

Astronomía

Introducción - Información del cielo

Helga Dénés 2025-10 USFQ

hdenes@usfq.edu.ec

Fuentes de información astronómica

¿Cómo obtenemos información astronómica?

Fuentes de información astronómica

¿Cómo obtenemos información astronómica?

- Radiación electromagnético (luz o fotones)
 - Partículas: neutrinos y rayos cósmicos (partículas con carga eléctrica)
 - Radiación gravitacional
-
- + satélites y robots en la sistema solar (sondas de plasma, magnetómetros, muestras de rocas de la Luna y de asteroides, etc)

Neutrinos

¿Cómo se detectan?

¿Cuáles son las fuentes astronómicas?

Neutrinos

El neutrino (término que en italiano significa ‘neutrón pequeño’), es una partícula subatómica, sin carga y una masa muy pequeño.

Las reacciones nucleares dentro de las estrellas producen neutrinos.

Dado que los neutrinos participan únicamente en interacciones débiles, la mayoría de los neutrinos creados en el centro de una estrella pueden salir sin interactuar con la materia estelar. A diferencia de los fotones, que provienen de las capas externas de una estrella y no nos pueden decir nada directamente sobre el núcleo estelar, **los neutrinos salen del núcleo sin modificaciones.**

Sin embargo, por este propiedad también dificulta su detección. Solo podemos detectar neutrinos de fuentes muy cercanas o de fuentes muy fuertes (como una explosión de supernova).

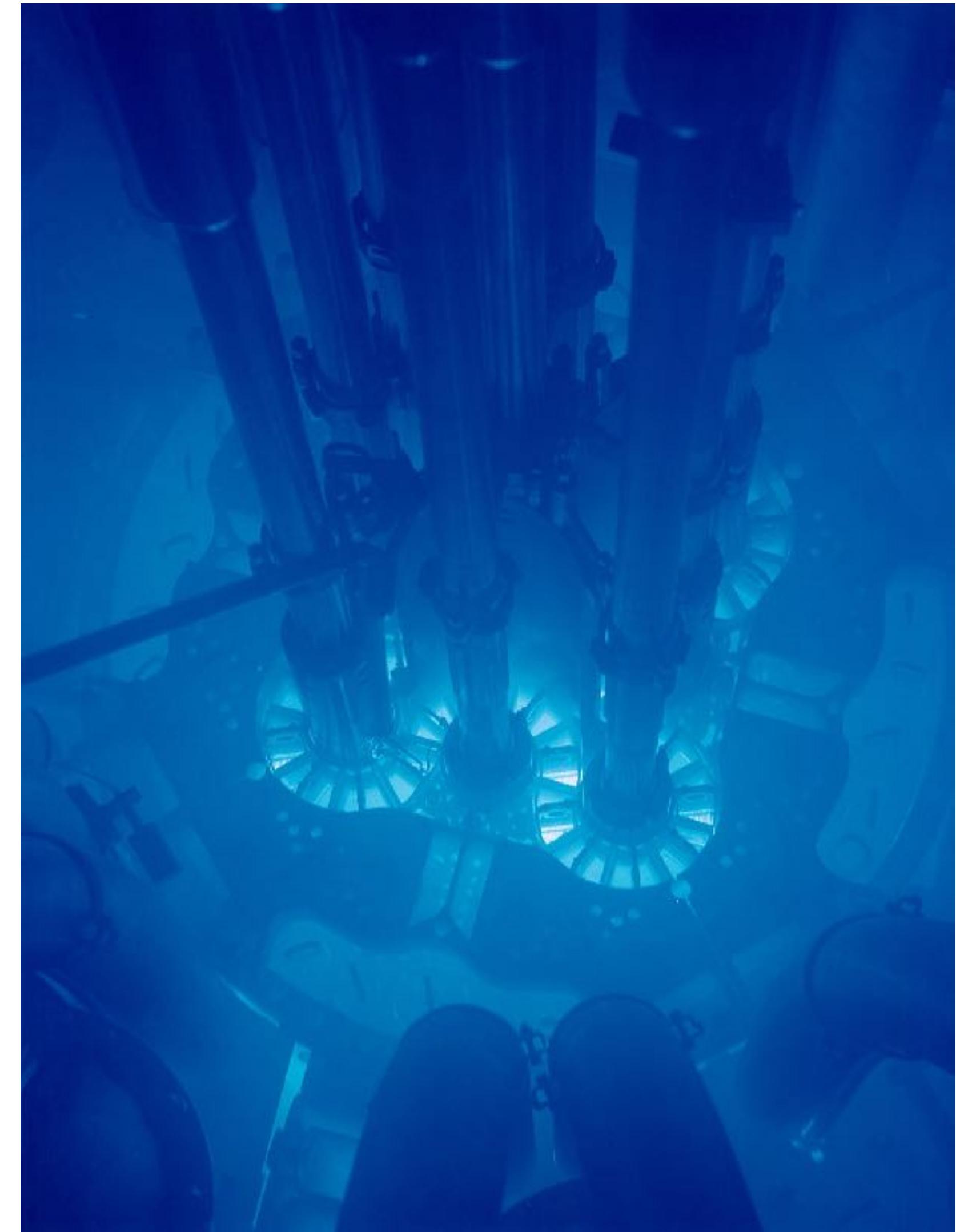
Como detectamos?

El neutrino puede chocar con una partícula (un electrón) en el aire o en el agua. Como resultado, la partícula (el electrón) produce luz Cherenkov y podemos detectamos esta luz.

Radiación de Cherenkov

La **radiación de Cherenkov** es una radiación de tipo electromagnético producida por el paso de partículas cargadas eléctricamente en un determinado medio a velocidades superiores a la velocidad de fase de la luz en ese medio. La [velocidad de la luz](#) depende del medio, y alcanza su valor máximo en el vacío. El valor de la velocidad de la luz en el vacío no puede superarse, pero sí en un medio en el que ésta es forzosamente inferior. La radiación recibe su nombre del físico ruso [Pável Cherenkov](#).

Ejemplos de astrofísica: rayos cósmicos que inciden en la atmósfera de la Tierra, detectores de neutrinos.



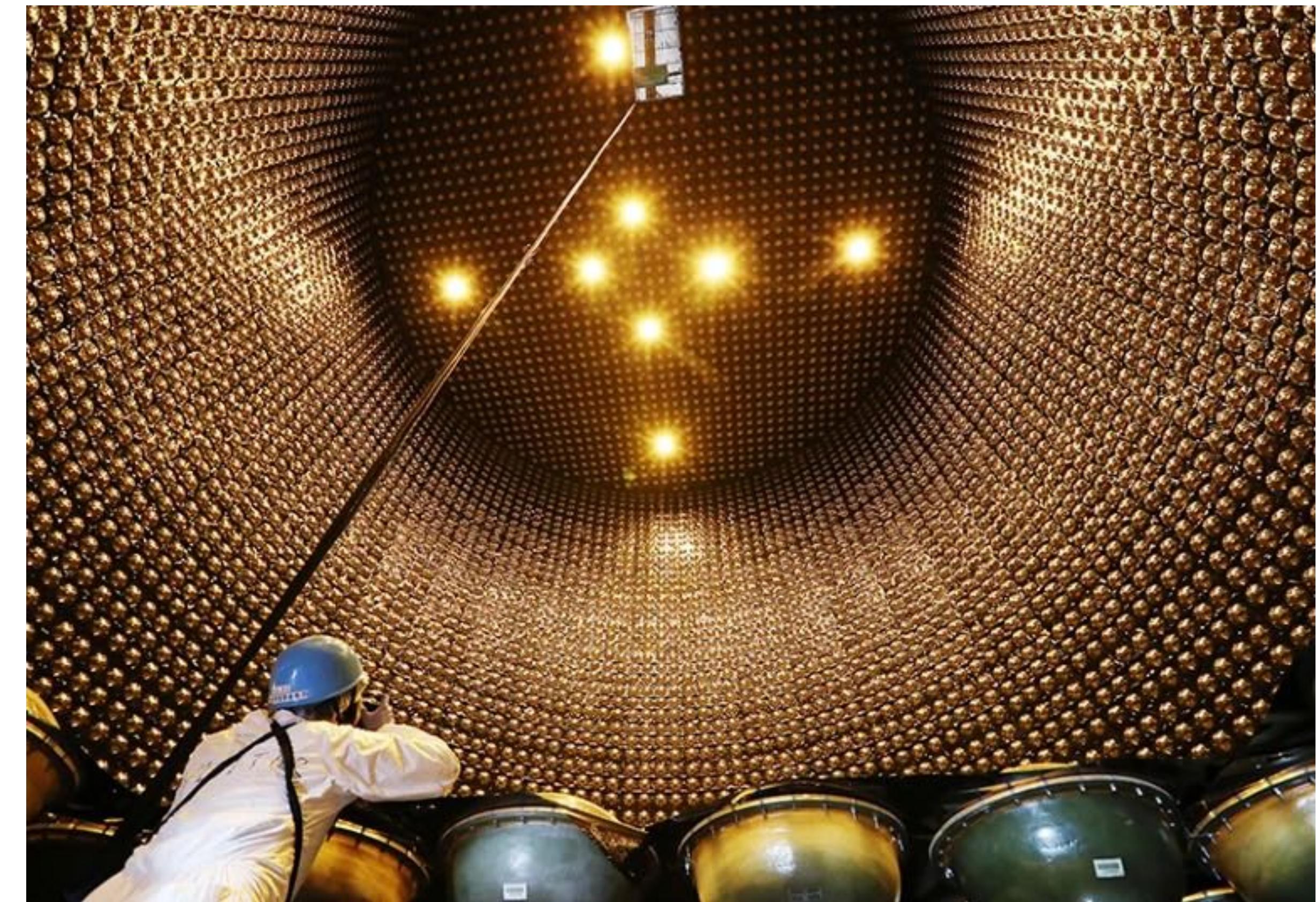
Esa extraña luz azul es radiación de Cherenkov brillando en el núcleo del [reactor de Pruebas Avanzado](#).

Neutrinos

SuperKamiokanda: Un gran tanque de agua con fotodetectores.

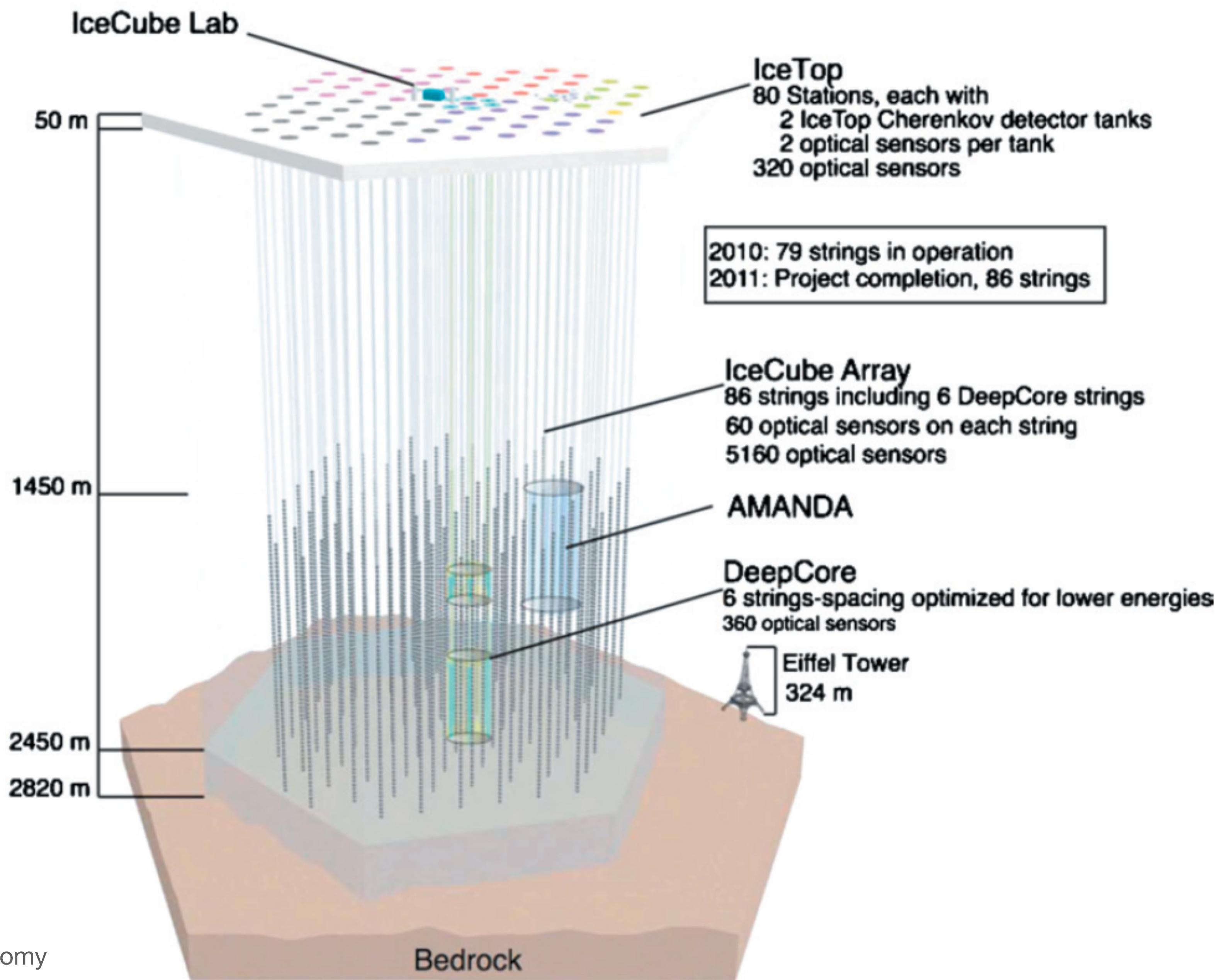
Para detectar neutrinos, necesitamos una gran cantidad de alguna sustancia con átomos que tengan núcleos o electrones con los que interactúen los neutrinos.

- El material más utilizado es agua y hielo.
- Fuentes: el Sol, explosión de supernovae, agujeros negros supermasivos

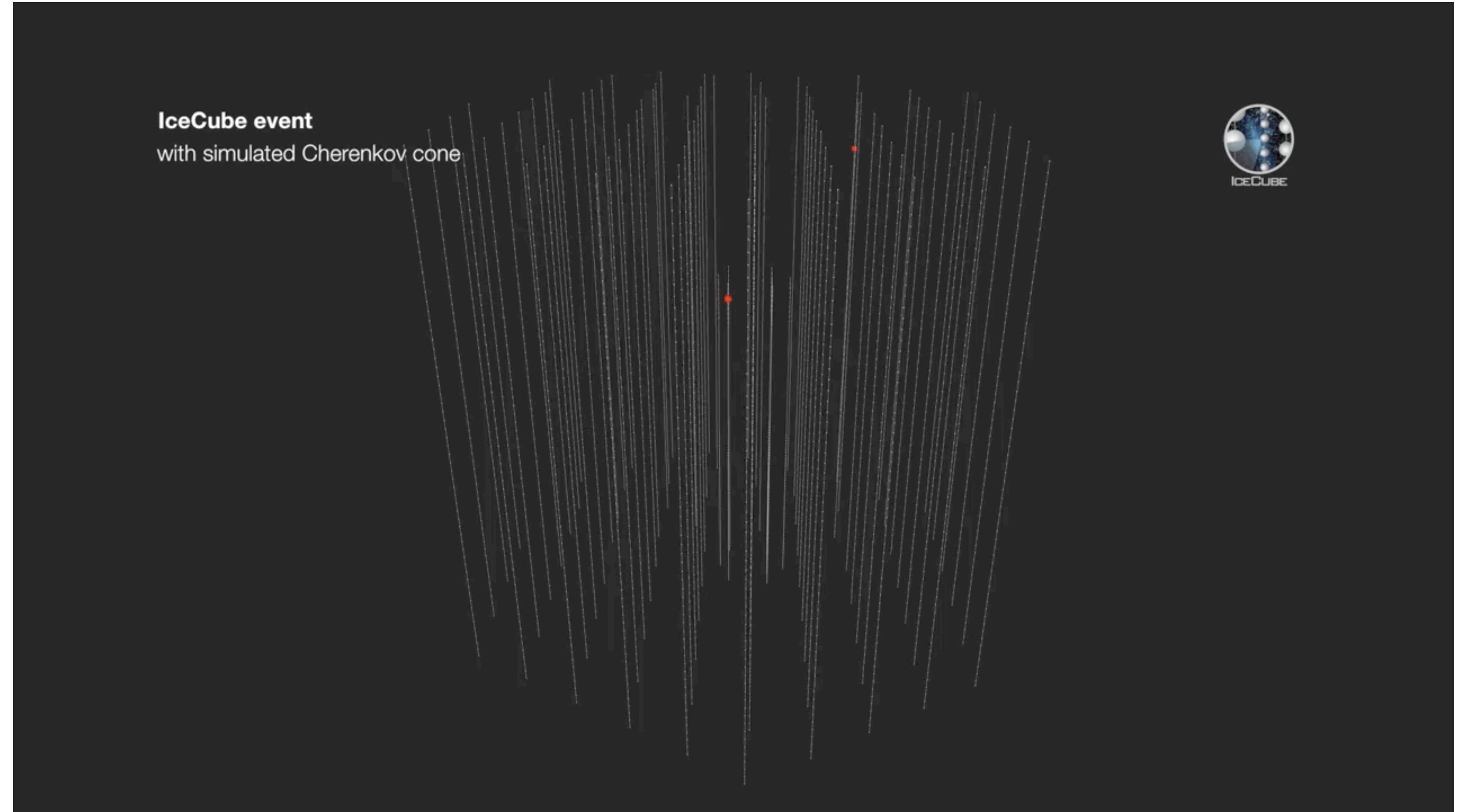


Neutrinos

El experimento IceCube detecta neutrinos en el **hielo de la Antártida**.



Neutrinos



IceCube detecta neutrinos de alta energía utilizando la luz Cherenkov producida por partículas cargadas relativistas que resultan de la interacción de estos neutrinos con un núcleo de hielo antártico.

Rayos cósmicos

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

Rayos cósmicos

El método de detección más común es la **radiación Cherenkov**.

Cuando los rayos gamma alcanzan la atmósfera terrestre, interactúan con ella, **produciendo lluvias de partículas**. Nada puede viajar más rápido que la velocidad de la luz en el vacío, pero la luz viaja un 0,03 % más despacio en el aire. Por lo tanto, estas partículas de energía ultraalta pueden viajar más rápido que la luz en el aire, excitar las moléculas del aire y crear un destello azul de "**luz Cherenkov**". Esta es la luz que detectan los telescopios.

