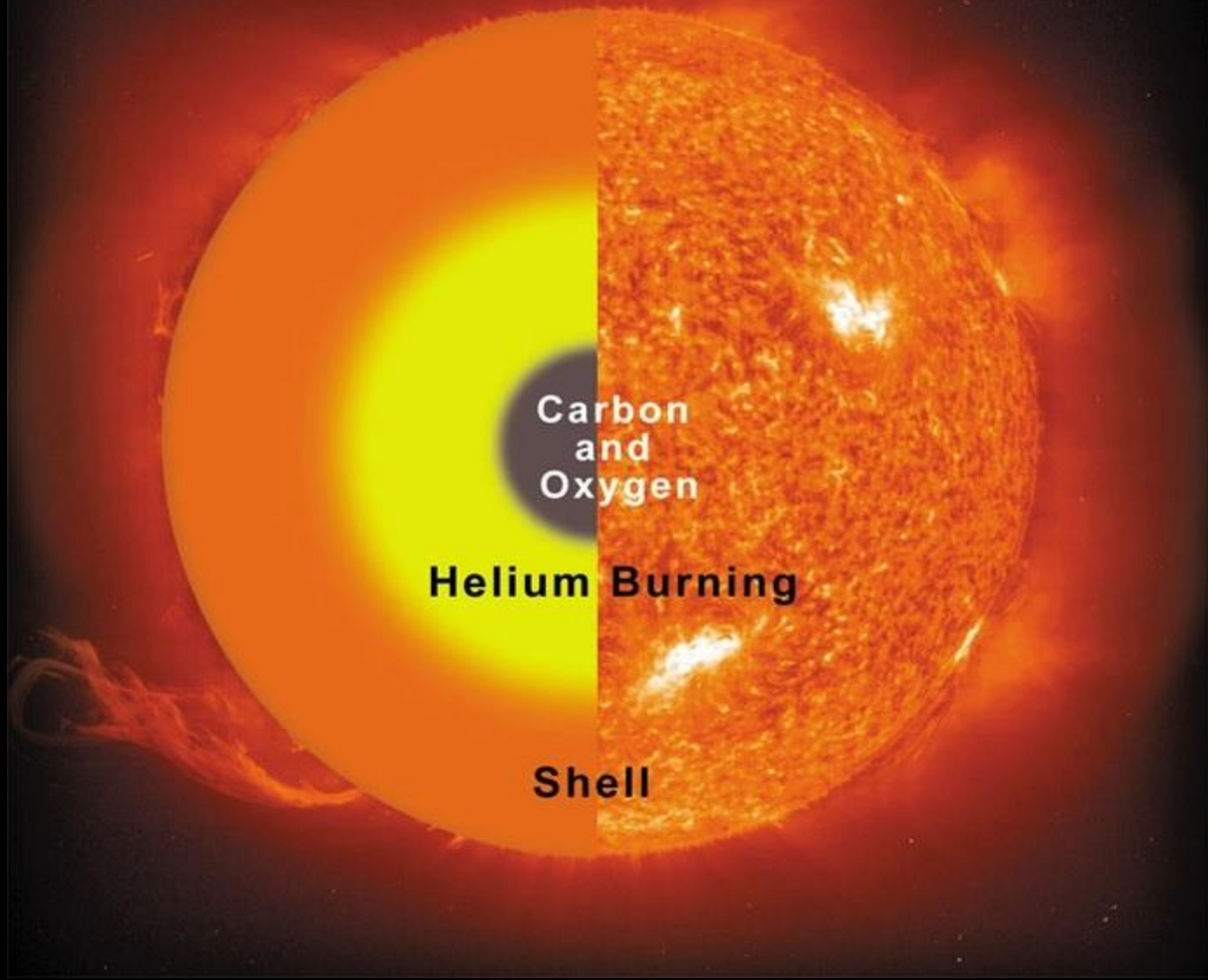
La realidad es algo más complicada...



Un vistazo a la evolución del Sol



Gigante roja



Nebulosas planetarias



Enanas blancas



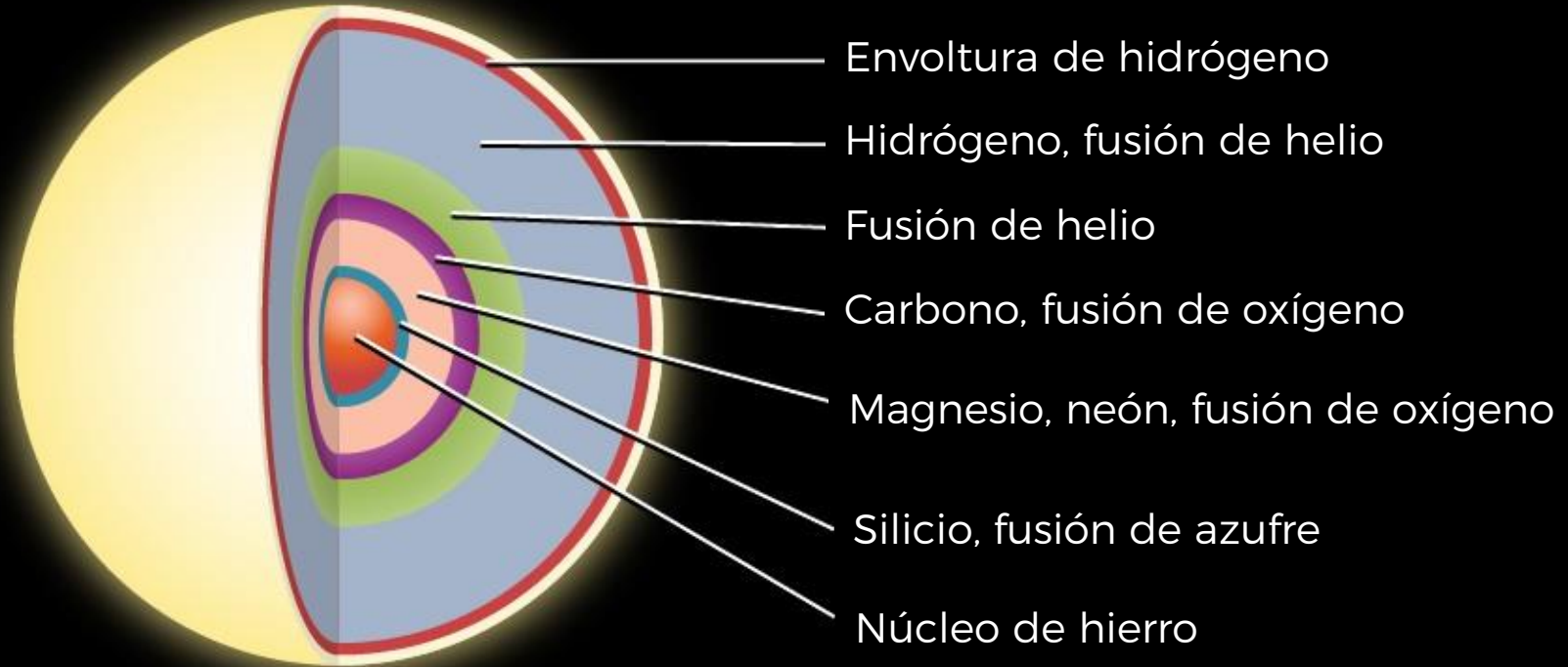
¡1 cucharada pesa
1 tonelada!

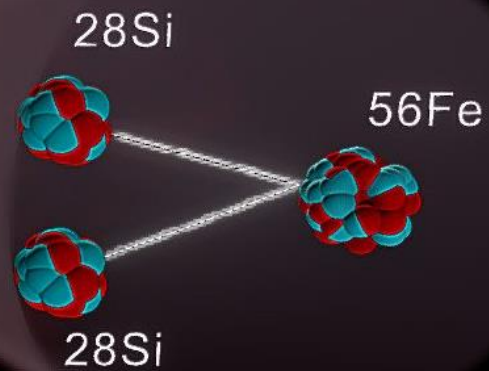
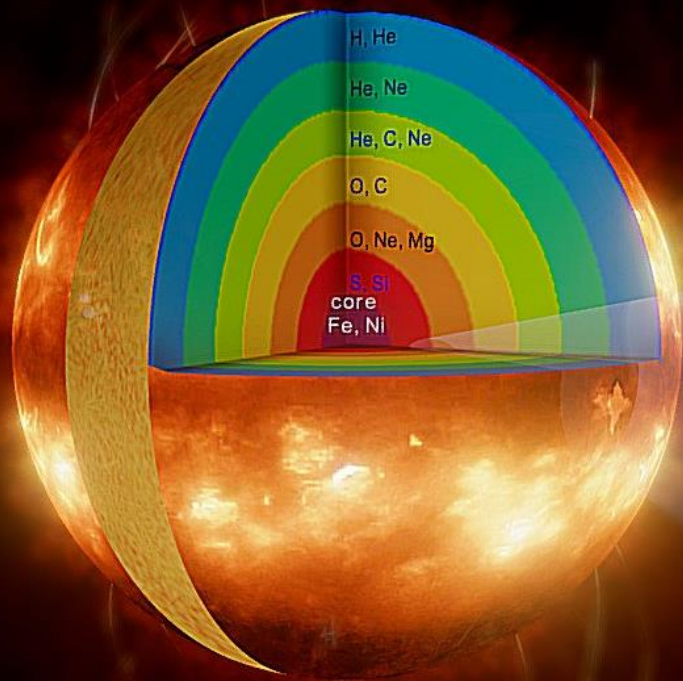
$$M \approx 1.0 M_{\text{sun}}$$

$$R \approx 5800 \text{ km}$$

$$V_{\text{esc}} \approx 0.02c$$

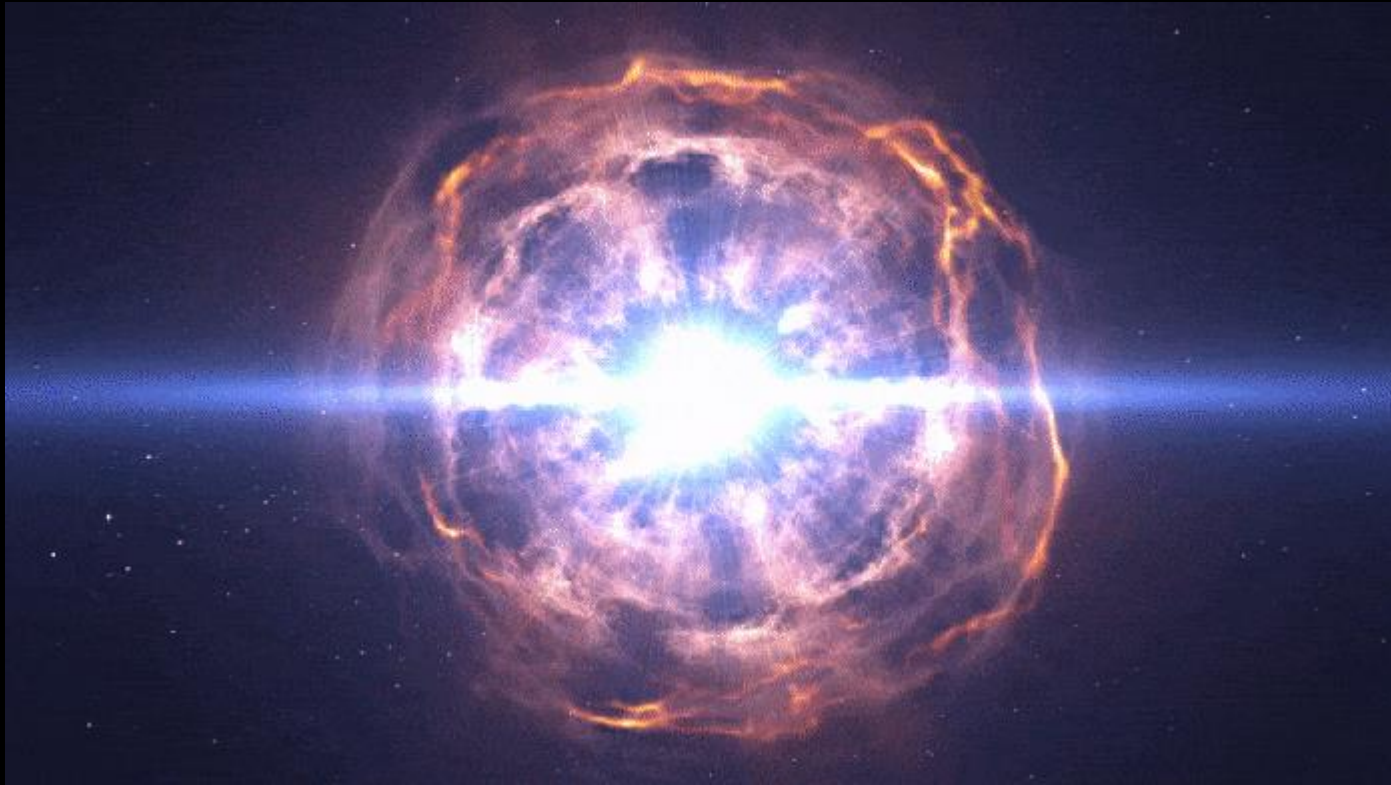
Estrellas masivas ($M > 8 M_{\text{Sol}}$)