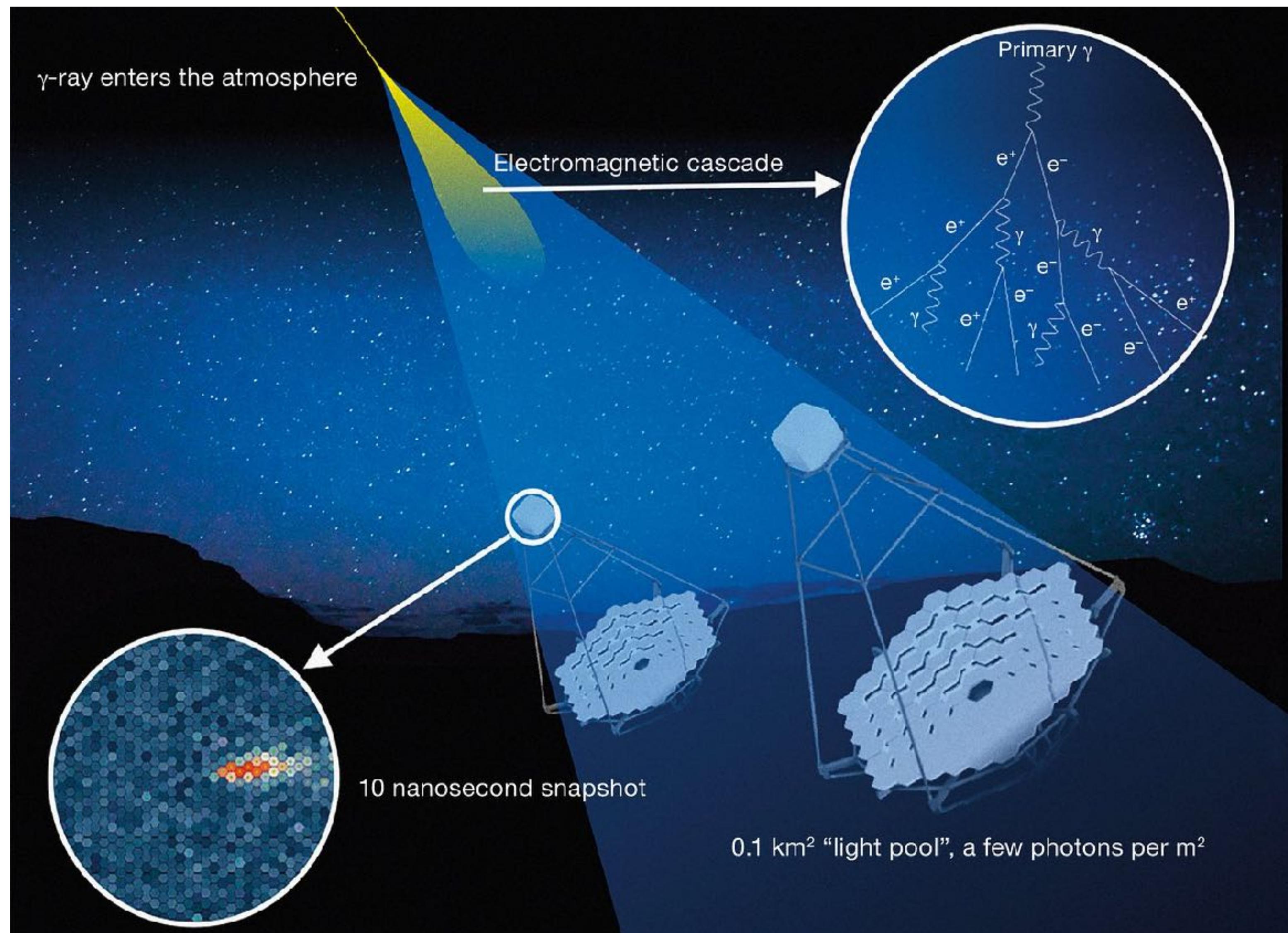
Observatorios: CTAO (Cherenkov Telescope Array Observatory)



Rayos cósmicos

Ilustración del funcionamiento del CTAO (Observatorio del Conjunto de Telescopios Cherenkov):

- Los rayos γ o partículas con alta energía impactan la atmósfera y generan lluvias de partículas.
- Las partículas cargadas de ultraalta energía producen luz Cherenkov.
- La tenue luz Cherenkov es detectada por un conjunto de telescopios.
- CTAO cuenta con dos conjuntos de telescopios en **La Palma, España, y en Paranal, Chile**.



Radiación gravitacional

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

Radiación gravitacional

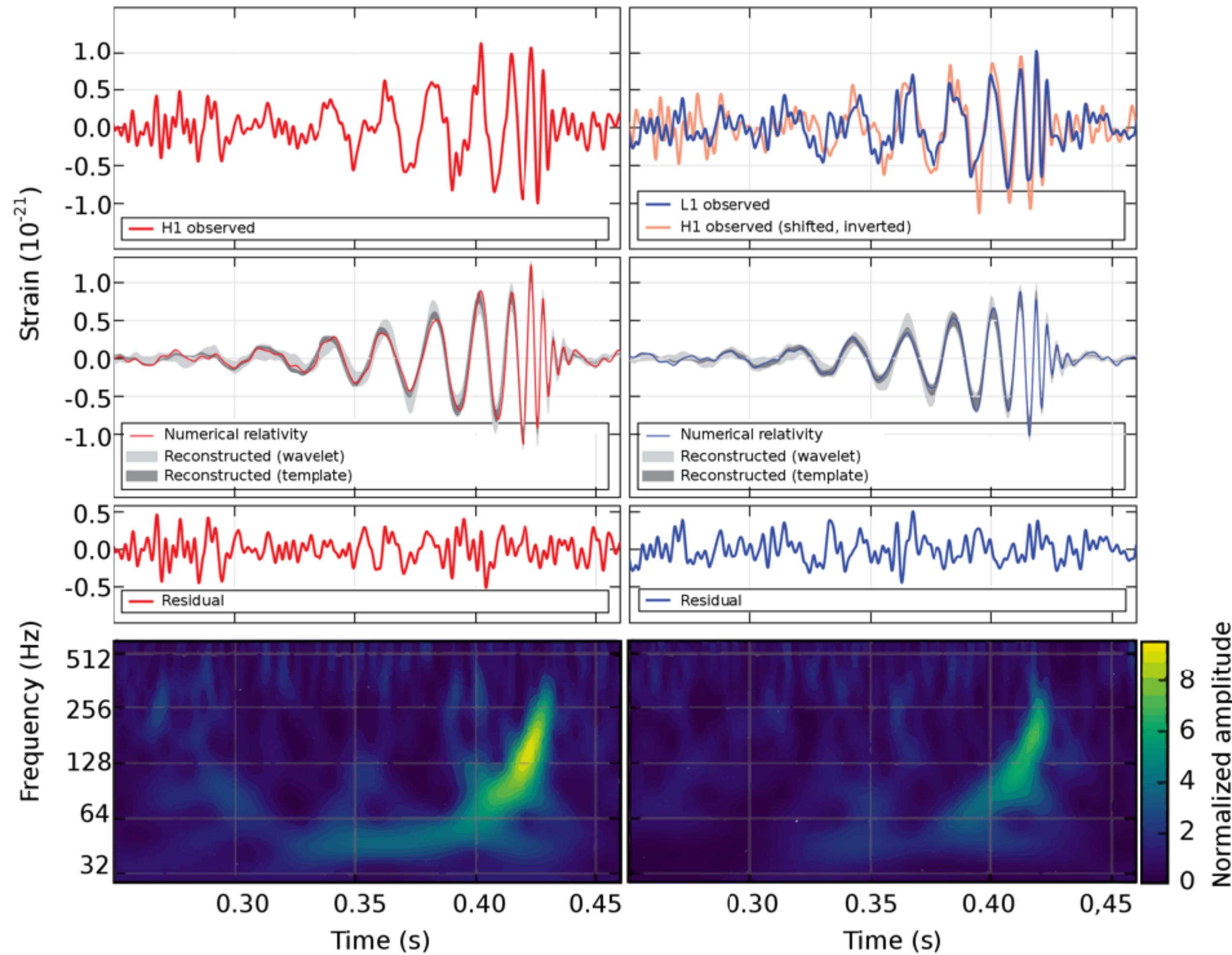
- Detección indirecta con púlsares binarios que giran en espiral uno hacia el otro, ya que pierden energía debido a la radiación gravitacional.
- Detección directa mediante interferometría láser, por ejemplo, LIGO y Virgo.



La primera detección de la fusión de agujeros negros en 2015

Hanford, Washington (H1)

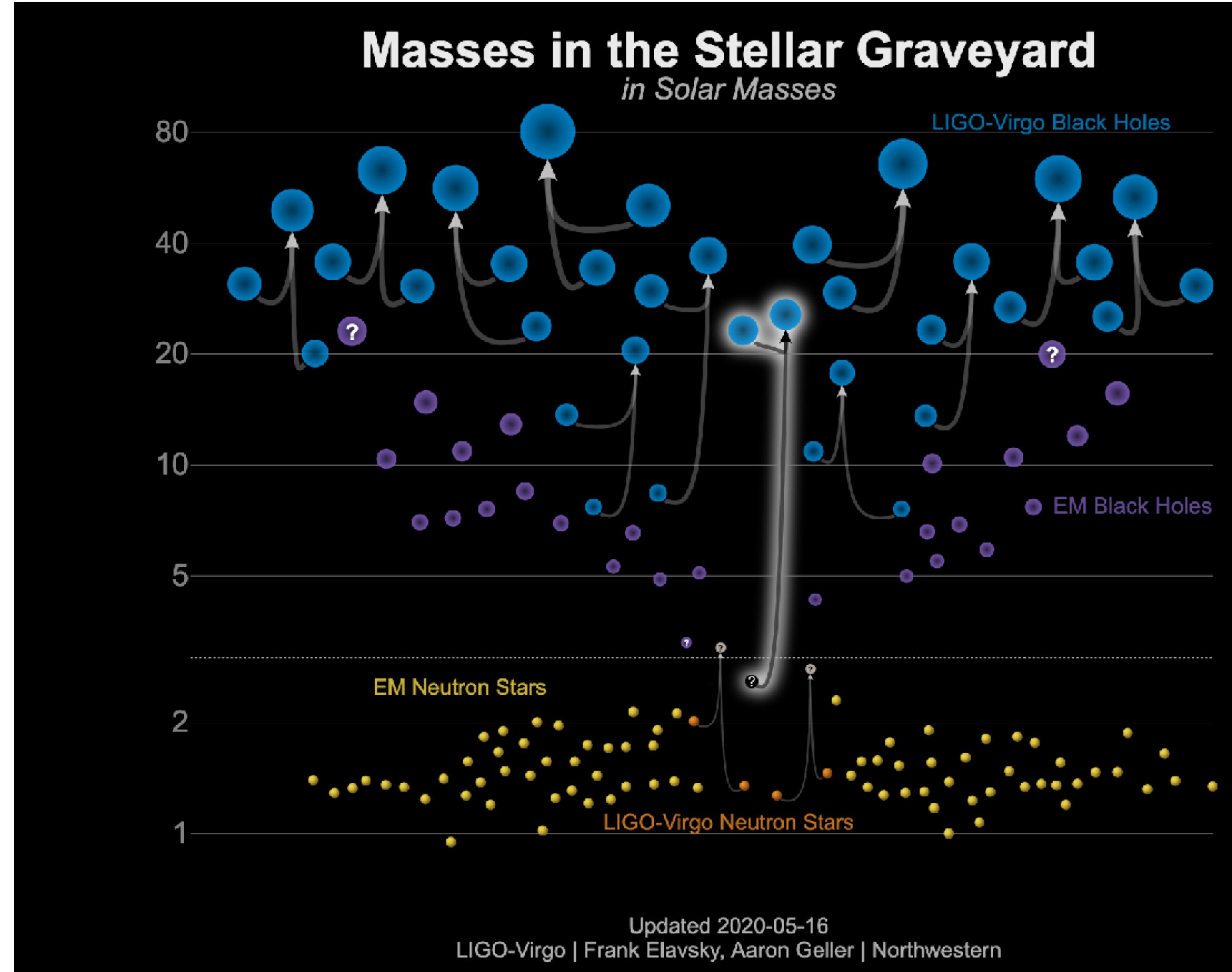
Livingston, Louisiana (L1)



Radiación gravitacional

Detecciones de LIGO/Virgo.

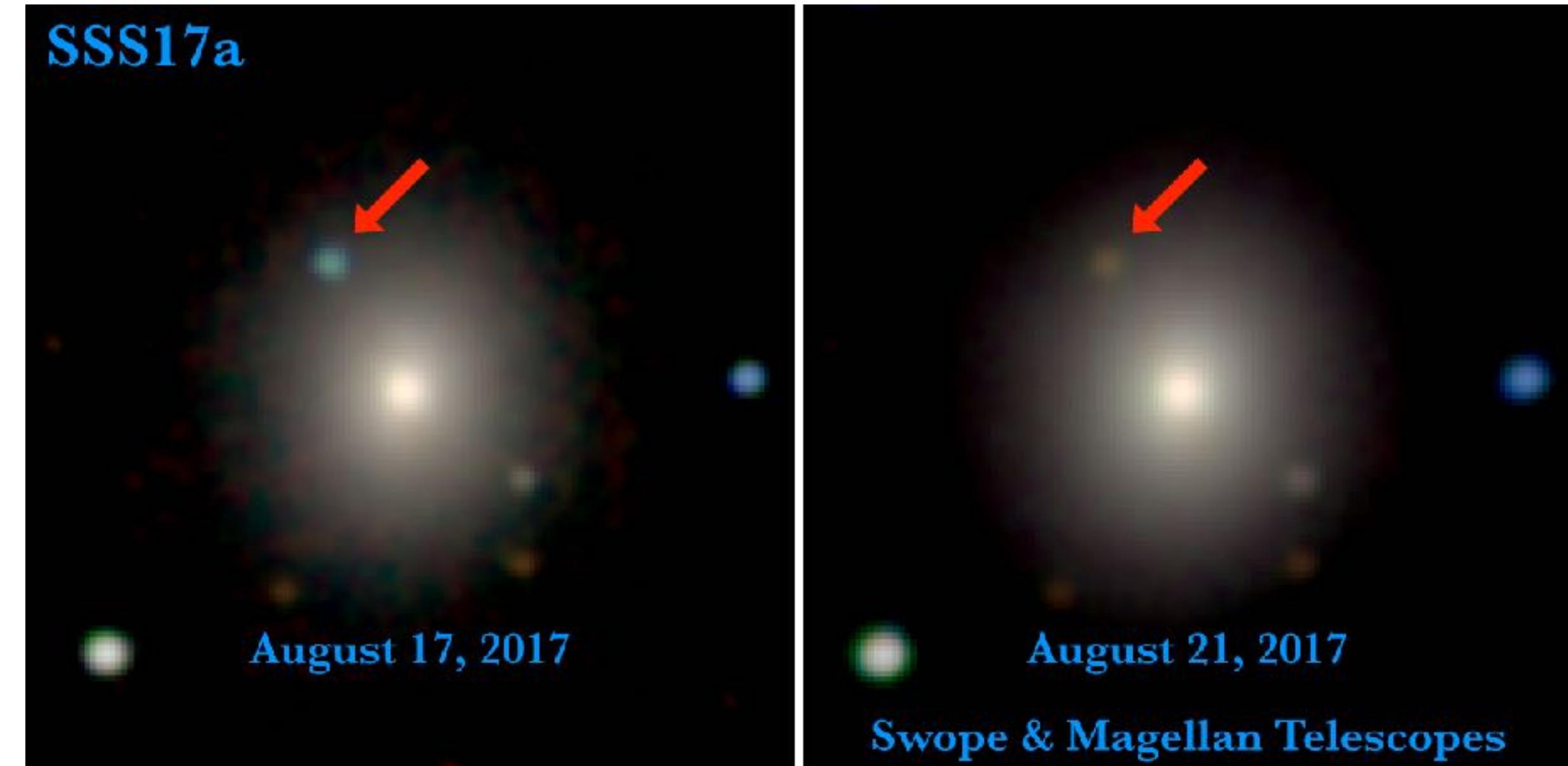
- LIGO y Virgo han observado la **fusión de** varios sistemas binarios de objetos compactos (**agujeros negros y estrellas de neutrones**).
- Este gráfico muestra las masas de los componentes del sistema binario antes de la fusión, así como la masa del remanente de la fusión.



Radiación gravitacional

- 2017 - Observación GW170817: **fusión de dos estrellas de neutrones**.
- A diferencia de las fusiones de dos agujeros negros, se esperaba que las fusiones de dos estrellas de neutrones produjeran una señal luminosa asociada al evento.
- El Telescopio Espacial Fermi detectó un **estallido de rayos gamma** (GRB 170817A), que ocurrió 1,7 segundos después del transitorio de ondas gravitacionales.
- Estos eventos también se denominan **kilonovas** (similares a una supernova muy brillante)

- Estrella de neutrones: una estrella muerta compuesta de neutrones.
- Estallido de rayos gamma: un destello de rayos gamma de un objeto astronómico.



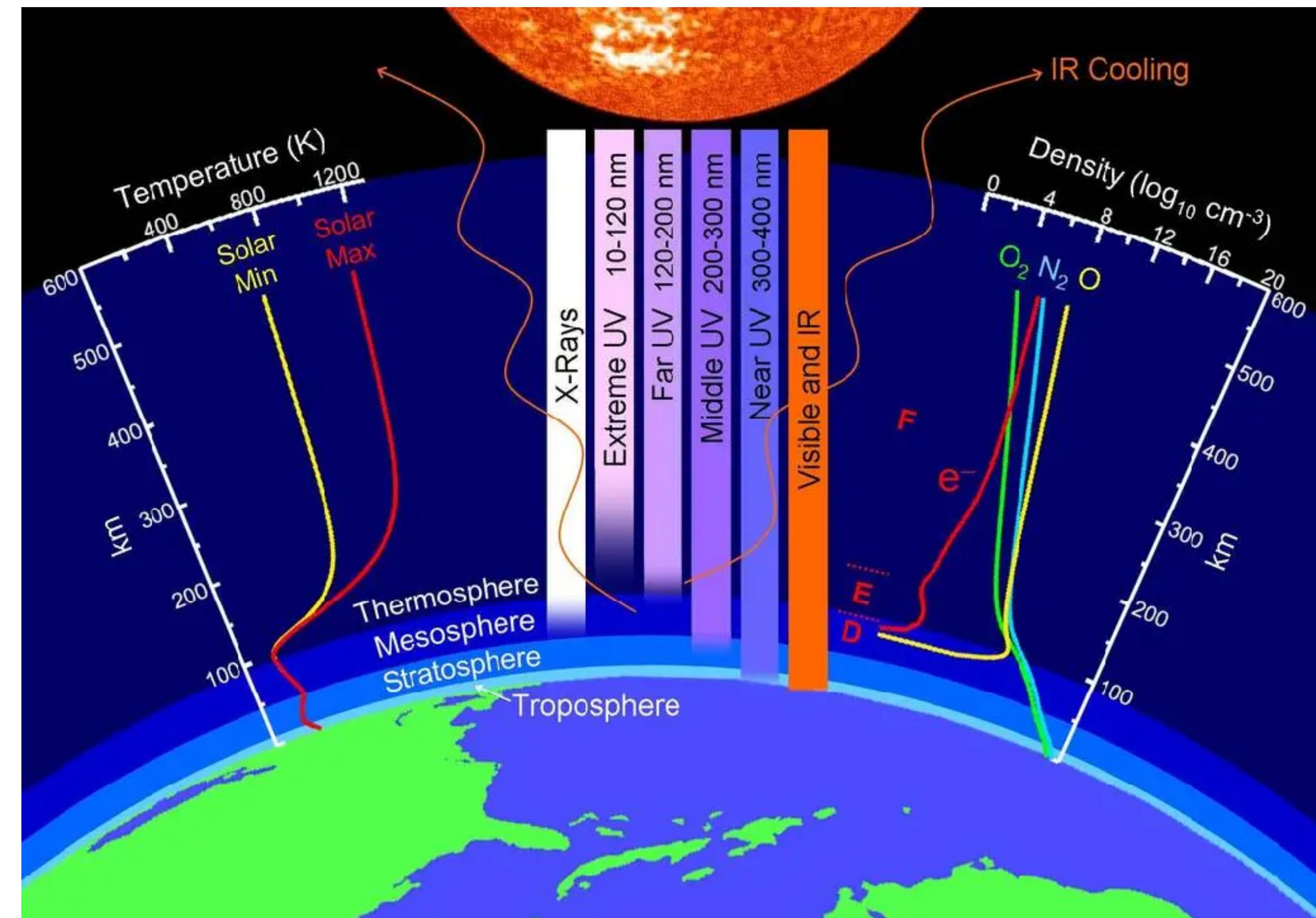
Radiación electromagnética

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

Radiación electromagnética

Transmisión atmosférica:

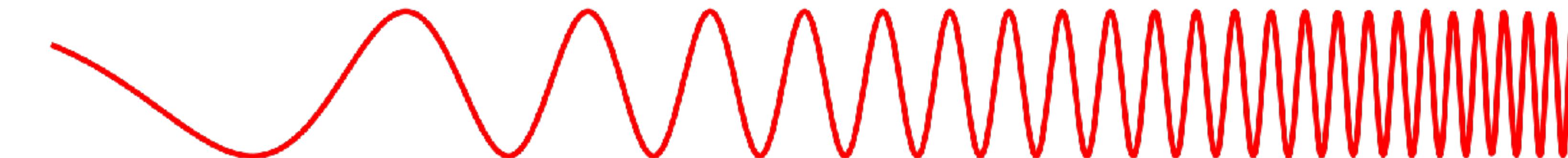
- La atmósfera no es transparente en todas las longitudes de onda.
- El **vapor de agua absorbe una amplia gama de radiación**.
- La **ionosfera refleja cierta radiación**. La atmósfera terrestre contiene una serie de regiones con una cantidad relativamente grande de átomos y moléculas con carga eléctrica, estas regiones se denominan ionosfera.
- La **transmisión atmosférica caracteriza la cantidad de radiación que puede llegar a la superficie de la Tierra en diferentes longitudes de onda**.
- Ejemplo: radiación UV y la capa de ozono



Radiación electromagnética

¿Penetra la atmósfera terrestre?

Sí No Sí No



Tipo de radiación

Radio

10^3



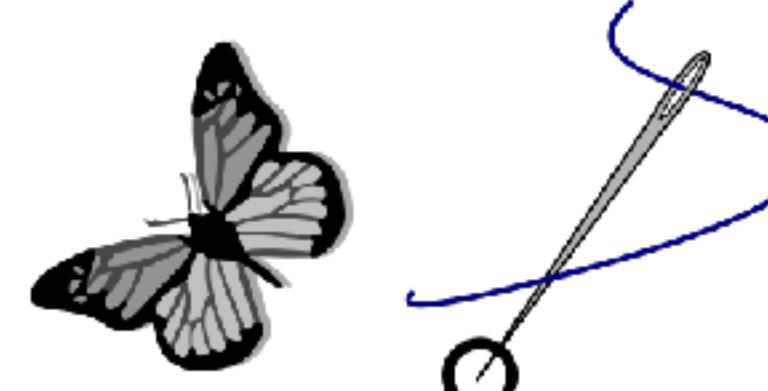
Microondas

10^{-2}



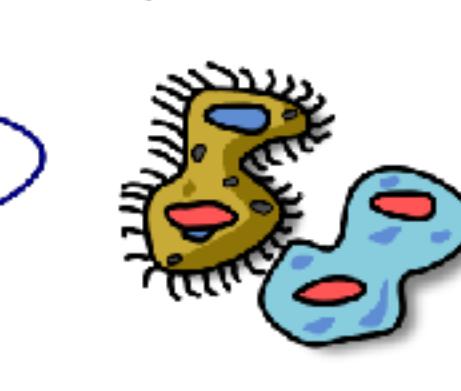
Infrarrojo

10^{-5}



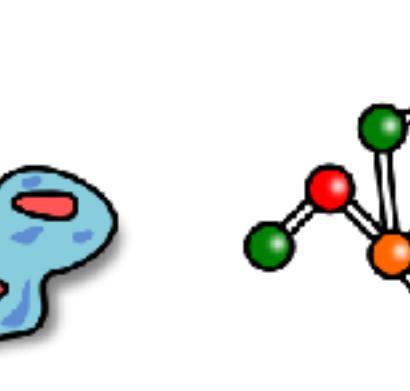
Visible

$0,5 \times 10^{-6}$



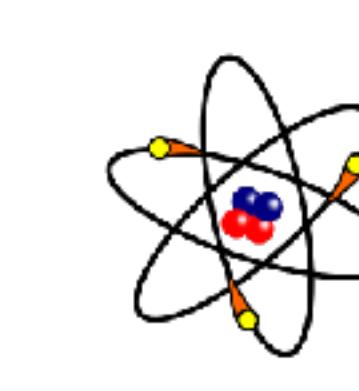
Ultravioleta

10^{-8}



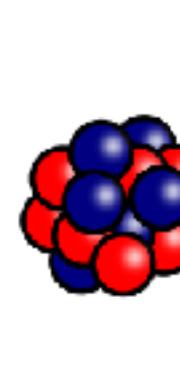
Rayos X

10^{-10}



Rayos gamma

10^{-12}



Longitud de onda (m)
Escala aproximada de la longitud de onda

Edificios

Humanos

Mariposas

Punta de aguja

Protozoos

Moléculas

Átomos

Núcleo atómico

Frecuencia (Hz)

10^4

10^8

10^{12}

10^{15}

10^{16}

10^{18}

10^{20}

Temperatura de los objetos en los cuales la radiación con esta longitud de onda es la más intensa



1 K
-272 °C

100 K
-173 °C

10.000 K
9.727 °C

10.000.000 K
~10.000.000 °C

Radiación electromagnética

Los telescopios que observan en diferentes longitudes de onda tienen diferentes requisitos:

- Altas montañas en lugares secos, para minimizar el vapor de agua
- Observaciones remotas sin contaminación lumínica ni de radio
- En el espacio



Radiación electromagnética

Fuentes de altas energías

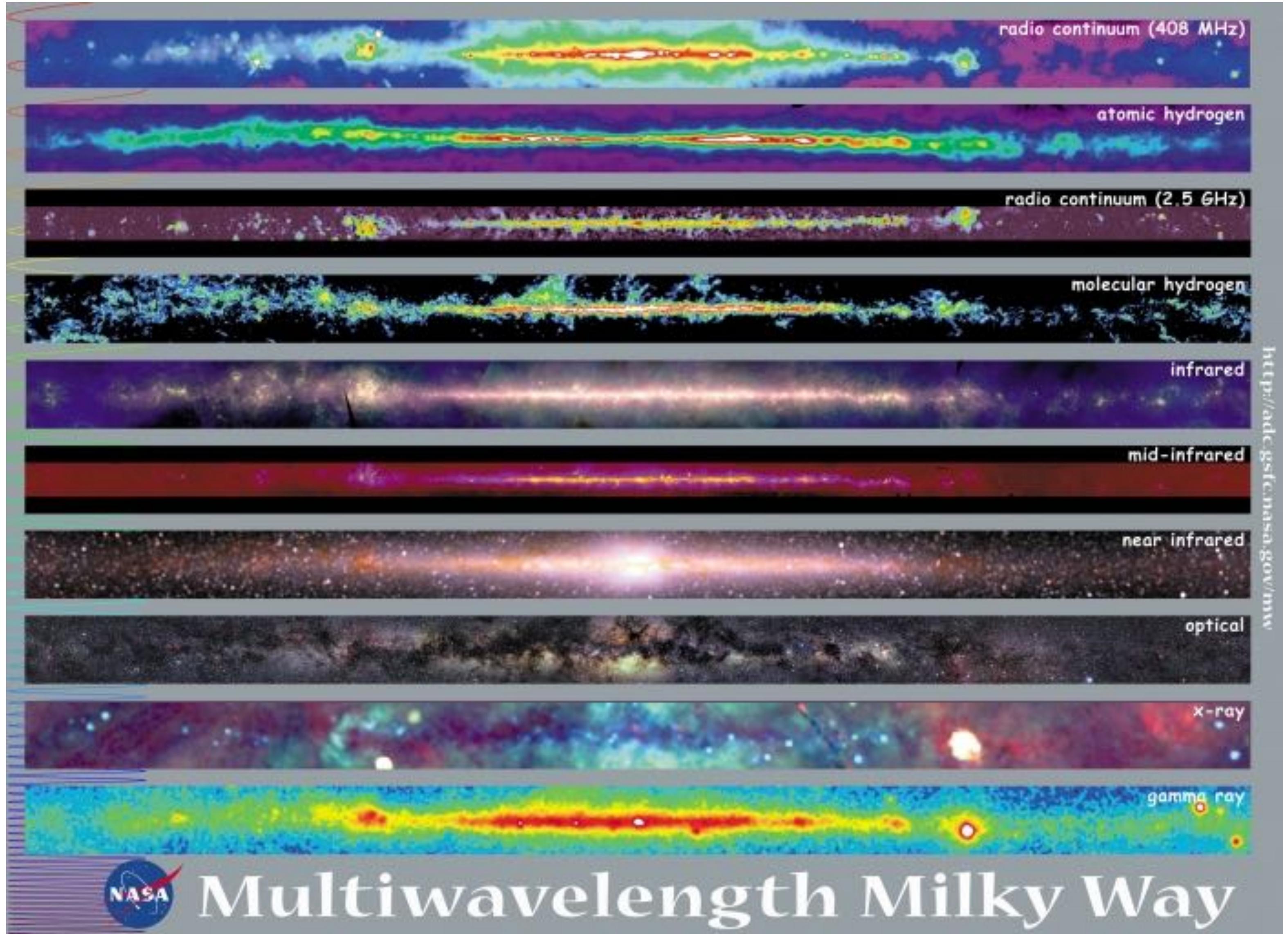
Gas

Polvo

Estrellas

Plasma caliente

Fuentes de altas energías



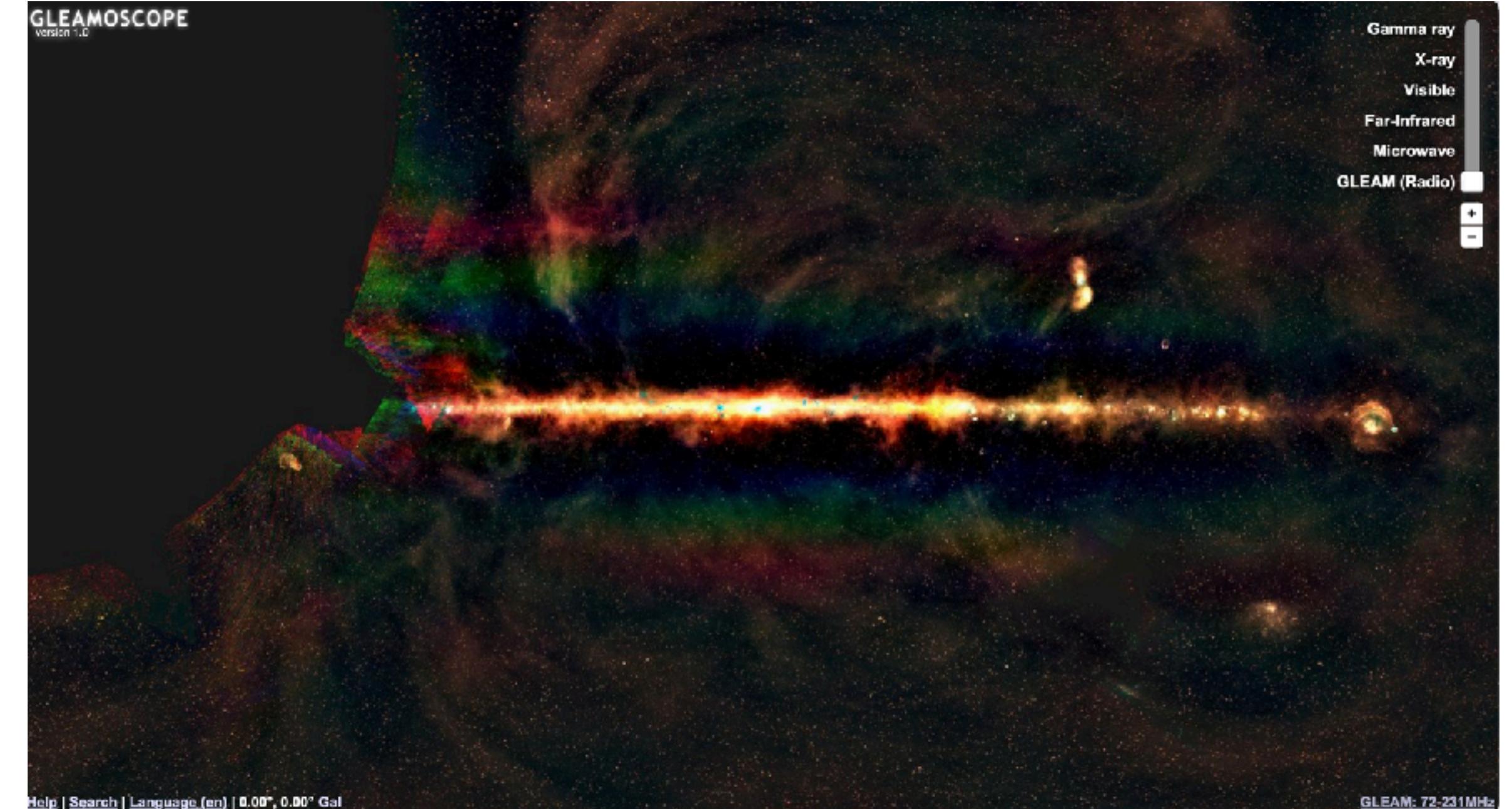
Radiación electromagnética

<https://gleamoscope.icrar.org/gleamoscope/trunk/src/#>

Luz visible



Luz radio

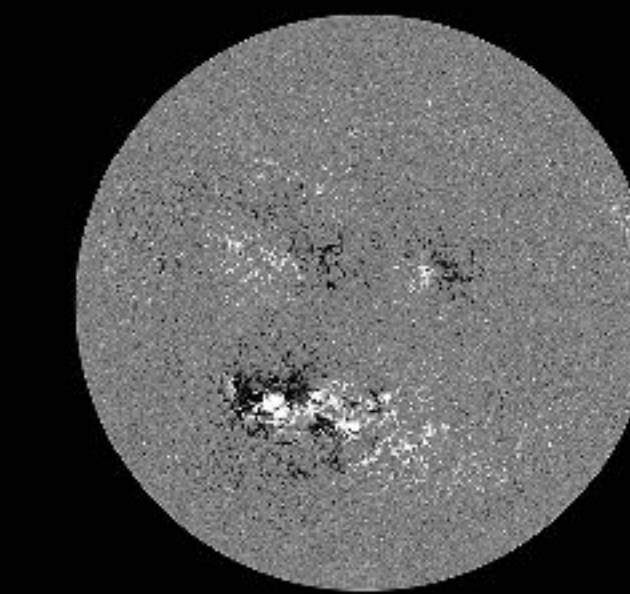


El Sol

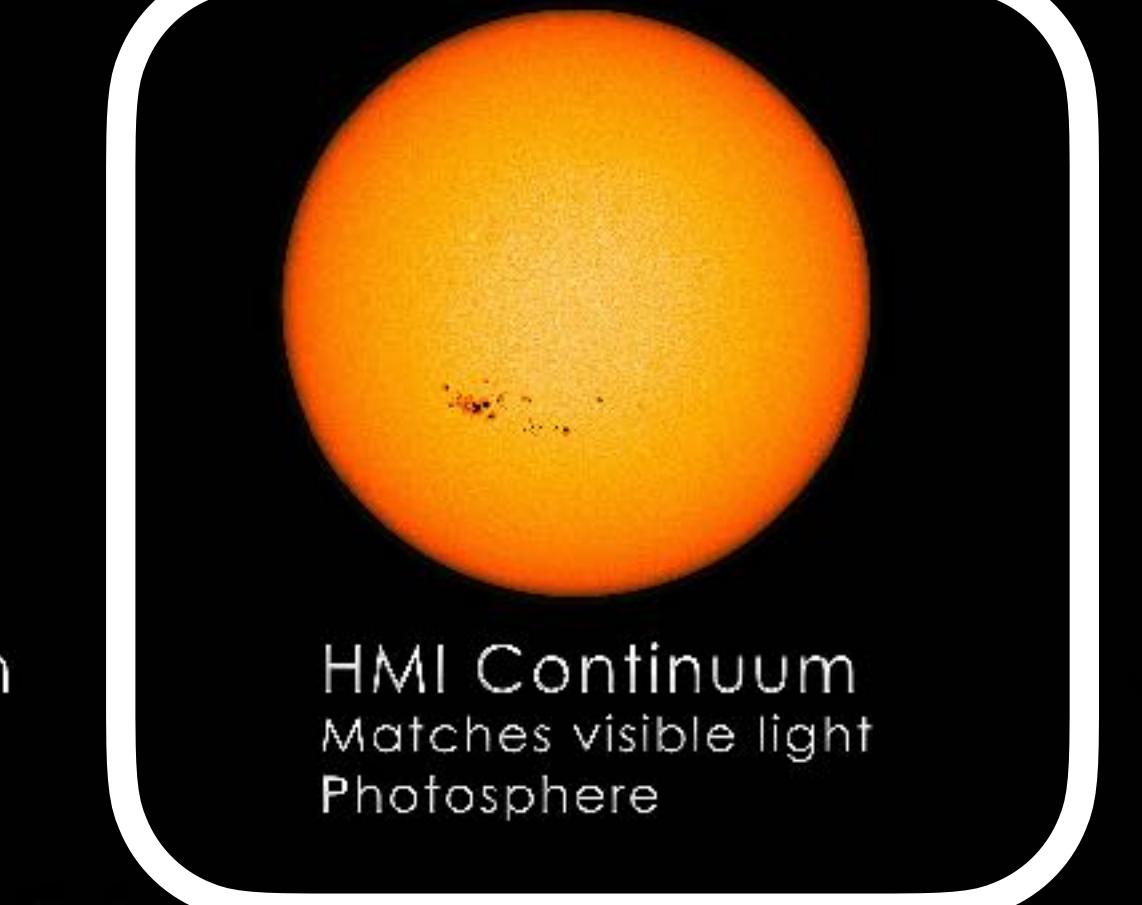
El Observatorio de Dinámica Solar (SDO) de la NASA muestra cómo las observaciones del sol en diferentes longitudes de onda ayudan a resaltar diferentes aspectos de la superficie y la atmósfera del sol.