nuclear fusion

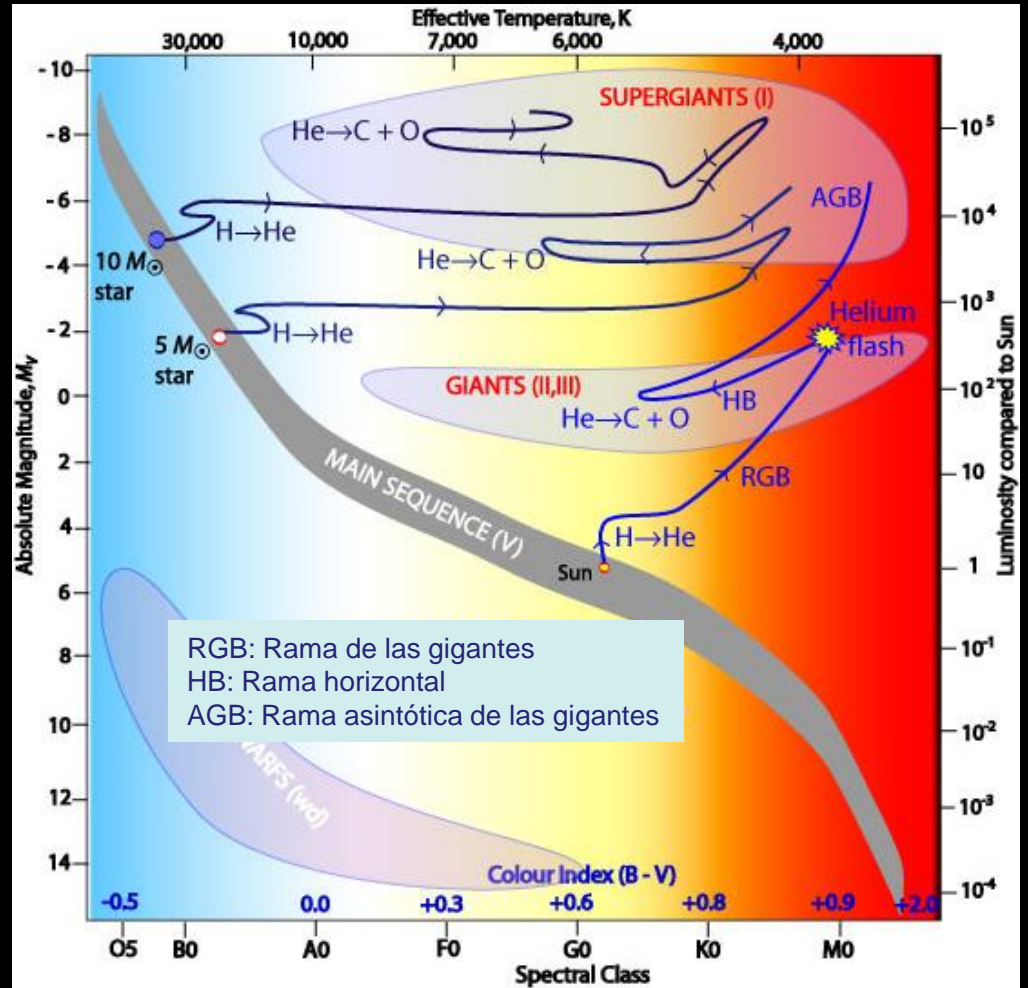
Supergigantes hacia supernovas





Restos de
supernovas

Evolución post-secuencia principal

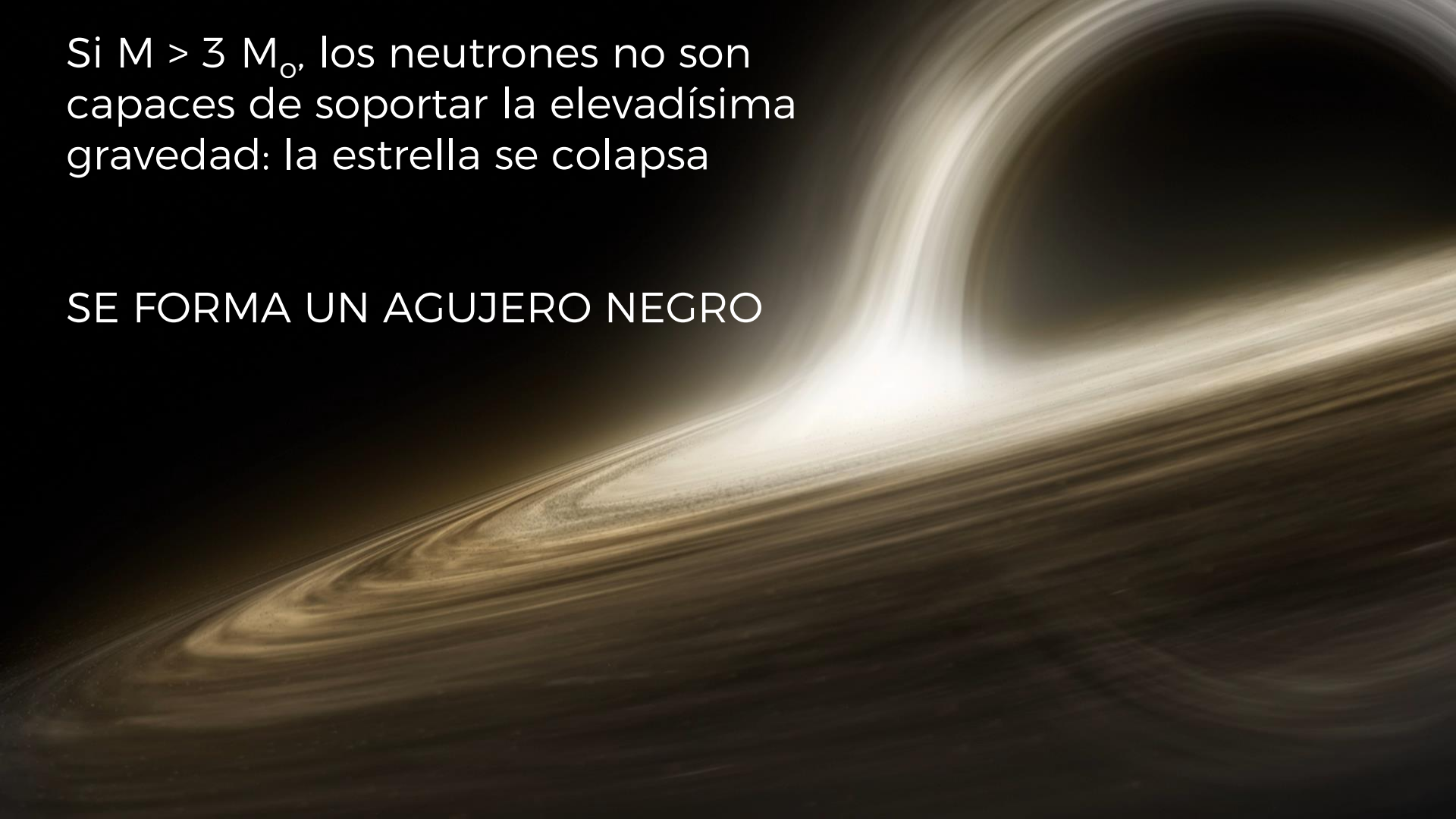


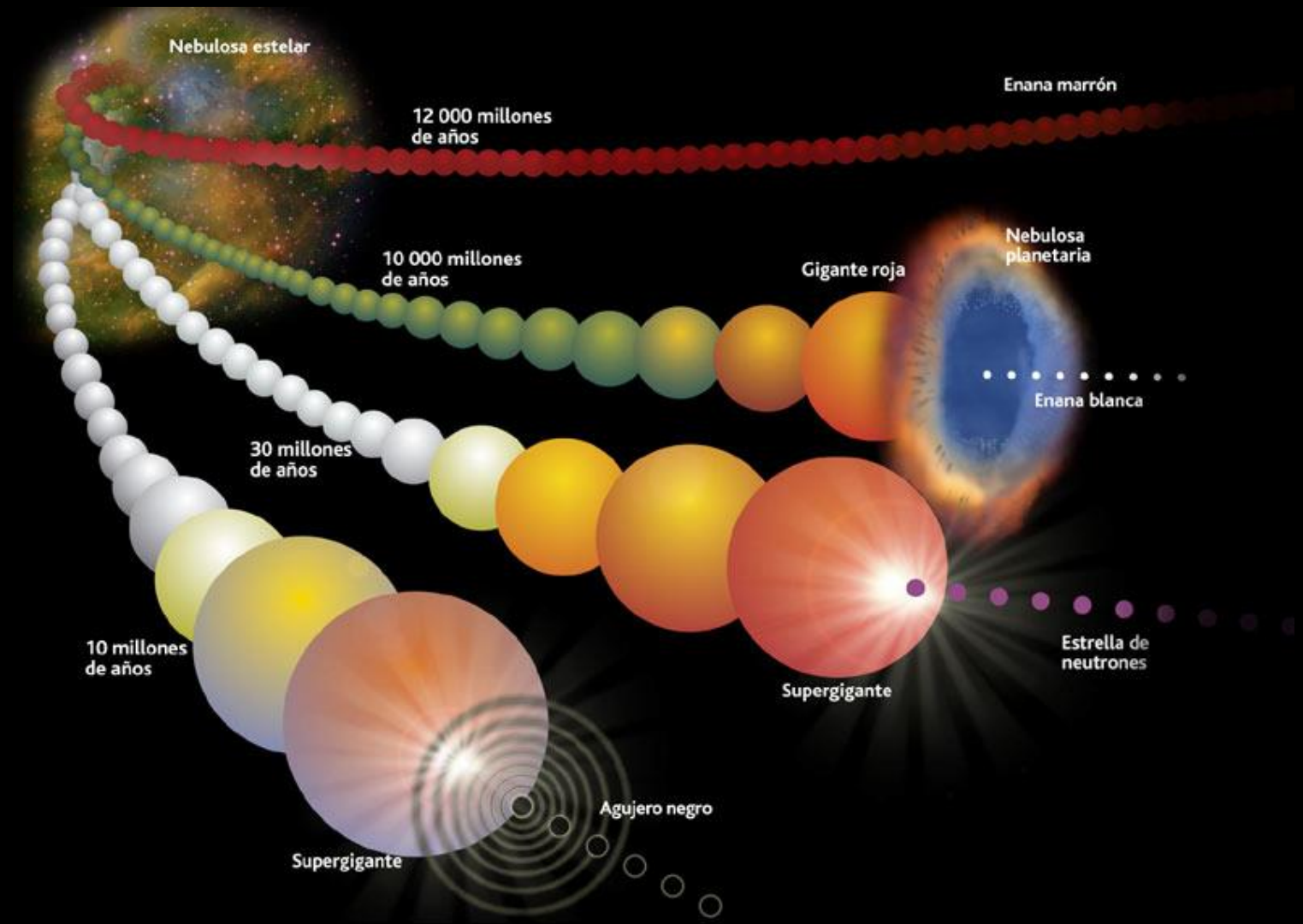
Si la estrella inicial tiene una masa entre 8 y 25 M_{\odot} , el resto estelar tendrá una masa $1.44 M_{\odot} < M < 3 M_{\odot}$:
una ESTRELLA DE NEUTRONES

Son objetos con radios entre 10 y 30 km, pero con una densidad de centenas de millones de toneladas por cm^3

Si $M > 3 M_{\odot}$, los neutrones no son capaces de soportar la elevadísima gravedad: la estrella se colapsa

SE FORMA UN AGUJERO NEGRO





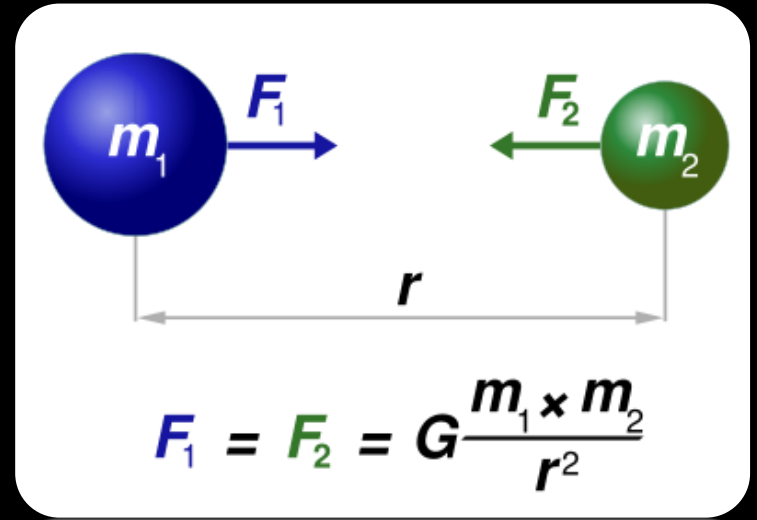
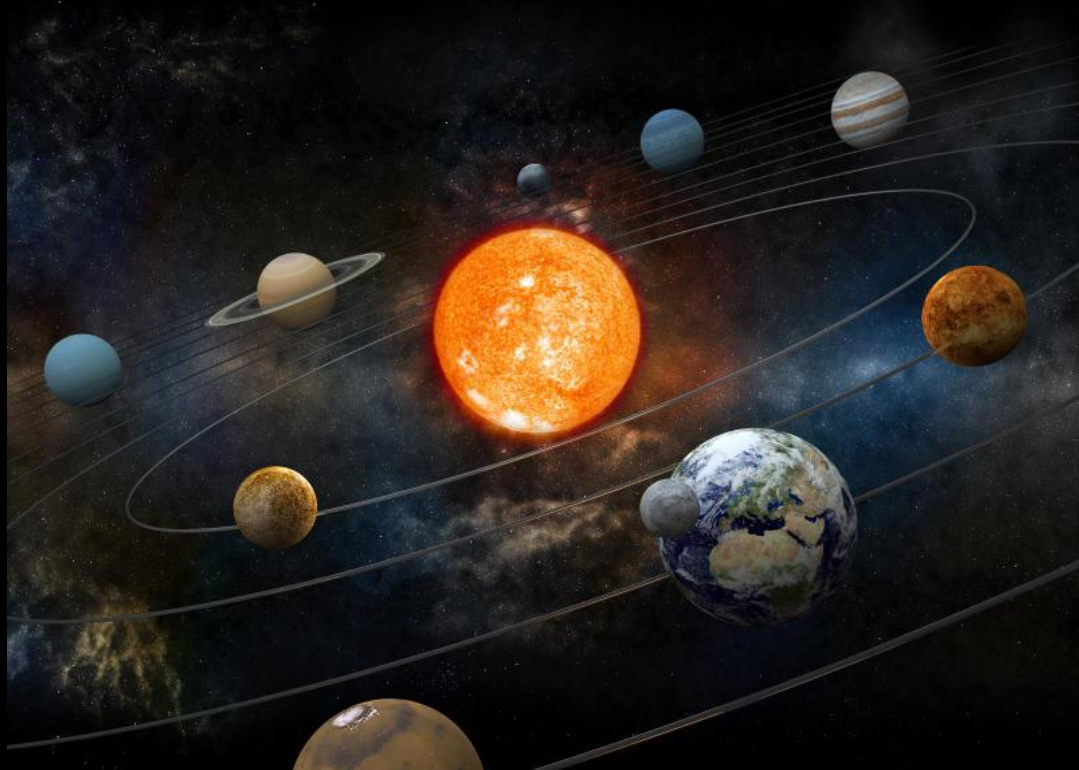
$< 8 M_{\odot}$	masa inicial (8-25) M_{\odot}	$> (20-25) M_{\odot}$
$< 1.4 M_{\odot}$	masa final (1.4 - 3) M_{\odot}	$> 3 M_{\odot}$
enana blanca	estrella de neutrones	agujero negro estelar
		