HMI Dopplergram
Surface movement
Photosphere



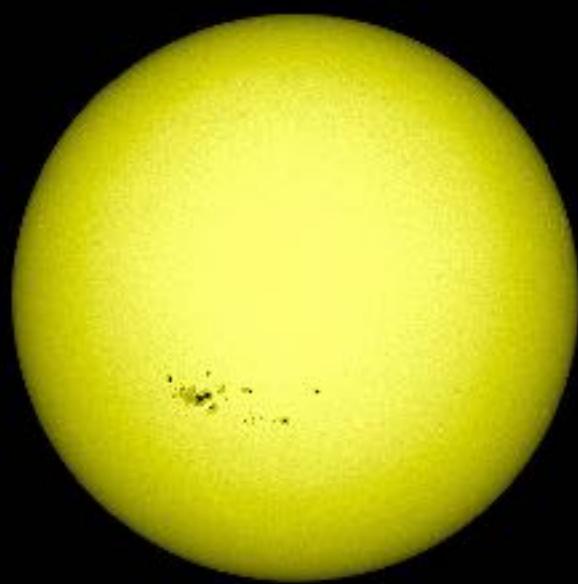
HMI Magnetogram
Magnetic field polarity
Photosphere



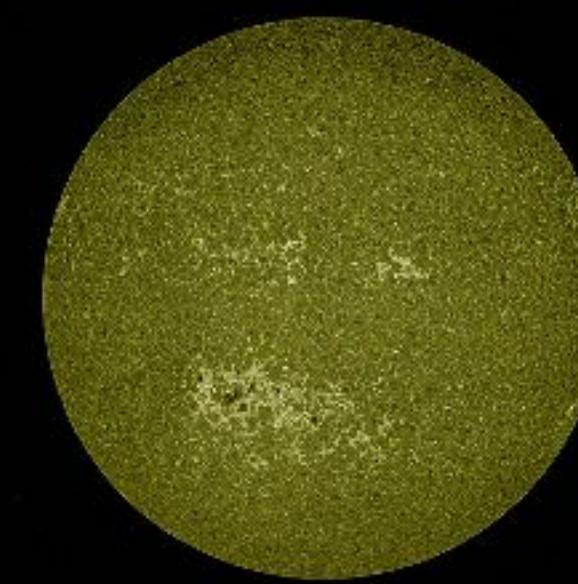
HMI Continuum
Matches visible light
Photosphere



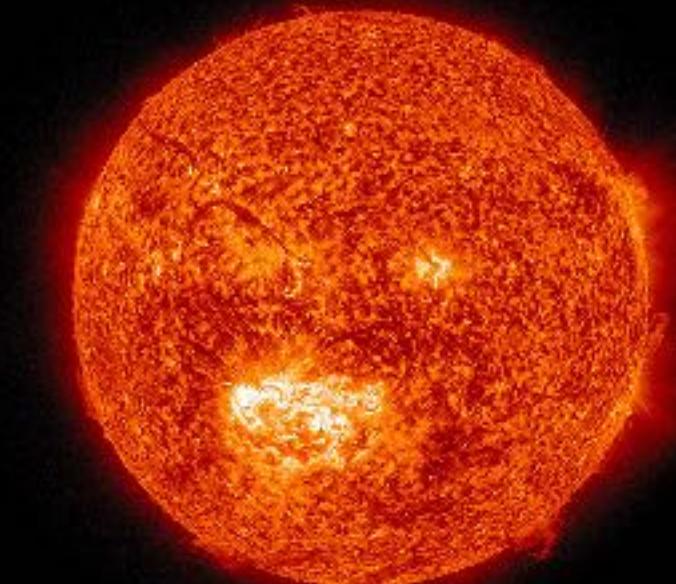
AIA 1700 Å
4500 Kelvin
Photosphere



AIA 4500 Å
6000 Kelvin
Photosphere



AIA 1600 Å
10,000 Kelvin
Upper photosphere/
Transition region



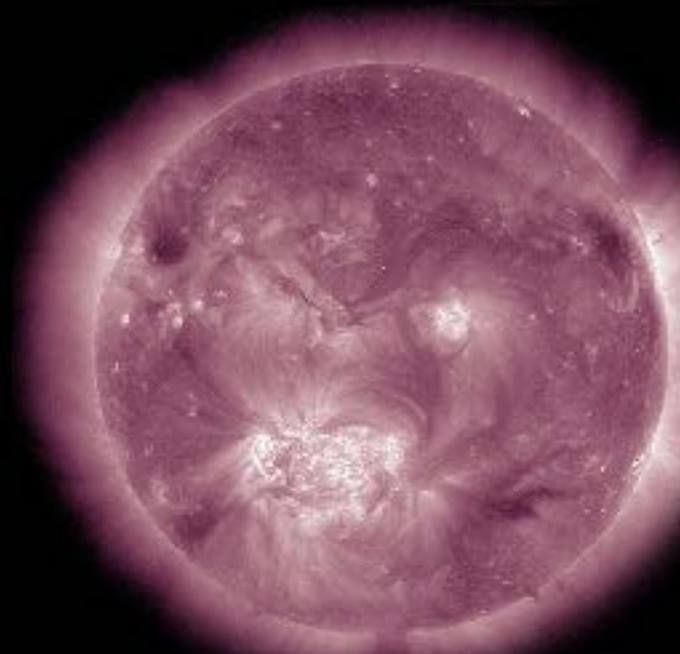
AIA 304 Å
50,000 Kelvin
Transition region/
Chromosphere



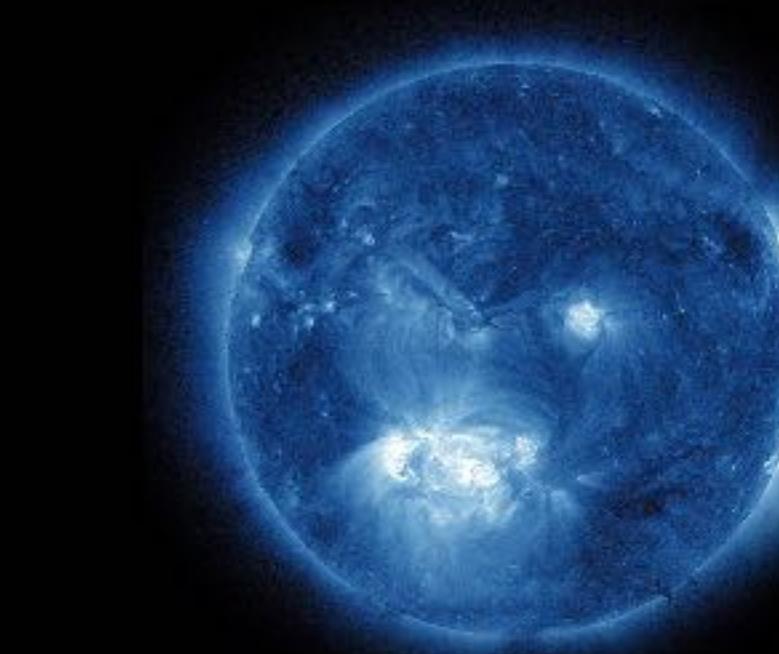
AIA 171 Å
600,000 Kelvin
Upper transition
Region/quiet corona



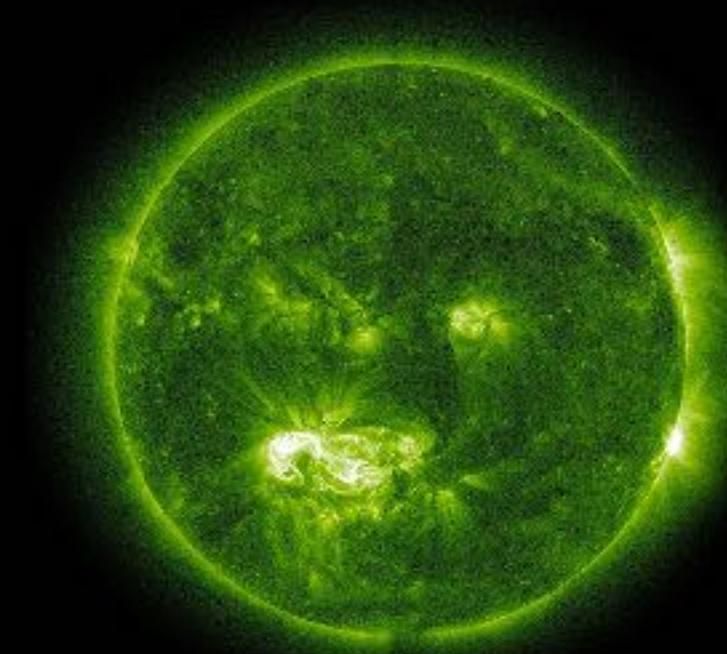
AIA 193 Å
1 million Kelvin
Corona/flare plasma



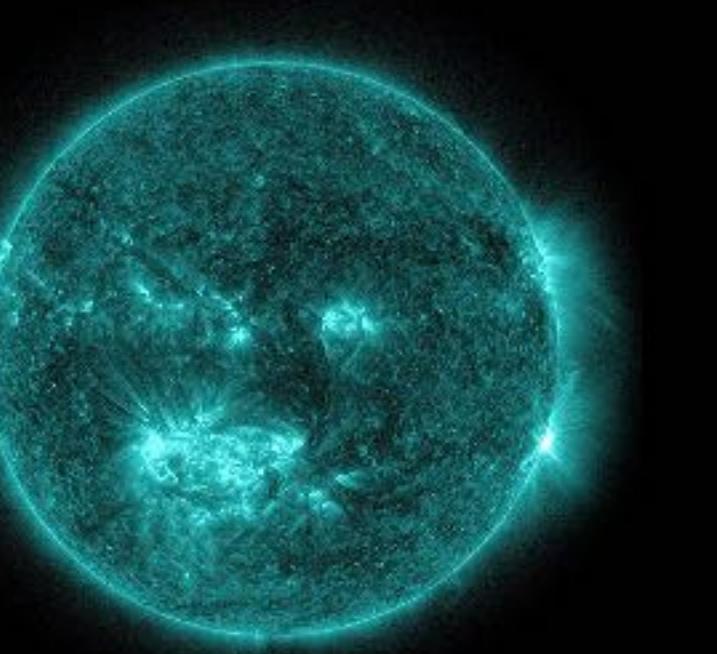
AIA 211 Å
2 million Kelvin
Active regions



AIA 335 Å
2.5 million Kelvin
Active regions



AIA 094 Å
6 million Kelvin
Flaring regions



AIA 131 Å
10 million Kelvin
Flaring regions

Radiación electromagnética

Dos tipos de mediciones:

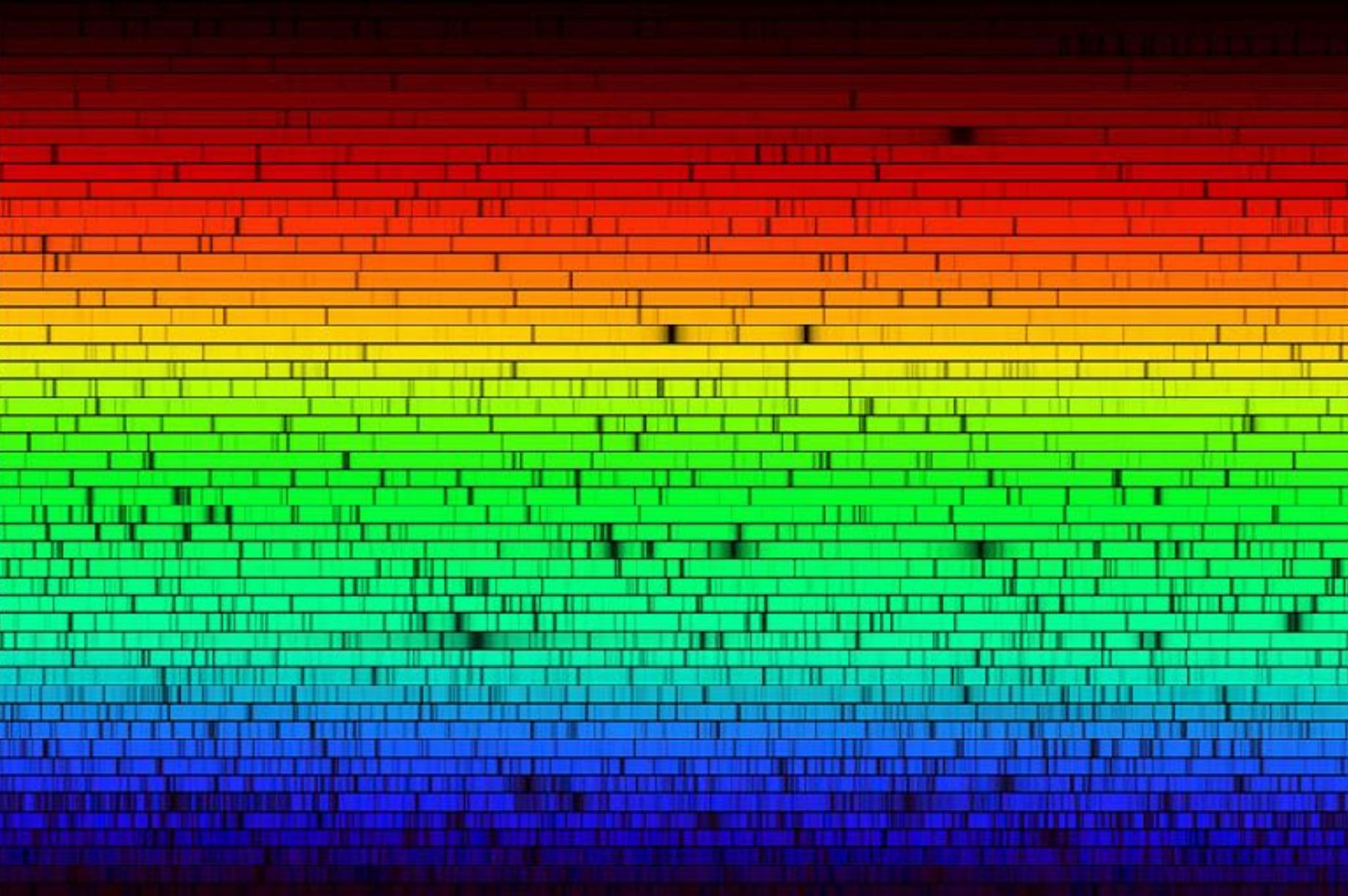
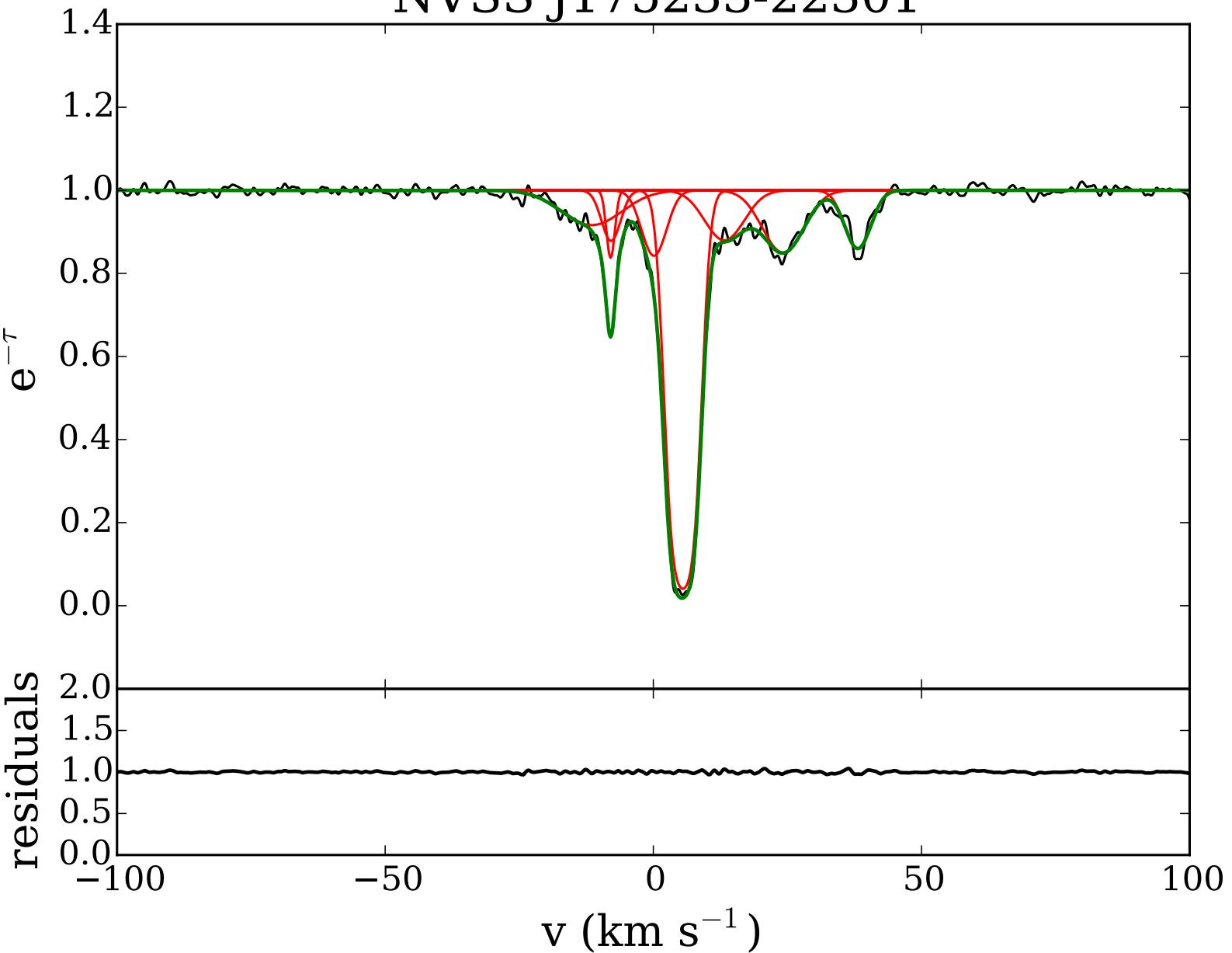
- Imagen
- Espectroscopia
- Brillo del objeto
- Forma del objeto



La galaxia M101

- Composición química
- Temperatura
- Densidad
- Movimiento

Espectro del Sol



Astronomía óptica

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

Astronomía óptica

Telescopios antiguos tenían lentes

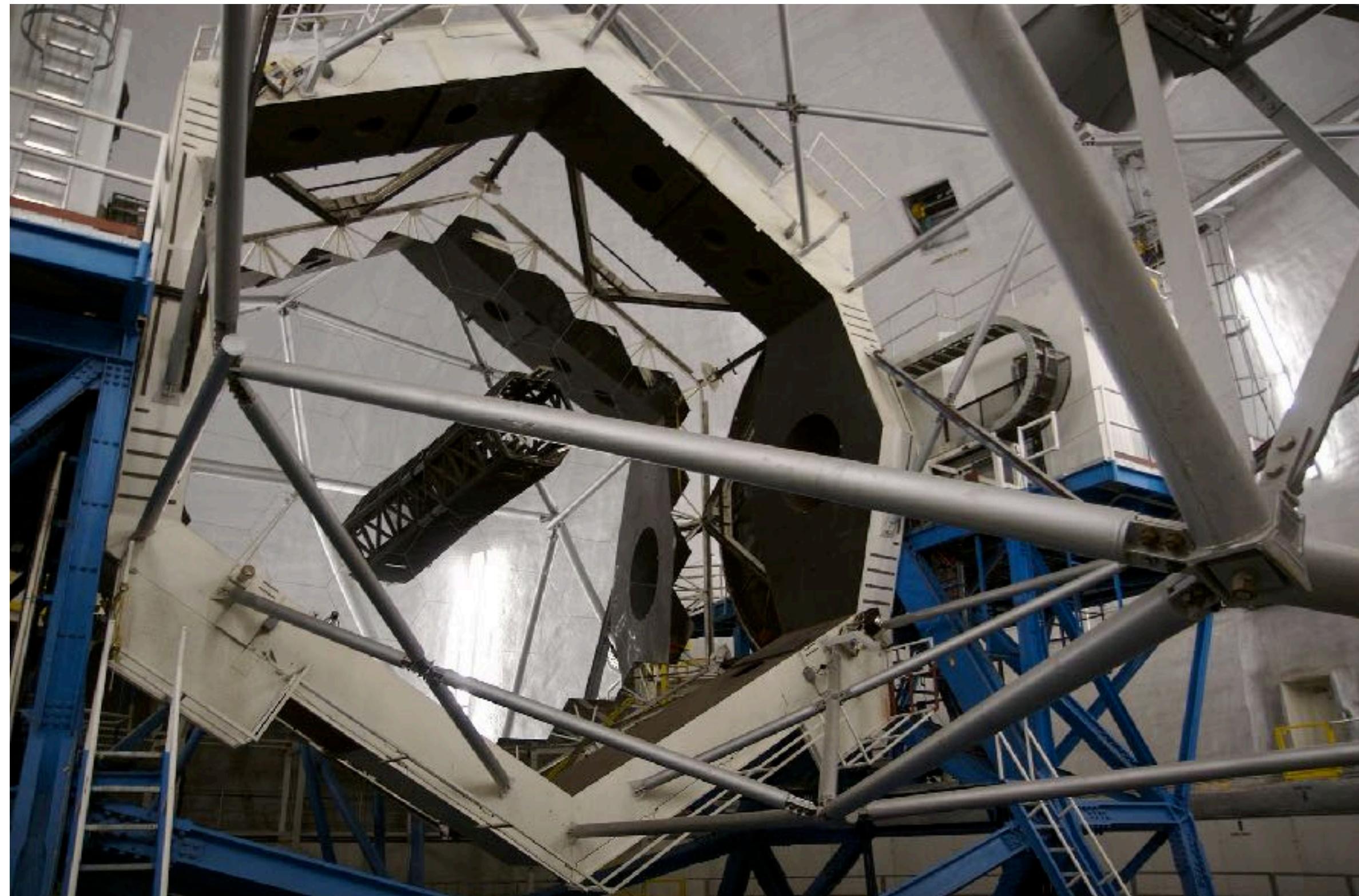
Telescopios modernos tienen espejos, para una mejor resolución y sensibilidad

El telescopio Keck, con un espejo de 10 m, hecho de segmentos hexagonales

Resolución angular de un telescopio: $\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$



D es el diámetro del espejo o la lente,
λ es la longitud de onda



Astronomía óptica

Los telescopios ópticos más grandes hasta la fecha tienen **espejos de $\sim 10\text{ m}$**

- GTC (Gran Canaria Telescope (Spain, Canary Islands))
- Subaru (USA, Hawaï)
- Keck (USA, Hawaï)
- HET (Hobby-Eberly Telescope (USA))
- LBT (Large Binocular Telescope (USA))
- VLT (Very Large Telescope (Chile))
- SALT (Southern African Large Telescope)
- Gemini (USA, Hawaï + Chile)

- Los **observatorios más grandes** (mejor ubicación) son:
- **Islas Canarias** (España)
- **Hawaí** (EE. UU.)
- **Desierto de Atacama** (Chile)

Altas montañas cercanas al mar con flujo de aire estable



Astronomía óptica

Hubble Deep field - lots of galaxies



https://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Deep_Field

Milky Way with VLT telescope



https://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way

Radioastronomía

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

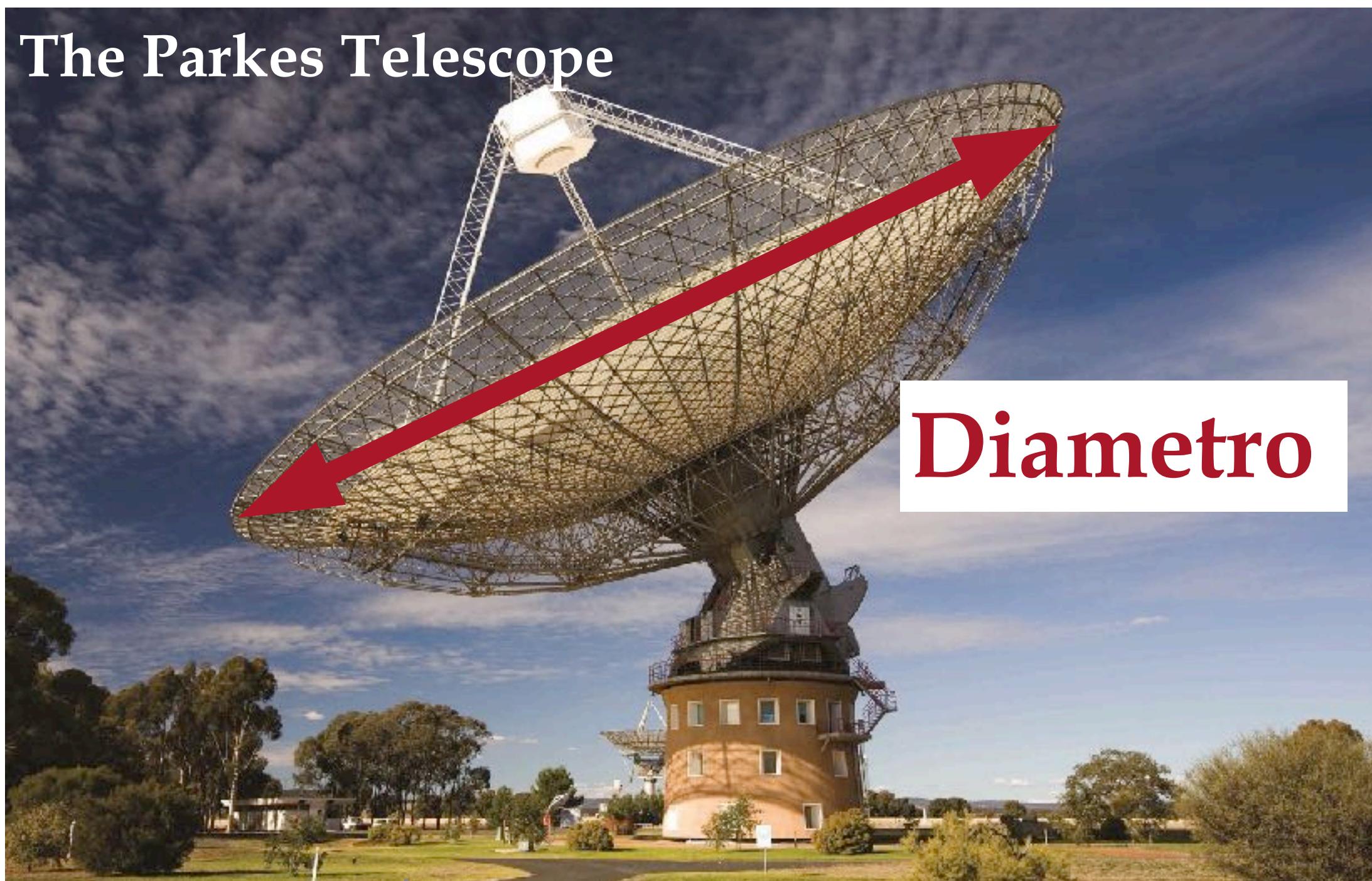
Radioastronomía

La resolución de un telescopio depende de su tamaño y de la longitud de onda de la luz que se observa.

- Esto es bueno para longitudes de onda cortas, como los telescopios ultravioleta u ópticos.
- Pero desafortunado para los radiotelescopios.

Telescopio de antena única:

Resolución: ~ Diametro



Interferómetros:

Resolución: ~ distancia entre telescopios



Radioastronomía

Los telescopios con forma de plato se utilizan normalmente para ondas de centímetros y milímetros.

Effelsberg (Alemania)



Parkes Telescope (Australia)



FAST: The Five Hundred Meter Aperture Telescope (China)



Radioastronomía - Interferómetros

Very Large Array (VLA, EE. UU.)



The Australia Telescope Compact Array (ATCA, Australia)



Calcular la resolución de un telescopio

El Radiotelescopio Gigante de Ondas Metrícias (GMRT), cerca de Pune, cuenta con varias antenas distribuidas en una región de unos 10 km.

Estime la resolución (en segundos de arco) que se espera que tenga este telescopio. **¿Qué tamaño debe tener un telescopio óptico para lograr una resolución similar en luz visible?**

Nota: Debe convertir radianes a segundos de arco.



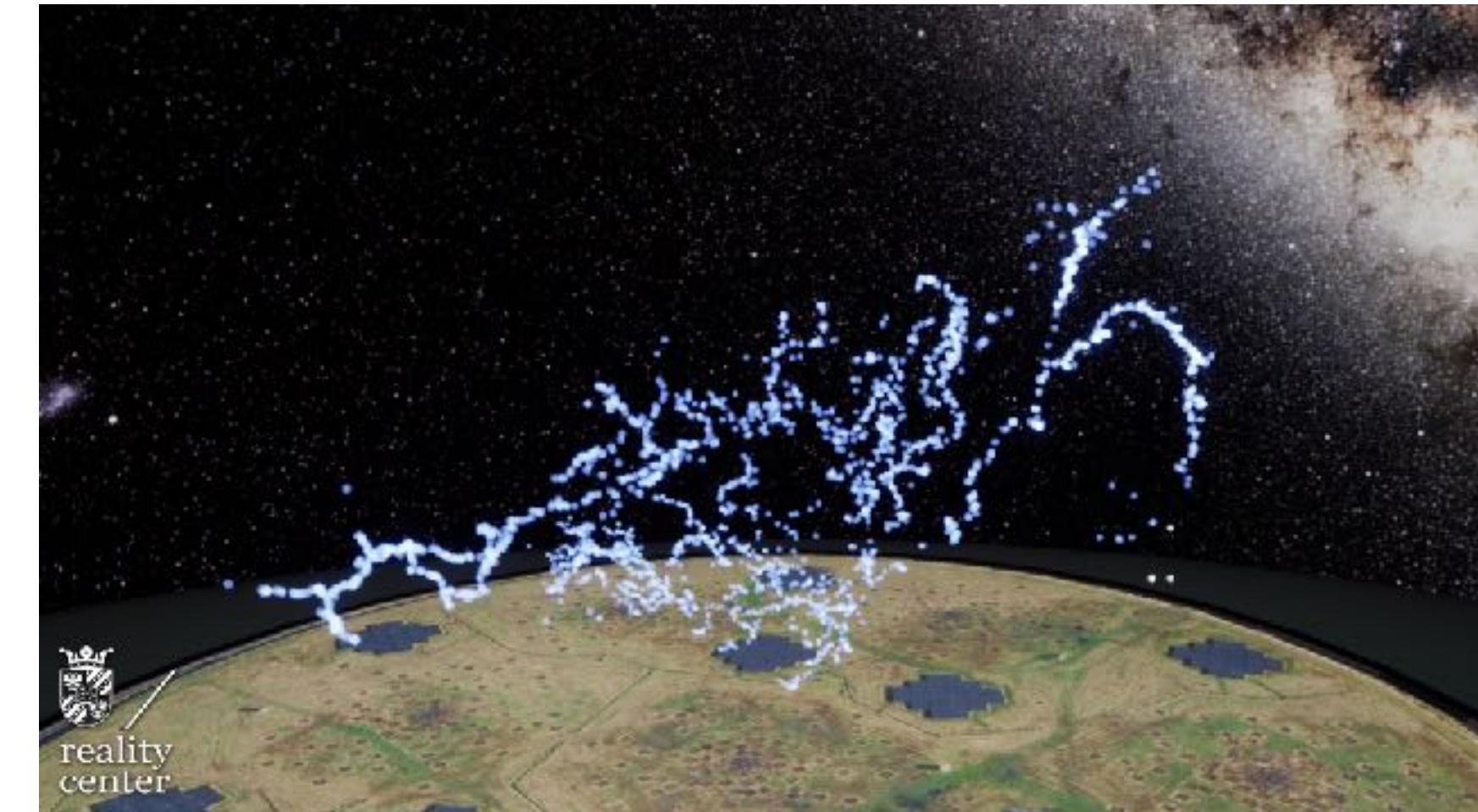
$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Interferómetros

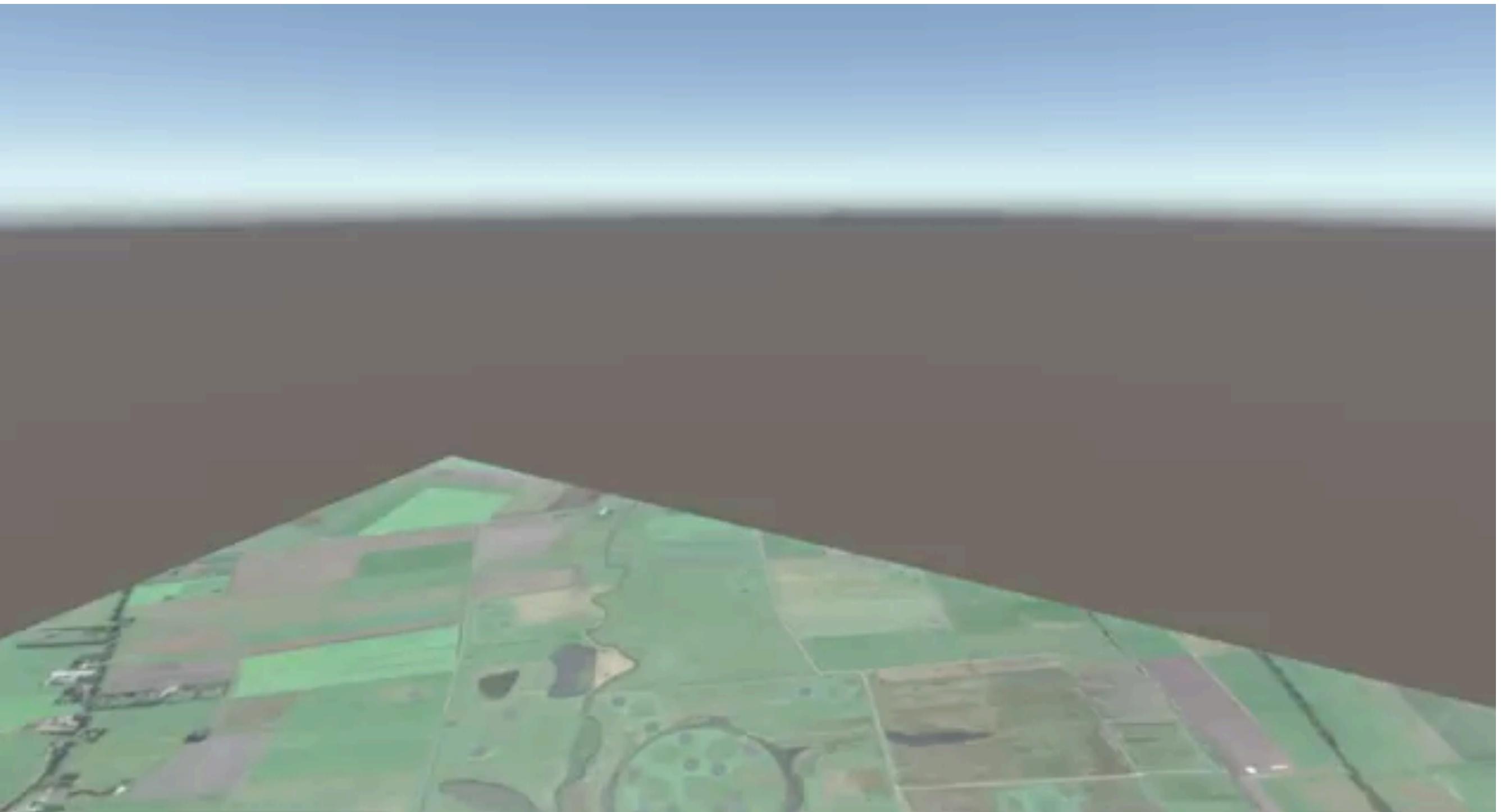
¿Existen radiotelescopios de diferentes formas?