Sólo las estrellas muy masivas pueden convertirse en agujeros negros

¿Qué son los agujeros negros?

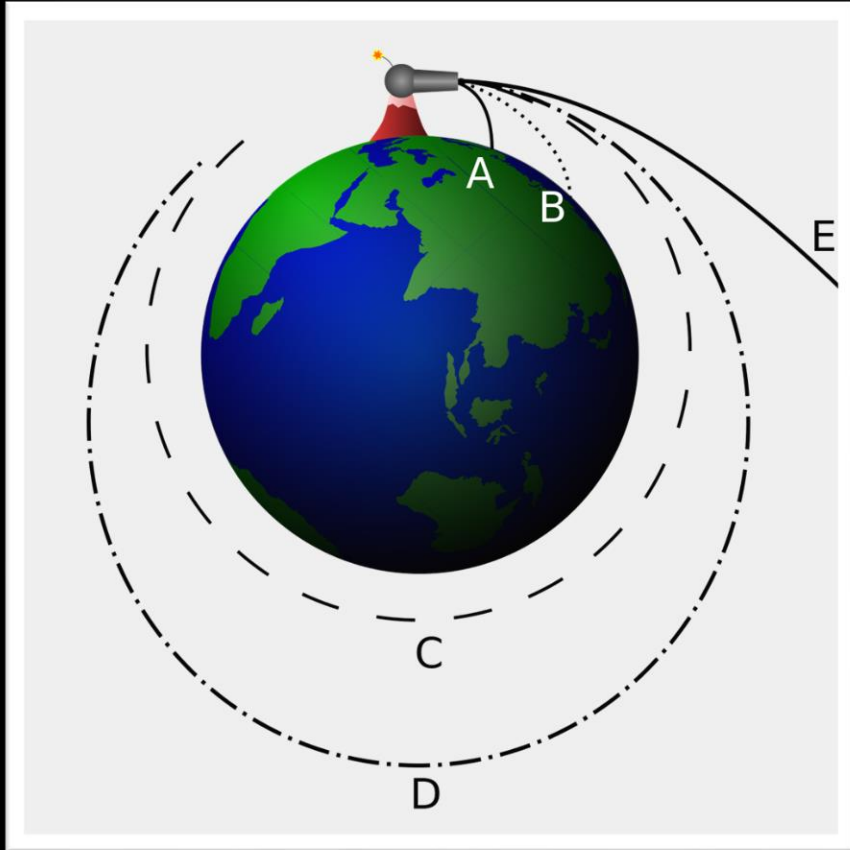


La Gravitación Universal de Isaac Newton (1643-1727)



$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$

Velocidad de escape



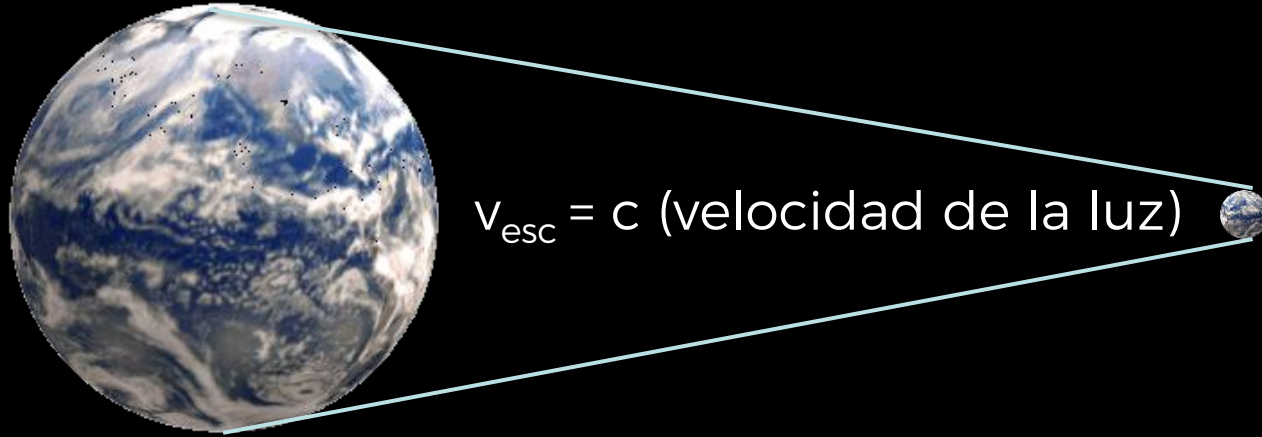
Velocidad mínima con la que debe lanzarse un cuerpo desde la superficie de un astro para que escape de su atracción.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = G\frac{M_E m}{R_E}$$

$$v_1 = \sqrt{2G\frac{M_E}{R_E}}$$

¡¡NO depende de la masa del objeto que pretende escapar!!

Si el radio de la Tierra se reduce a 1 cm con la misma masa



Cualquier objeto cuya velocidad de escape sea igual o superior a la velocidad de la luz

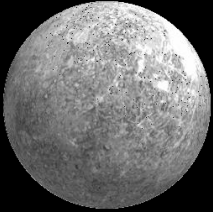
¡es un agujero negro!