Interferómetros

Para las ondas m se utilizan palos de metal o alambres de metal.
Piense en las antenas de radio de los automóviles.



LOFAR (Low Frequency ARray, Holanda)



Midiendo la **trayectoria del rayo**.

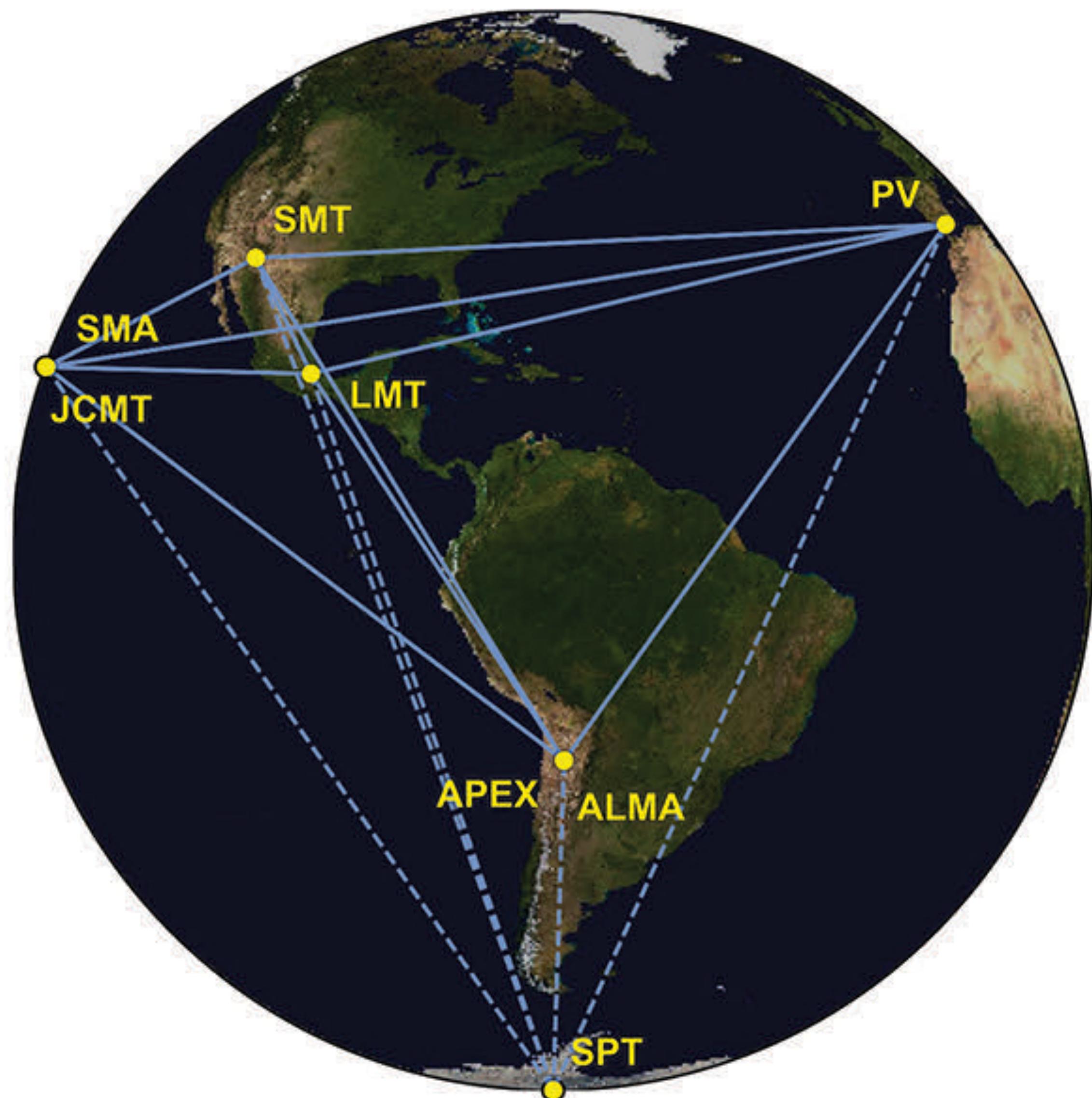
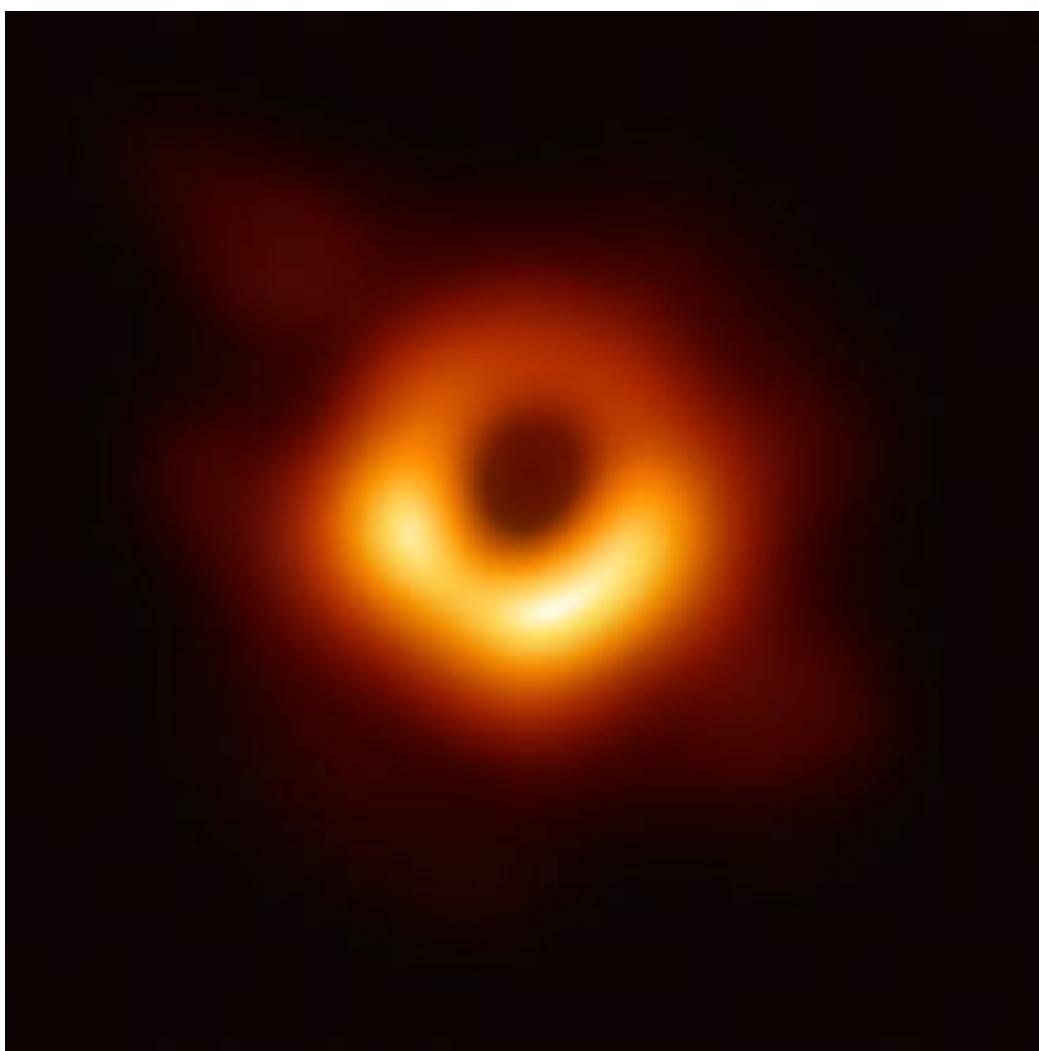
Interferómetros

Event Horizon Telescope

Interferometría de Línea de Base Muy Larga (VLBI)

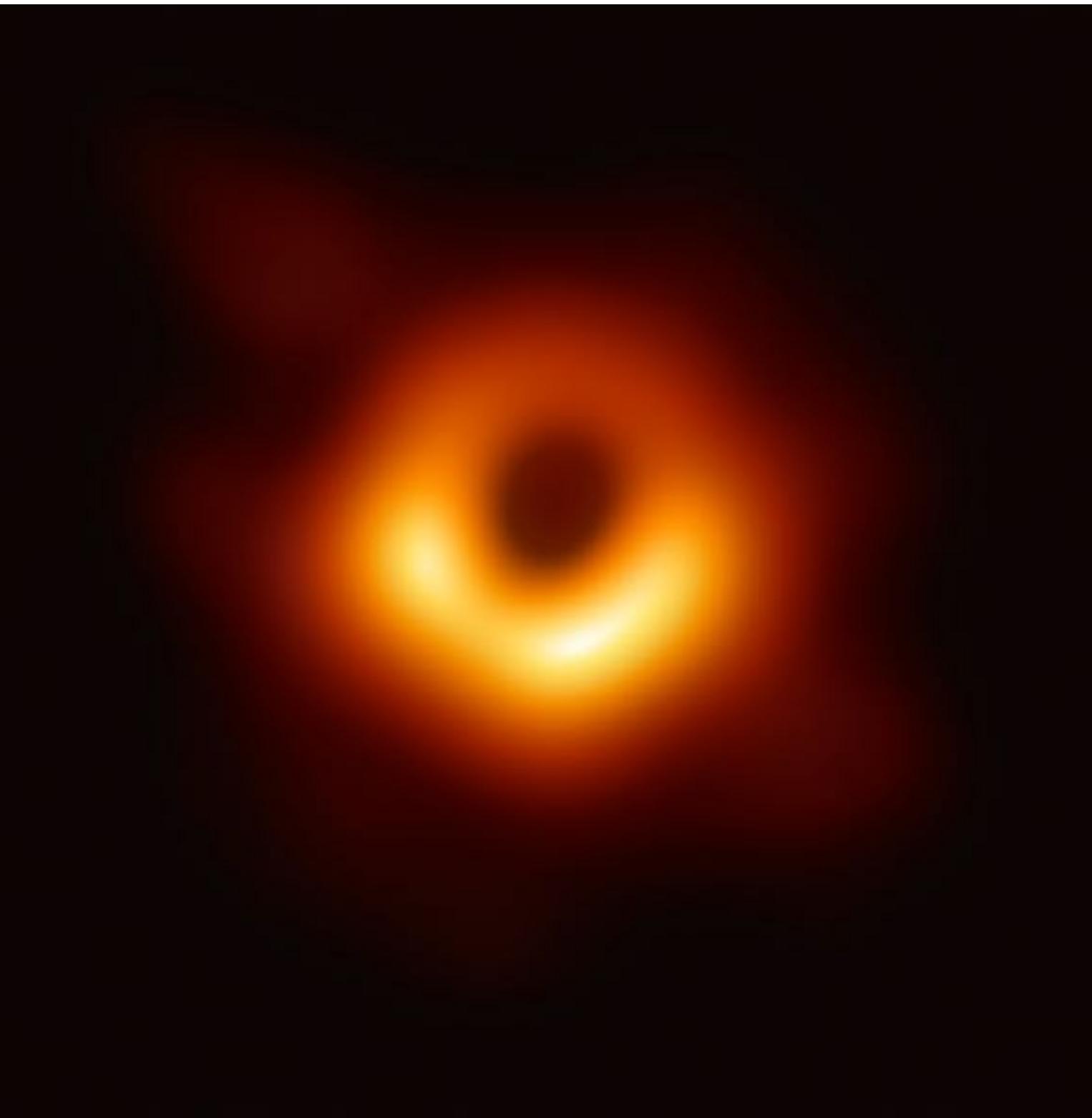
- Interferometría de radio con **telescopios en diferentes continentes**
- VLBI espacial, incluyendo un telescopio en un satélite
- Puede alcanzar líneas de base de la distancia Tierra-Luna

El satélite Radio-Astrón

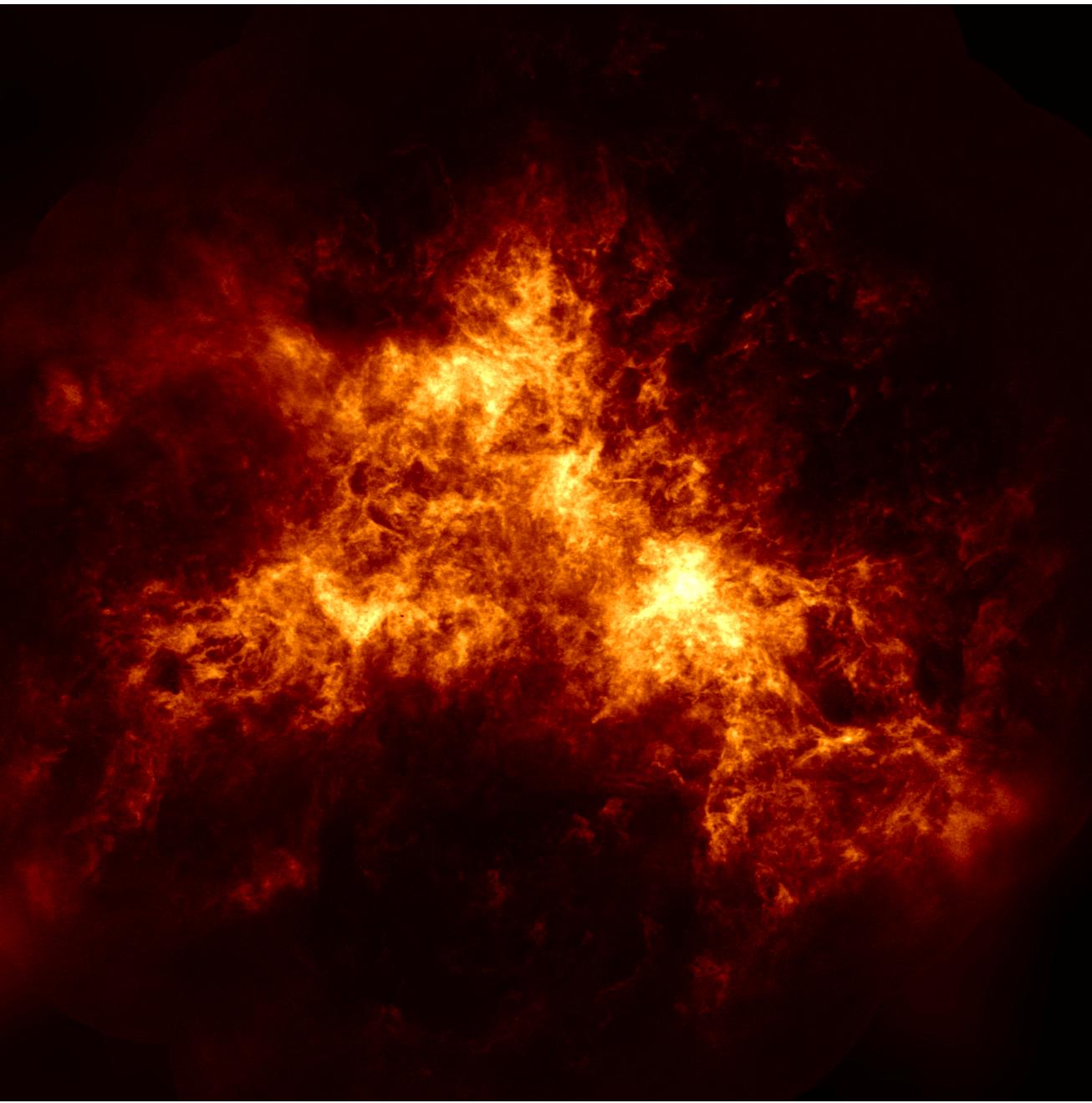
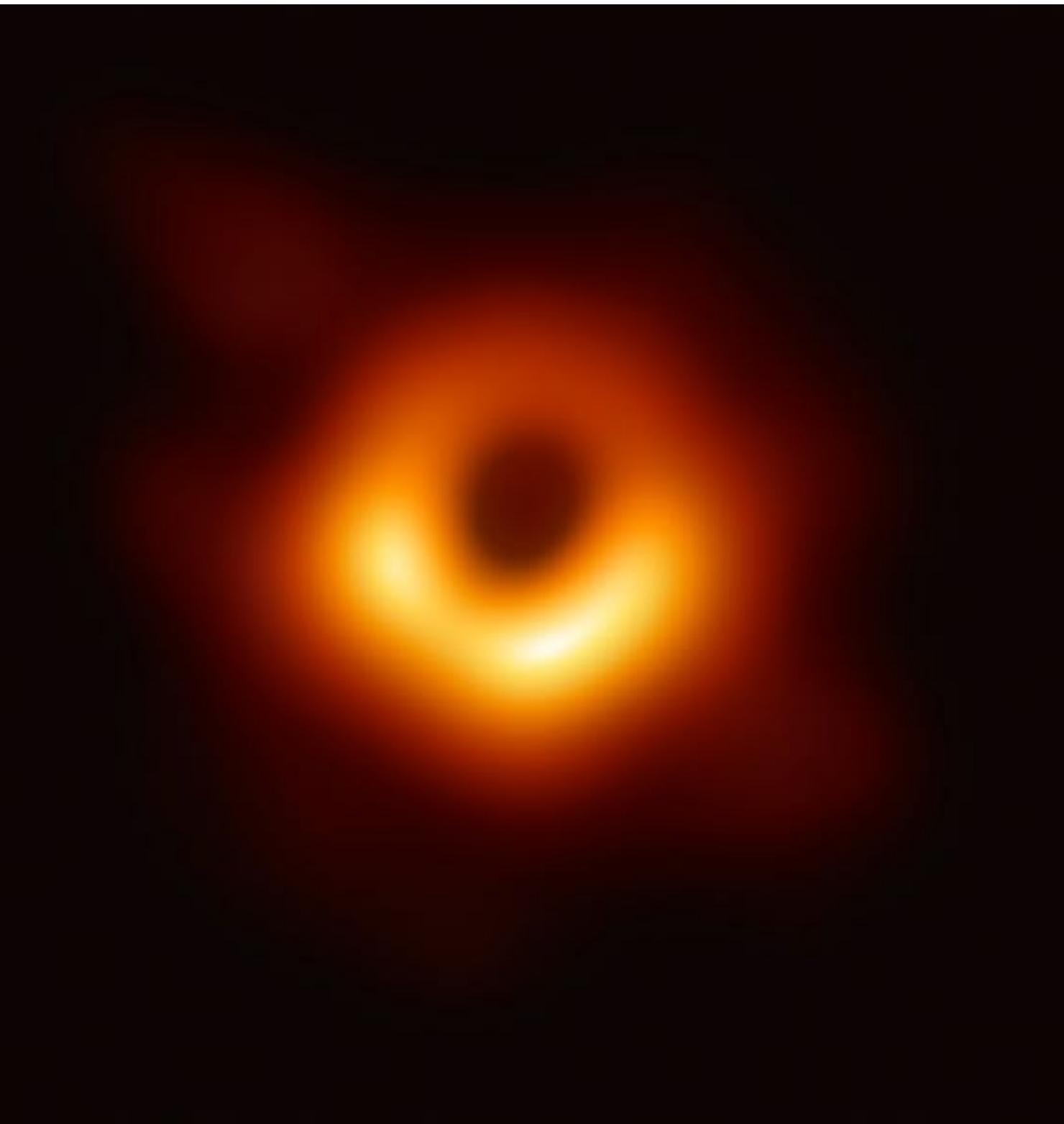