Velocidades de escape típicas



Ceres

0.64 km/s



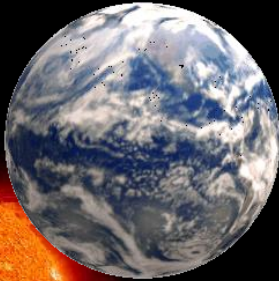
Luna

2.4 km/s



Mercurio

4.3 km/s



Marte

5.0 km/s

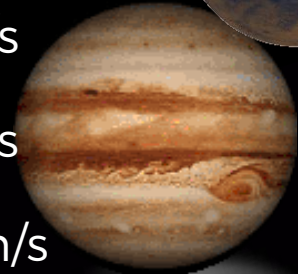


Tierra

11.2 km/s

Júpiter

59.5 km/s

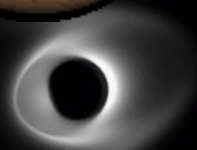


Sol

617.7 km/s

Agujero negro

300 000 km/s



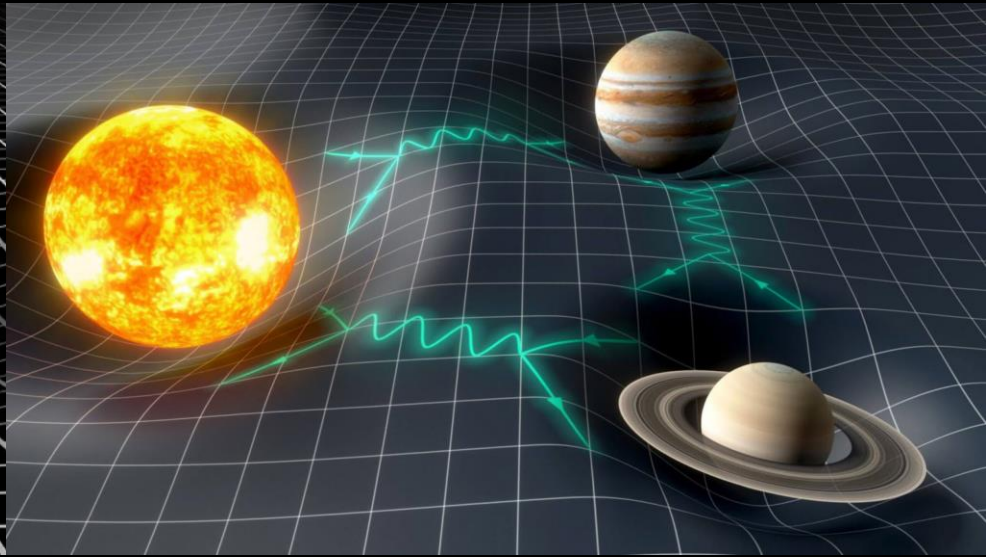
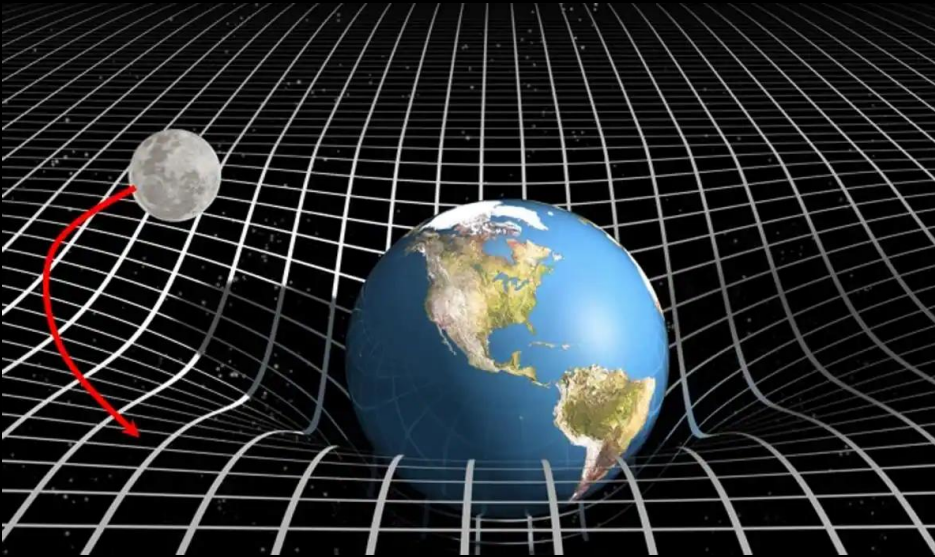
Teoría de la Relatividad y agujeros negros

The background of the slide is a complex, abstract visualization of spacetime curvature. It features a central black hole, represented by a dark, circular void. Surrounding this center are numerous glowing, translucent lines and surfaces in shades of blue and yellow. These lines represent the warping of space and time as they approach the black hole, creating a sense of depth and movement. The overall effect is a dynamic and intricate representation of the concepts discussed in the text.

La materia curva el espacio-tiempo

La curvatura indica cómo se ha de mover la materia

Los planetas y satélites y, en general, todos los objetos del universo se mueven en un espacio deformado por la presencia de materia



Ley de Gravitación
Universal de Newton

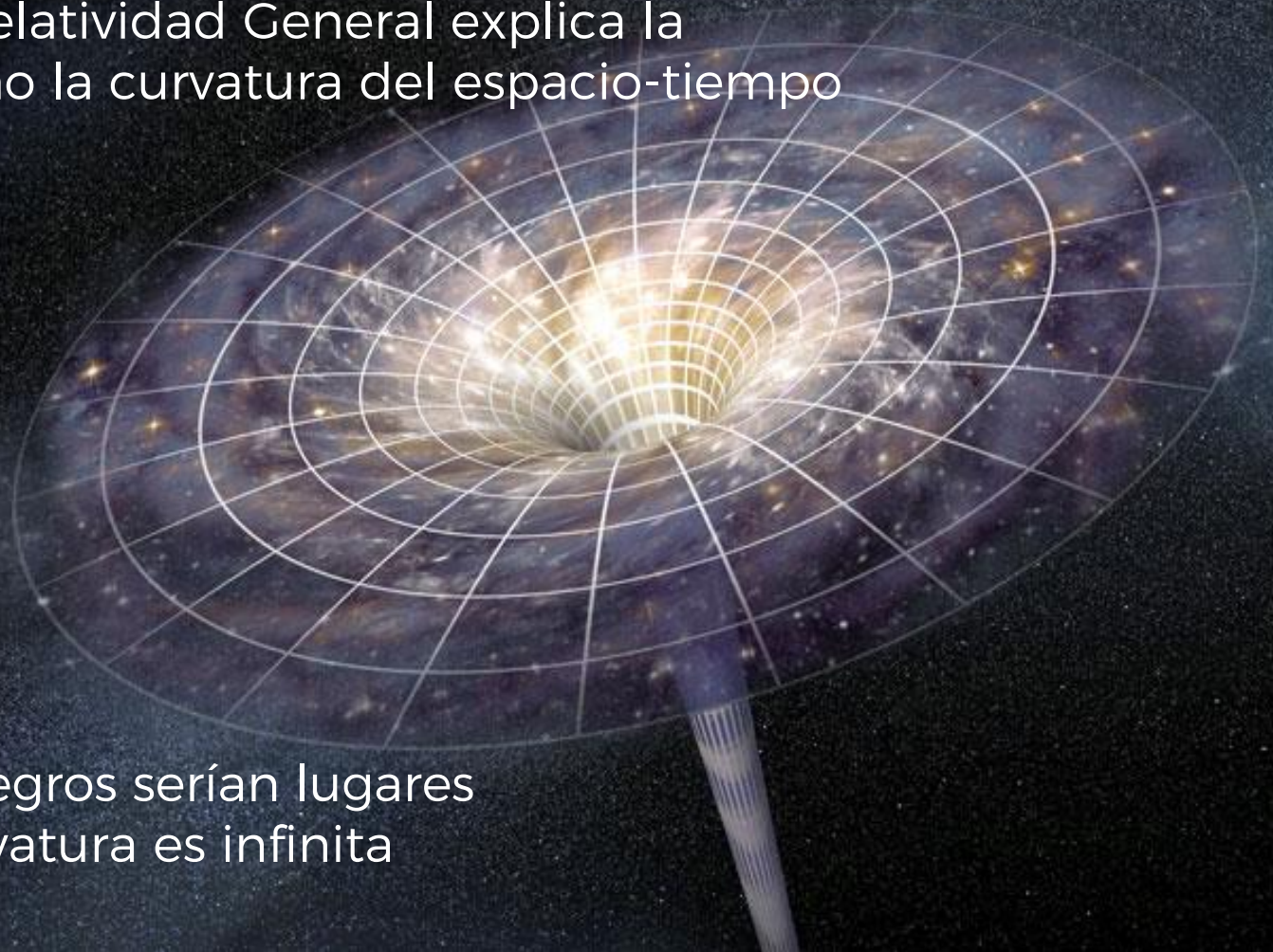
$$F = \frac{GM_1M_2}{r^2}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Curvatura = Densidad
de energía

Ecuación de
campo de Einstein

Dado que la Relatividad General explica la gravedad como la curvatura del espacio-tiempo



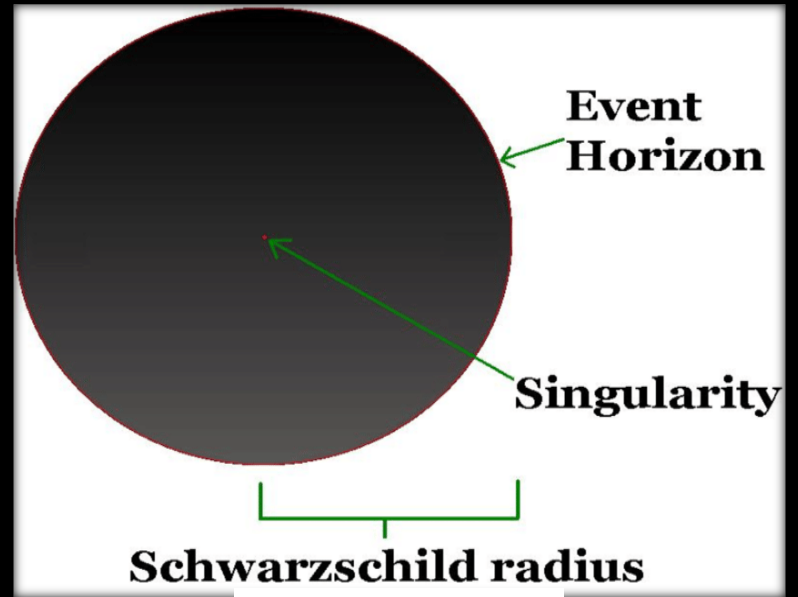
Los agujeros negros serían lugares donde esa curvatura es infinita

¿Qué tamaño tiene un agujero negro?

Todo lo que suceda dentro de una esfera de radio igual al radio de Schwarzschild no puede ser visto por un observador externo: es su horizonte de sucesos.