Interferómetros

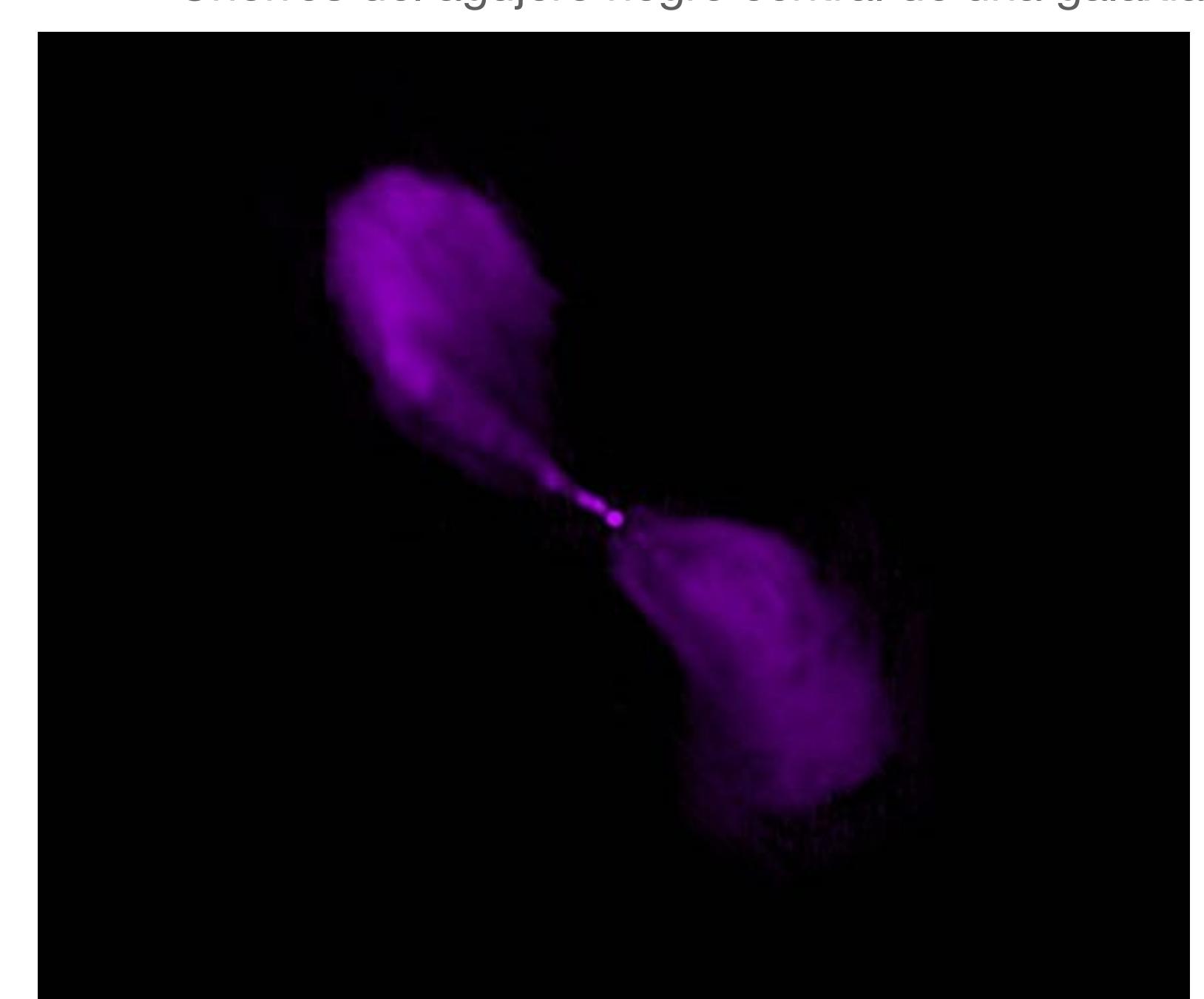
Hidrógeno en la galaxia de Pequeña Nube de Magallanes



Disco de acreción de un agujero negro



Gas molecular (CO) en la Vía Láctea



Asteroide doble



(226514) 2003 UX34

05 Jan 2017

Chorros del agujero negro central de una galaxia

Astronomía infrarroja

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

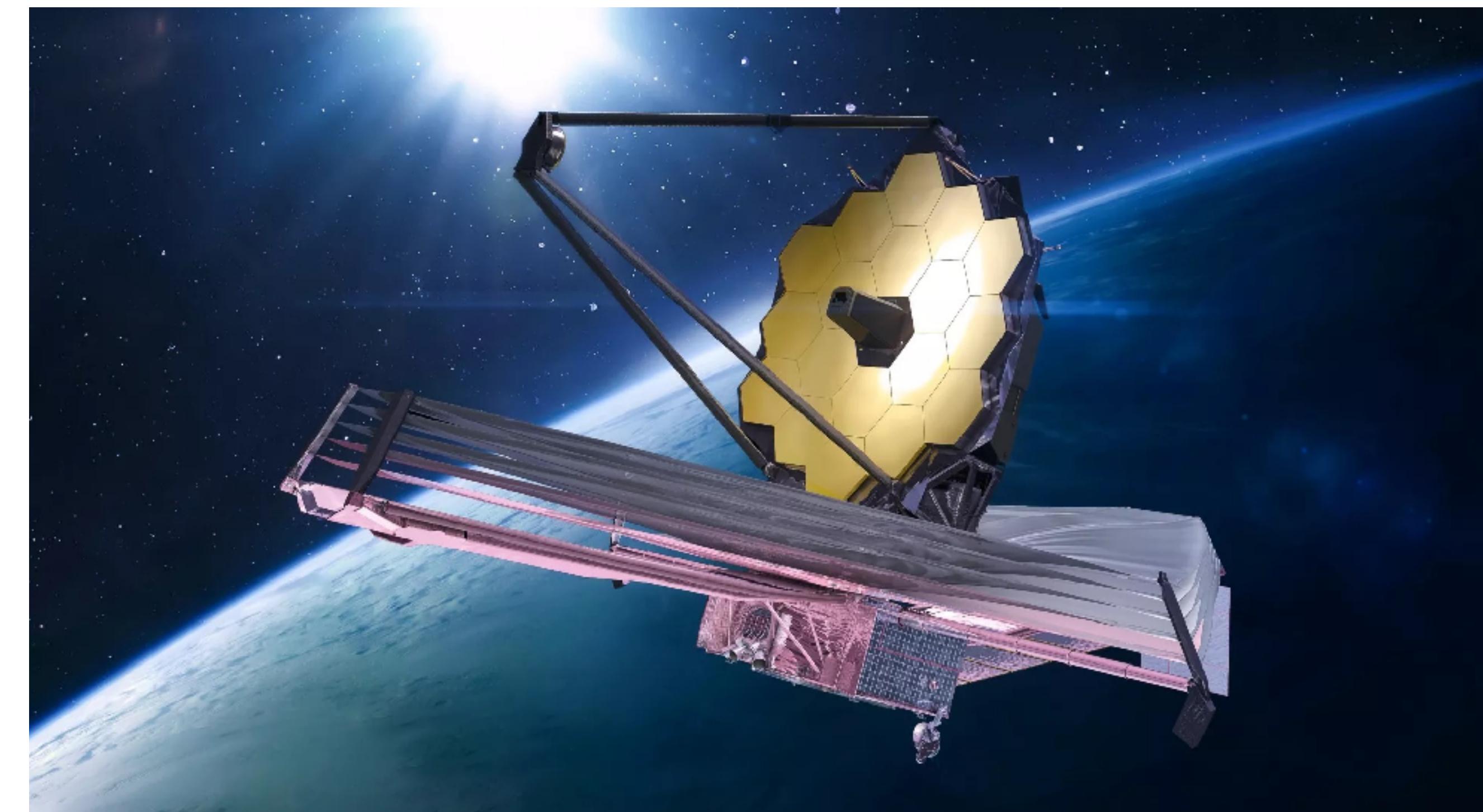
Astronomía infrarroja

- Los telescopios en alta montaña permiten observar en el infrarrojo cercano.
- Observatorios en aviones: Observatorio SOFIA
- Observatorios espaciales: Telescopio Espacial James Webb (JWST).

Observatorio SOFIA



Telescopio Espacial James Webb (JWST)



Astronomía infrarroja

- Fuentes: polvo interestelar, estrellas viejas, restos de supernovas



Imagen de vientos estelares que crean arcos de choque alrededor de una estrella gigante.

Imagen de la galaxia de Andrómeda: estrellas y polvo (oscuros partes)