Cualquier objeto tiene un radio de Schwarzschild asociado. Pero, sólo si su masa está contenida dentro de ese radio, el objeto es un agujero negro.

En otras unidades



$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

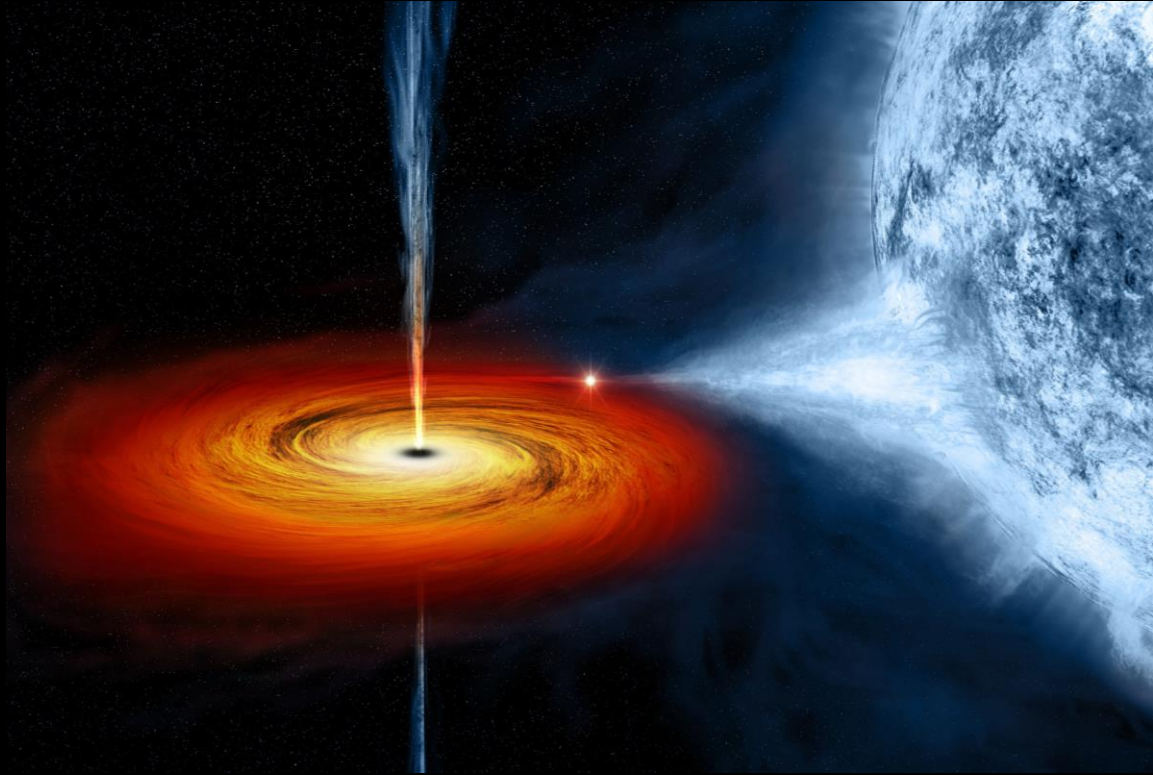
$$R_s = 3 \left(\frac{M}{M_{Sun}} \right) km$$

Radio de Schwarzschild de algunos objetos astronómicos

Objeto	Masa (masas solares)	Radio (km)	Velocidad de escape (km/seg)	Radio de Schwarzschild
Tierra	0,00000304	6357	11,3	9 mm
Sol	1	696.000	617	2,95 km
Enana blanca	0,8	10.000	5.000	2,4 km
Estrella de neutrones	2	8	250.000	5,9 km
Núcleo de galaxia	50.000.000	?	?	147.500.000 km

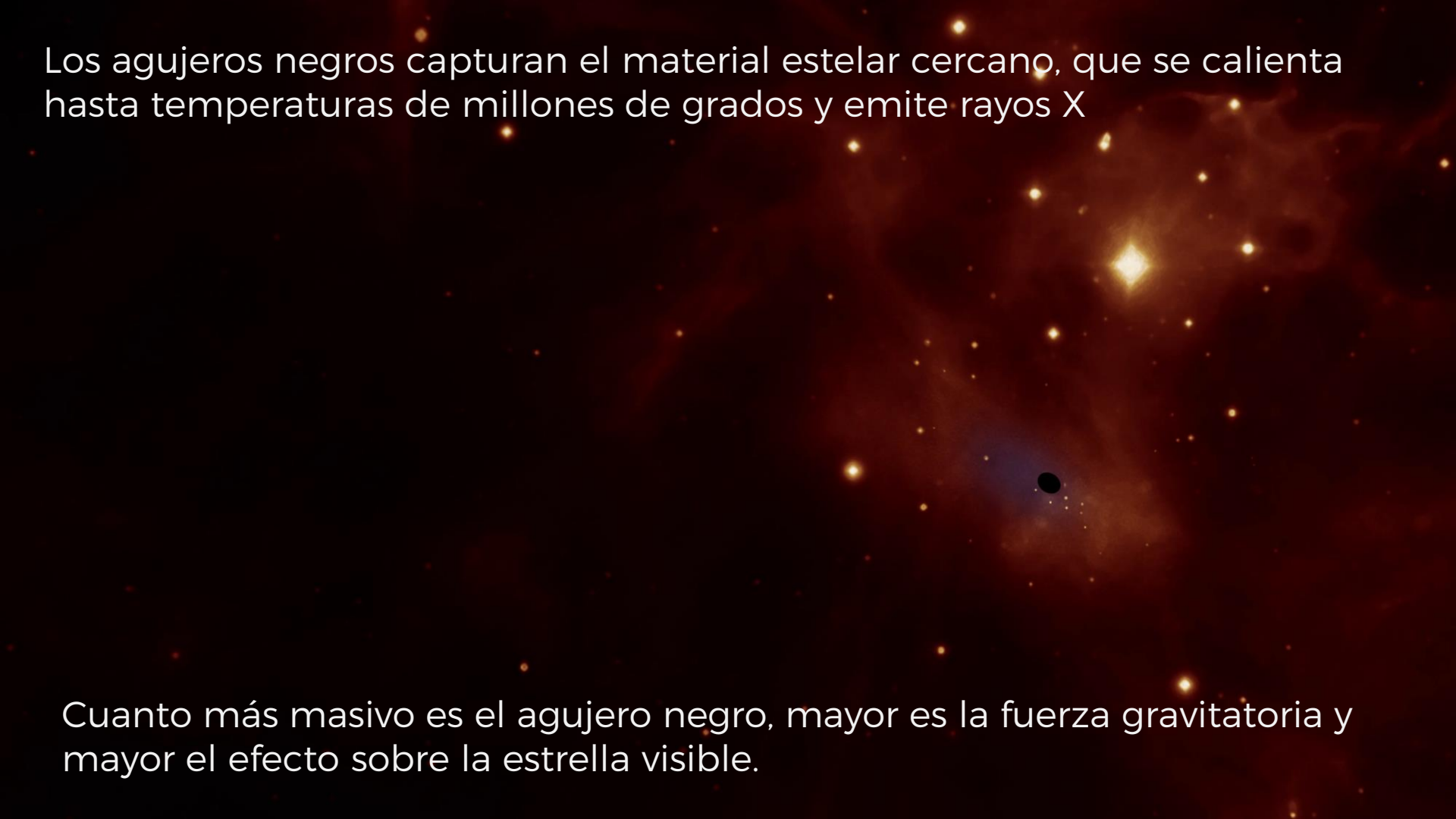
¿Cómo se detectan los agujeros negros?

Muchos sistemas binarios de estrellas contienen agujeros negros que son detectados por los rayos X que emiten.



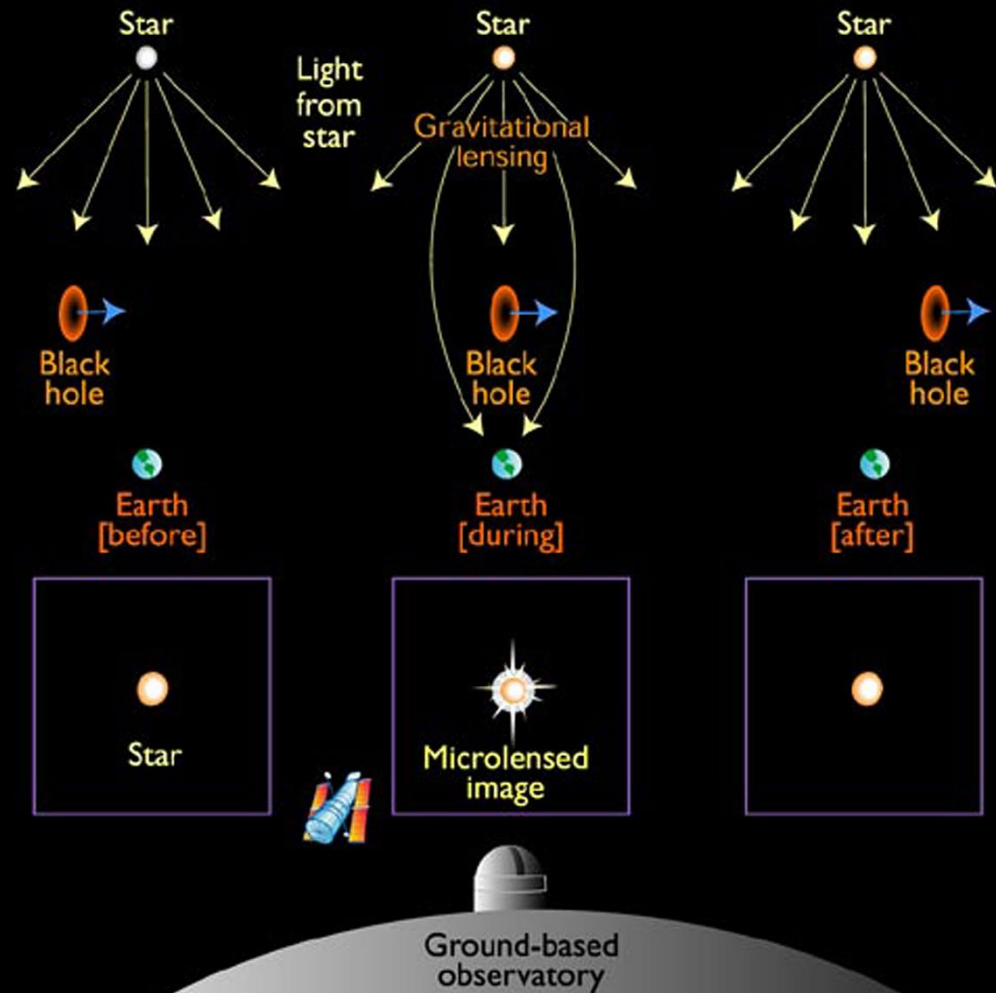
Los agujeros negros capturan el material estelar cercano, que se calienta hasta temperaturas de millones de grados y emite rayos X

Cuanto más masivo es el agujero negro, mayor es la fuerza gravitatoria y mayor el efecto sobre la estrella visible.





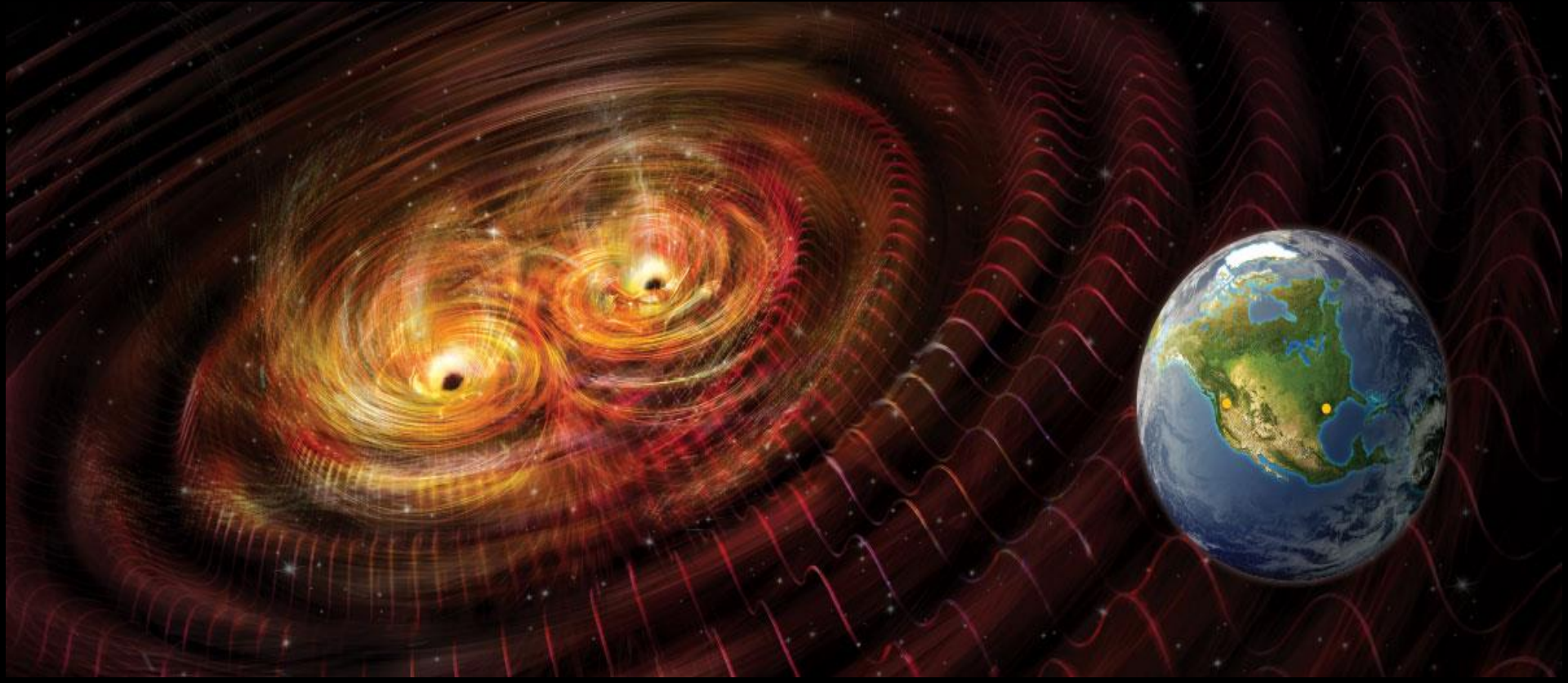
La materia que cae hacia el agujero negro forma un disco que se calienta extraordinariamente y emite hacia fuera poderosos chorros de partículas.



La Relatividad proporciona otras formas de detectar agujeros negros

Por ejemplo, a través de las microlentes gravitatorias

O, a partir de las ONDAS DE GRAVEDAD,
predichas por Albert Einstein en 1916



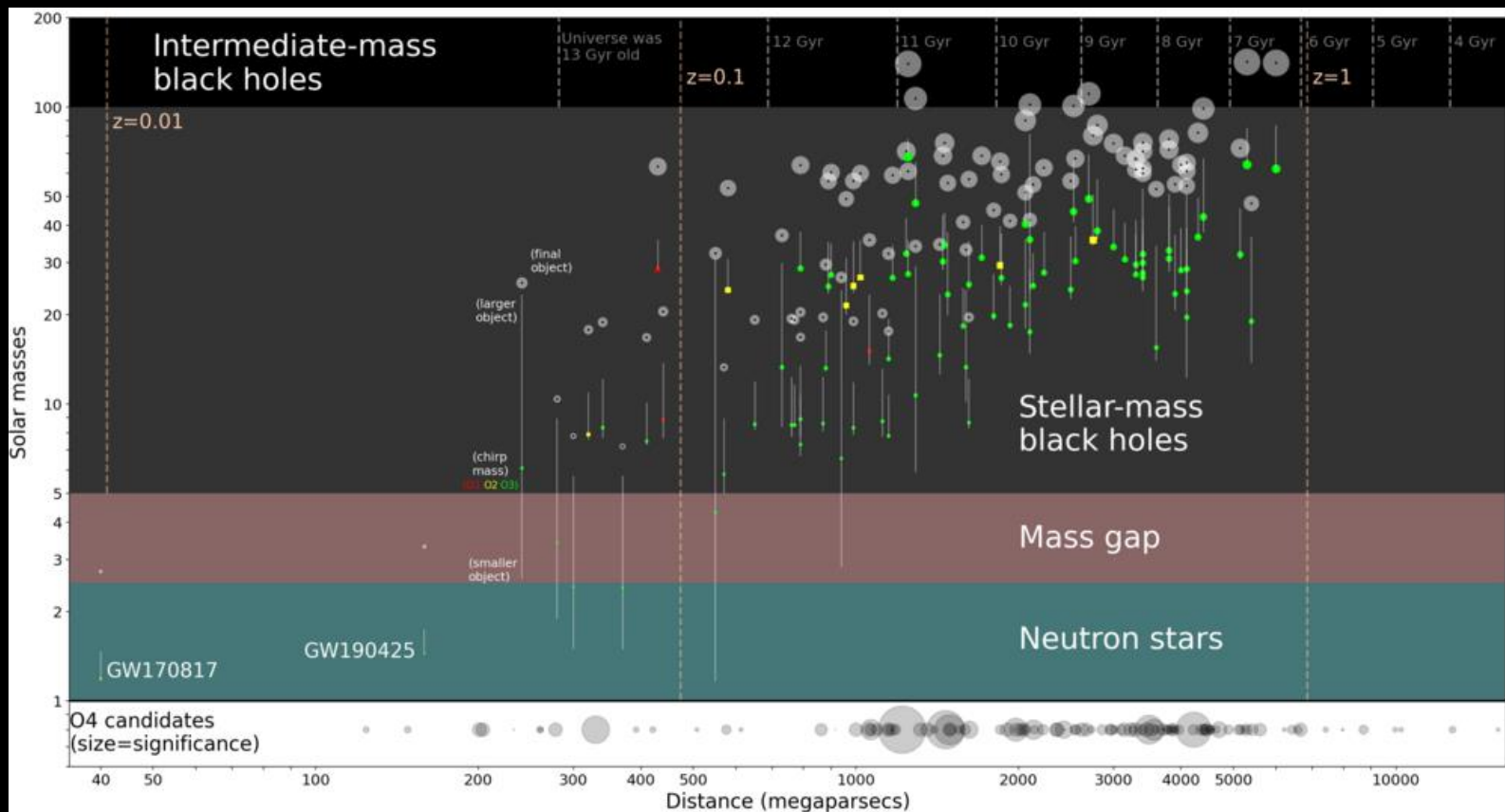
En 2015, a unos 1300 millones de años luz de nosotros, dos agujeros negros con masas 36 y 29 veces mayores que la de nuestro Sol colisionaron, fundiéndose en uno de 62 masas solares.

La diferencia de masas, unos 3 soles, se convirtió en una titánica oleada de energía y en forma de ONDA GRAVITATORIA

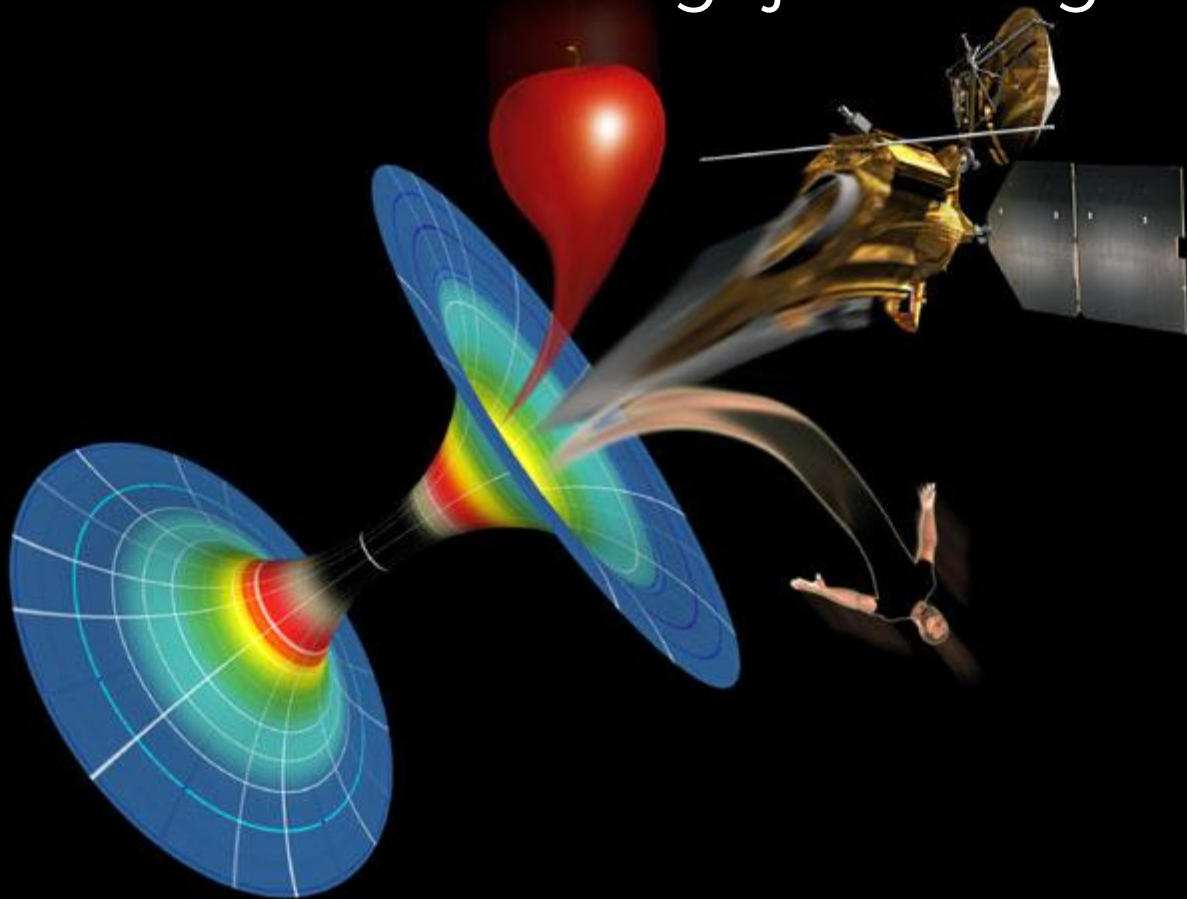
En un brevísimo instante, se emitió más energía que la luz de todas las estrellas del Universo visible.



Se han detectado más de 200 fenómenos violentos de este tipo, con ondas gravitatorias de gran intensidad: colisiones de agujeros negros, colisiones de estrellas de neutrones y colisiones mixtas en diferentes rangos de masa.



Efectos de los agujeros negros



¿Qué sentiría un astronauta al caer en un agujero negro?

Lejos del agujero negro no sentiría ninguna fuerza gravitatoria: carecería de peso.

A medida que se acercase al horizonte, comenzaría a sentir fuerzas gravitacionales "de marea".

El cuerpo del astronauta se estiraría en milisegundos. Las fuerzas "de marea" se harían tan intensas que terminarían destruyéndolo (efecto spaghetti).



¿Qué vería un observador fuera del agujero negro?



Al acercarse el astronauta al horizonte de sucesos, el observador externo lo vería moverse cada vez más lentamente.

Y nunca lo vería alcanzar el horizonte ya que la luz que emite el astronauta tardaría cada vez más tiempo en llegar al observador.

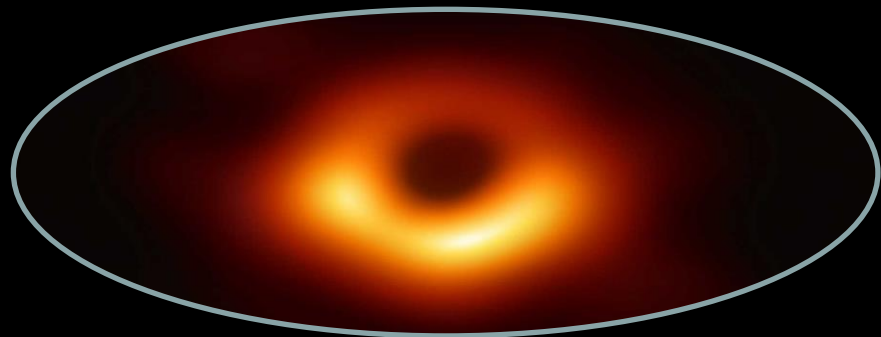
La radiación emitida exactamente al cruzar el horizonte se mantendría allí para siempre, dando la impresión de estar congelada.

2015



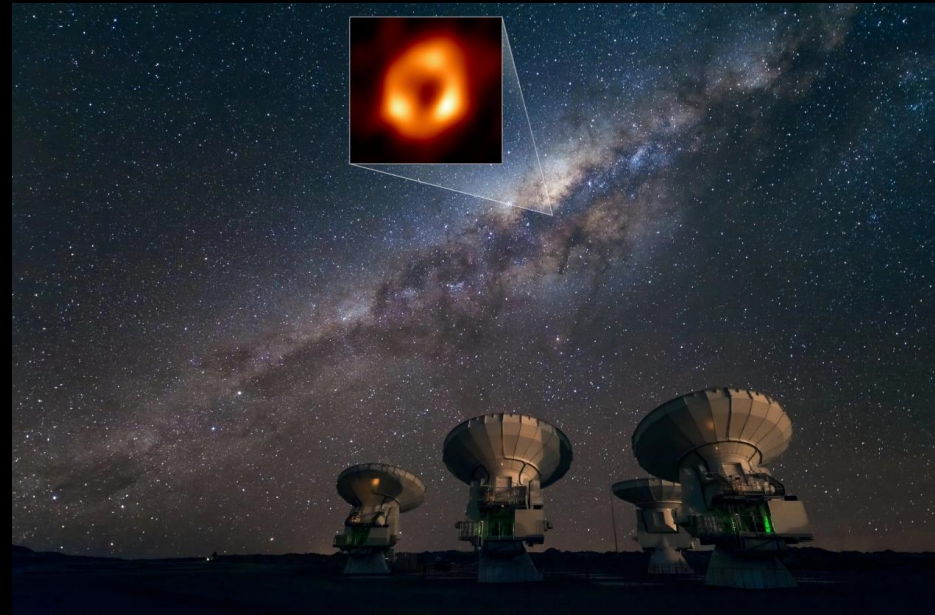
Se detectan ondas gravitatorias provenientes de la fusión de dos agujeros negros, una “verdadera prueba” directa de su existencia.

2019



Se detecta por vez primera la sombra de un agujero negro supermasivo en el centro de la galaxia elíptica M87 cuya masa es de 6500 millones de masas solares.

2022



Se detecta la sombra del agujero negro del centro de la Vía Láctea, que tiene una masa de 4 millones de masas solares

2023



Se descubre el “fondo de ondas gravitatorias”