Imagen de la galaxia de Andrómeda: emisión de **polvo frío**



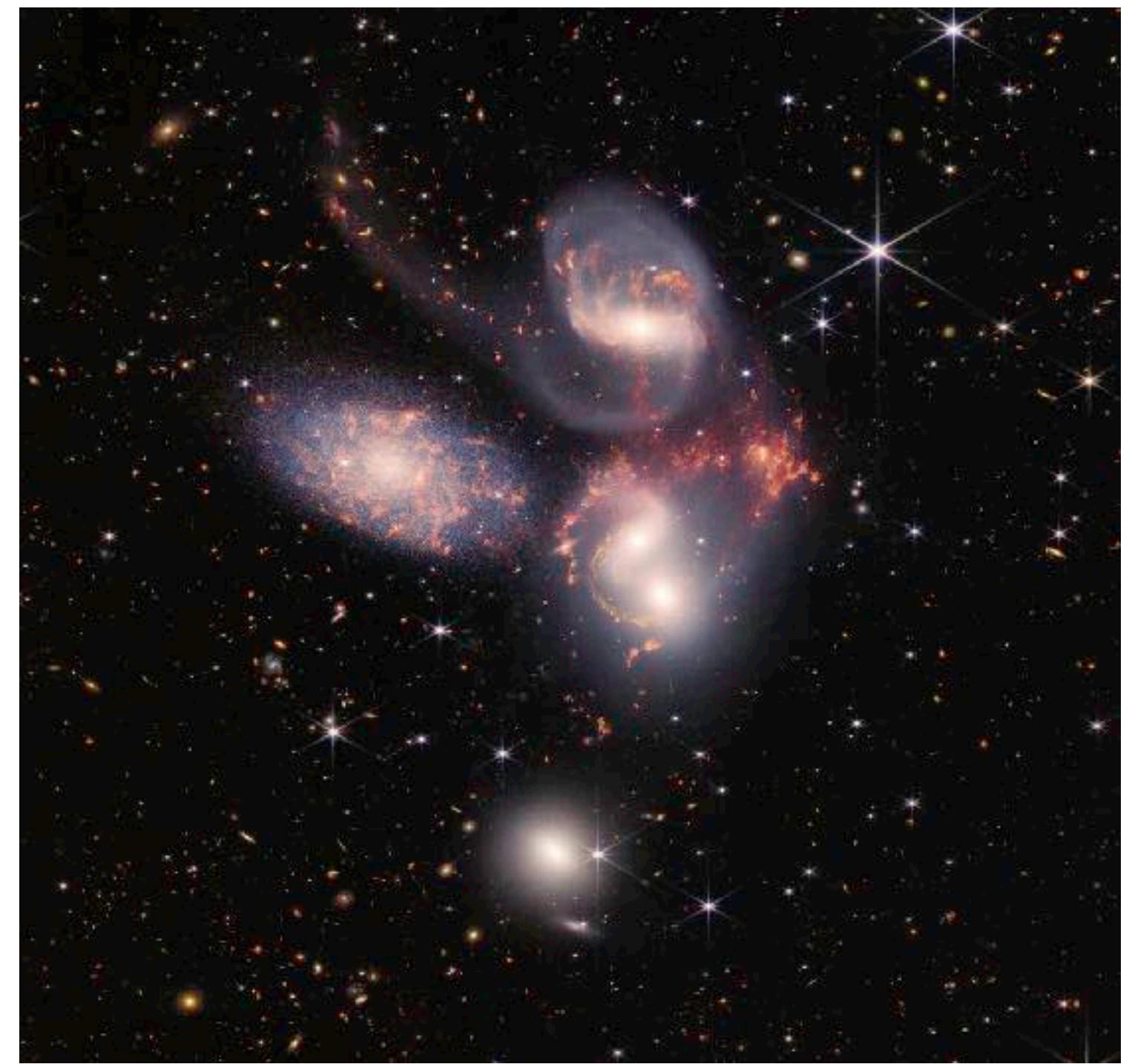
Astronomía infrarroja

- Imágenes del nuevo telescopio JWST



Galaxias muy lejanas

Polvo en galaxias



Polvo en el medio interestellar



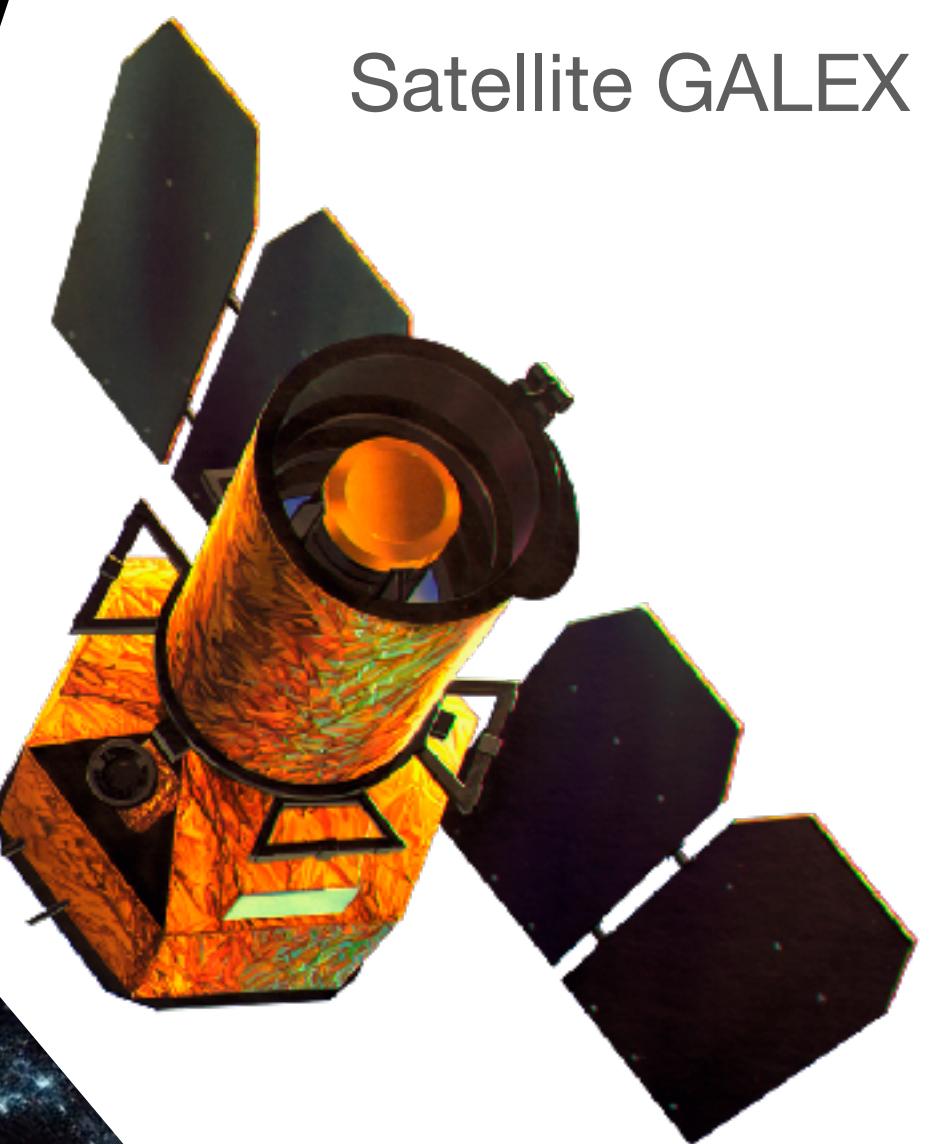
Astronomía UV

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

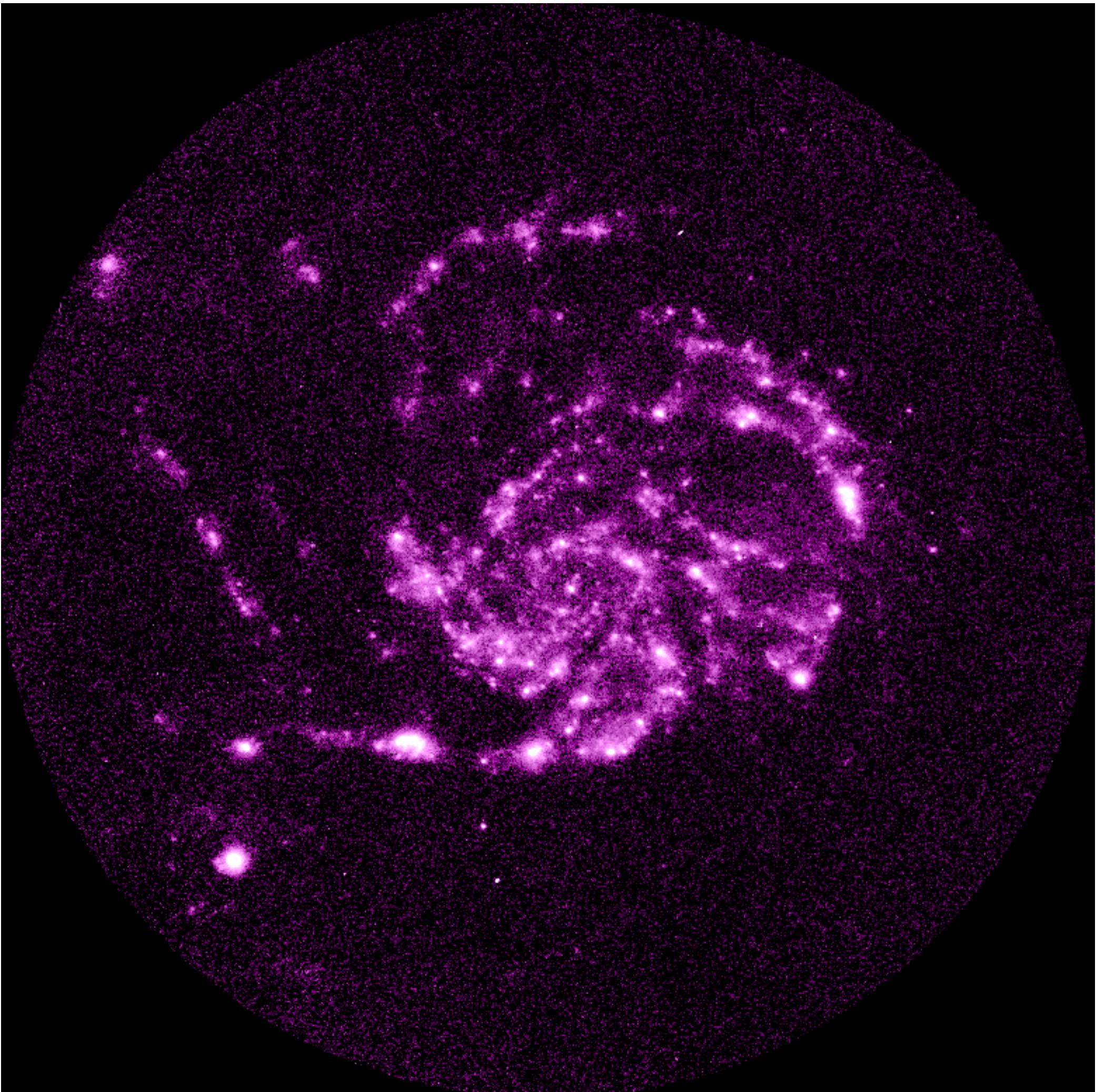
Astronomía UV

Satellite GALEX

Imagen óptica



Estrellas jóvenes en la galaxia M101 - Imagen UV



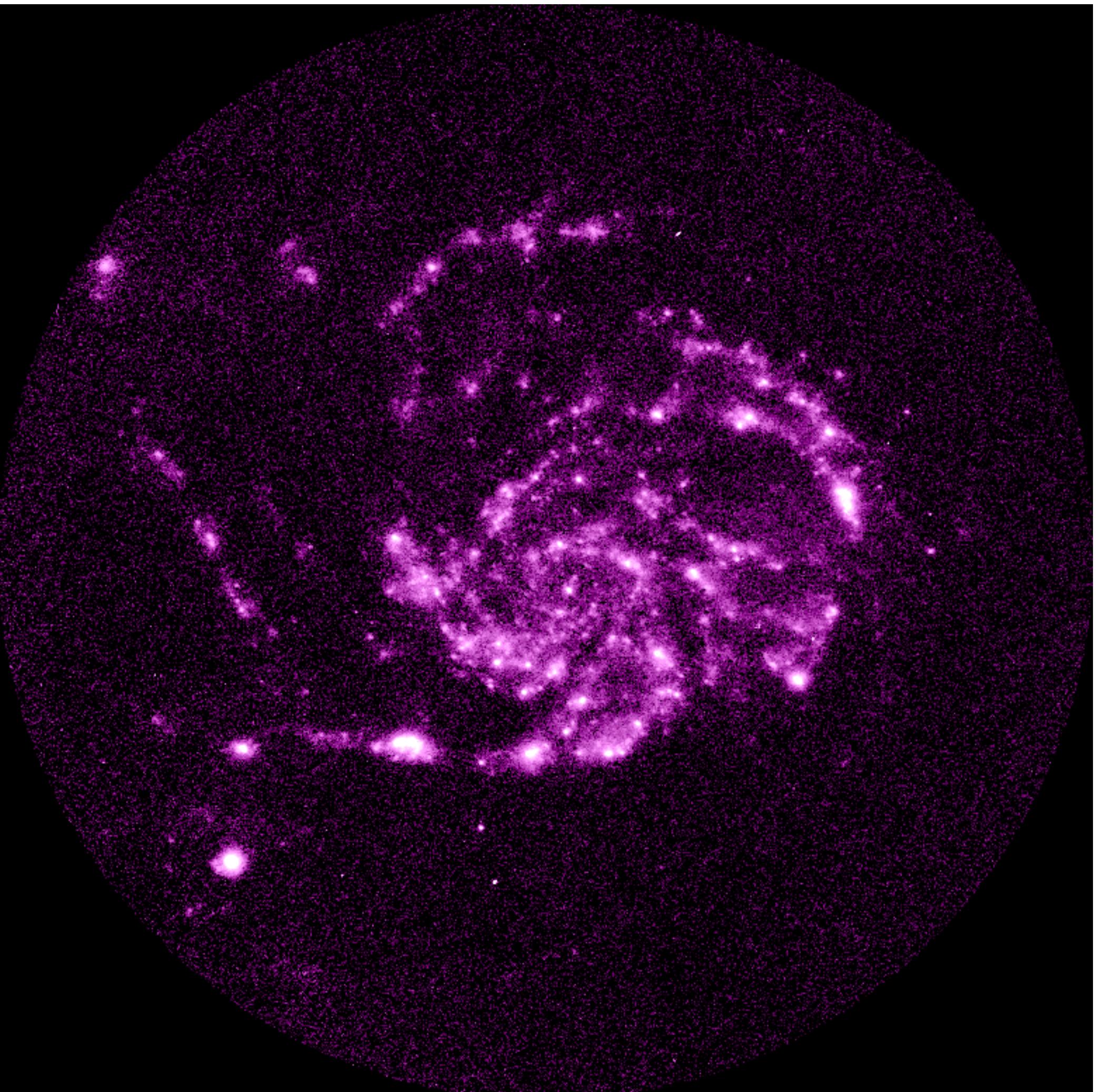
Astronomía UV

La mayoría de las estrellas emiten gran parte de su radiación electromagnética en la parte visible o infrarroja cercana del espectro.

La radiación ultravioleta es la característica de los objetos más calientes, como algunas estrellas masivas muy jóvenes y otras muy viejas.

Las observaciones UV también pueden proporcionar información esencial sobre la evolución de las galaxias.

Estrellas jóvenes en la galaxia M101 - Imagen UV



Astronomía UV

Los observatorios solares espaciales, como SDO y SOHO, utilizan telescopios ultravioleta para **observar la actividad del Sol y su corona**. Los satélites meteorológicos, como la serie GOES-R, también incorporan telescopios para observar el Sol en ultravioleta.

El **Telescopio Espacial Hubble** y FUSE han sido los principales telescopios espaciales más recientes en observar el espectro ultravioleta cercano y lejano del cielo, aunque otros instrumentos ultravioleta también han volado en observatorios más pequeños, como **GALEX**.

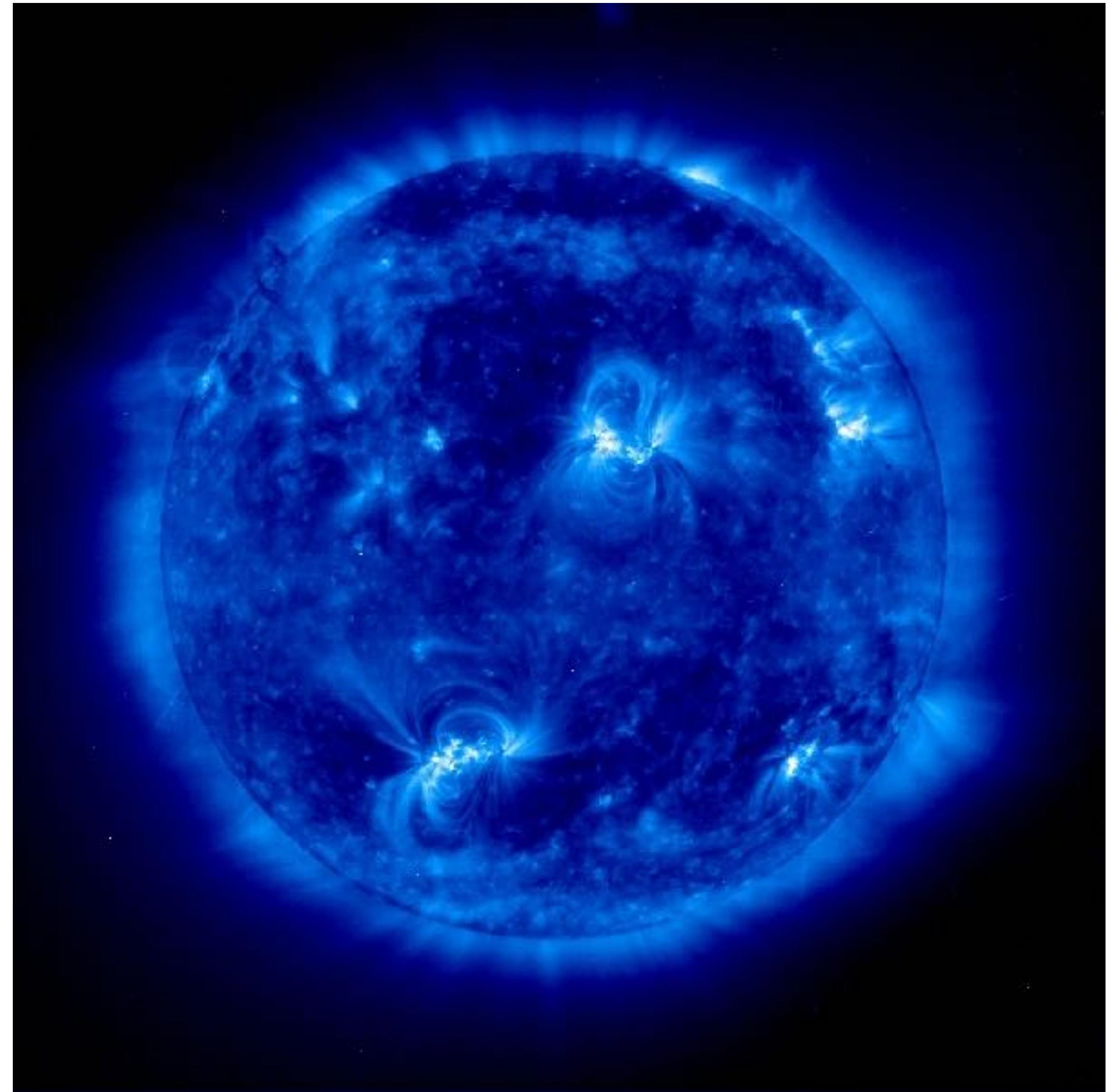


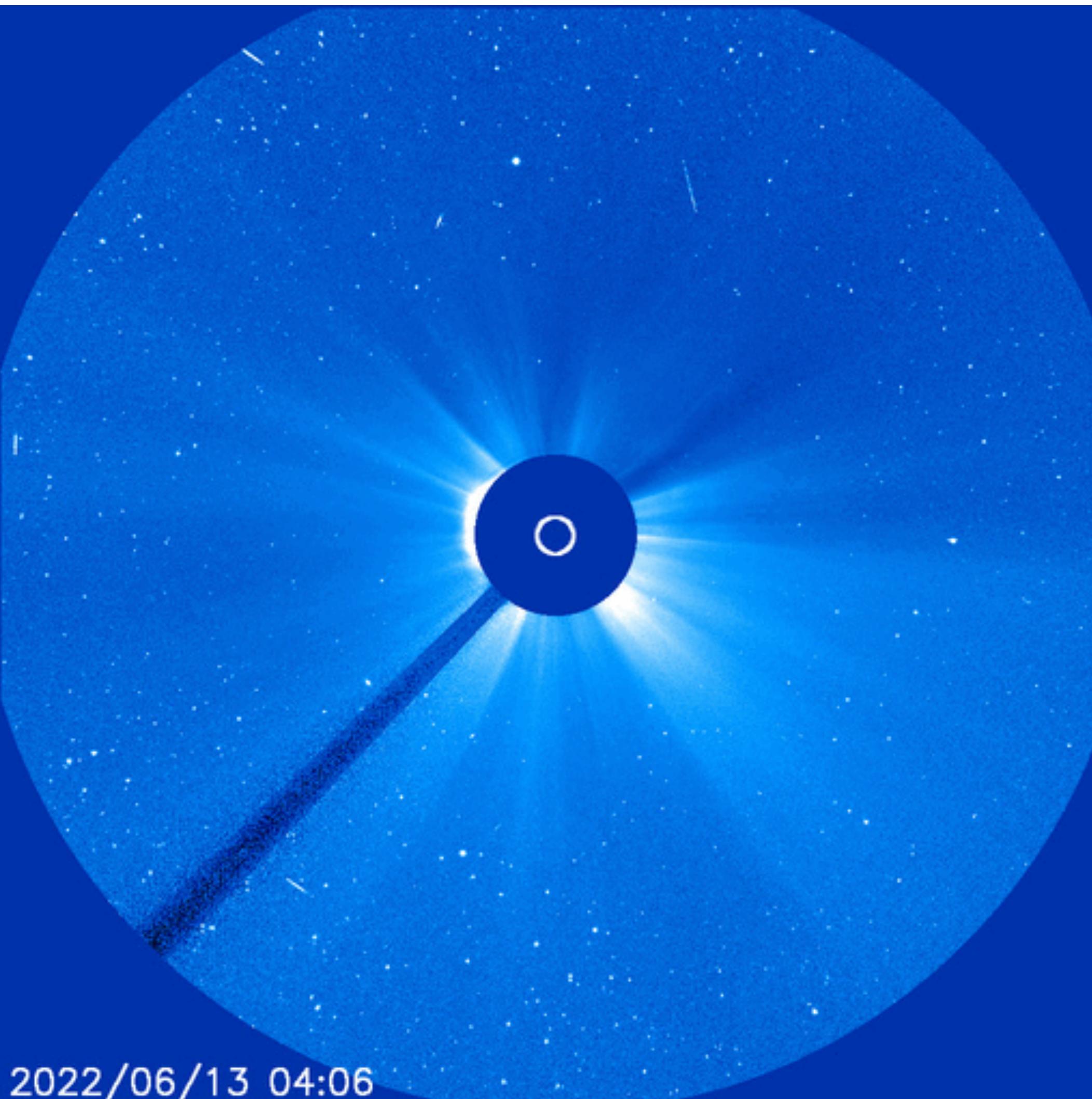
Imagen de SOHO-EIT en **ultravioleta extremo** que muestra la **corona solar** a una **temperatura de aproximadamente 1 millón de K**. Esta imagen se tomó el 11 de septiembre de 1997. Está dominada por dos grandes sistemas de regiones activas, compuestos por numerosos **bucles magnéticos**.

Astronomía UV

La corona del sol y una CME.

Los observatorios solares espaciales, como SDO y SOHO, utilizan telescopios ultravioleta para **observar la actividad del Sol y su corona**. Los satélites meteorológicos, como la serie GOES-R, también incorporan telescopios para observar el Sol en ultravioleta.

Una eyeción de masa coronal (CME) es una eyeción significativa de masa de plasma de la corona solar.



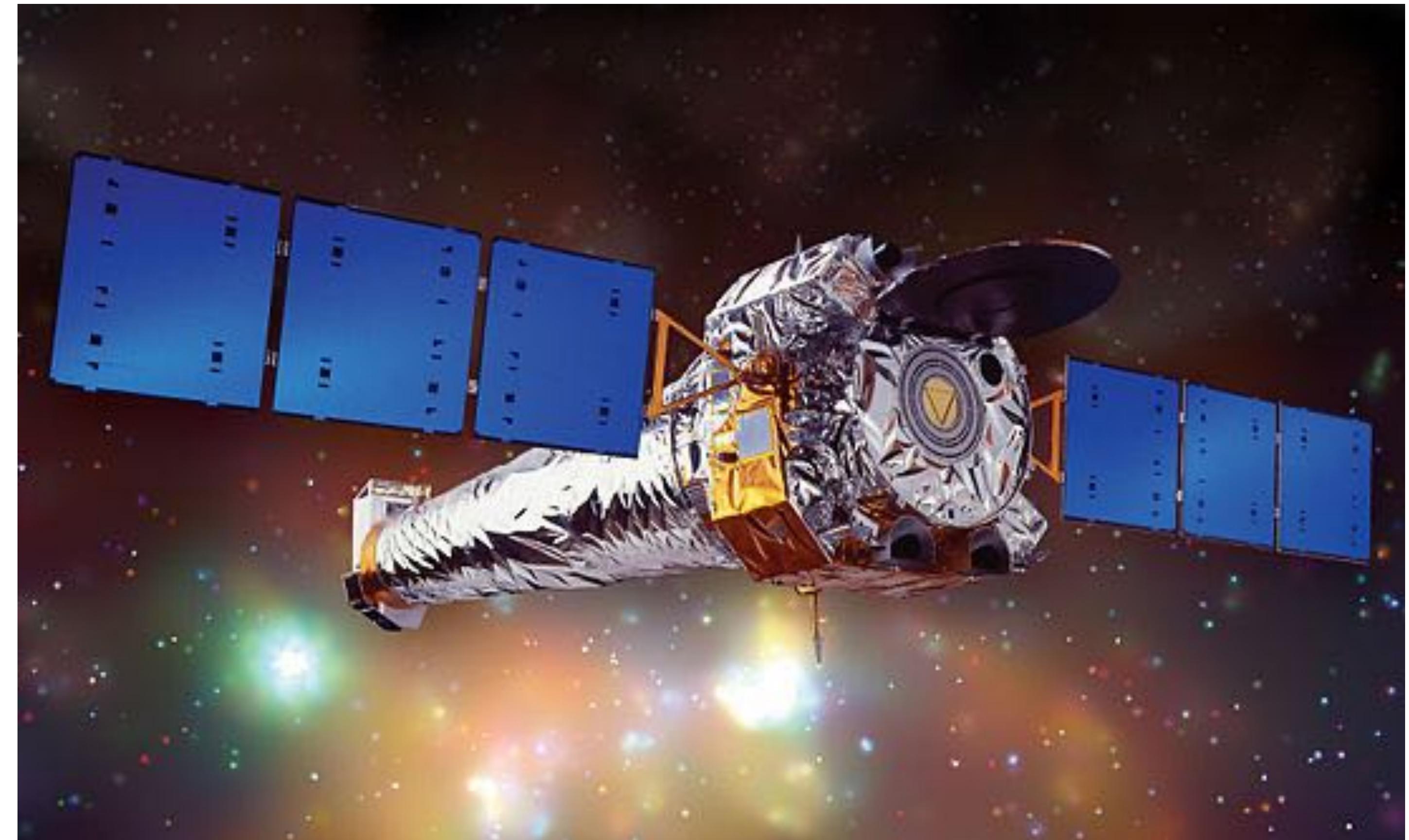
Astronomía de rayos X

**¿Cómo se detectan?
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?**

Astronomía de rayos X

- Solo detectable por encima de la atmósfera: experimentos con globos y satélites.
- Ejemplos: ROSAT, Chandra, XMM-Newton

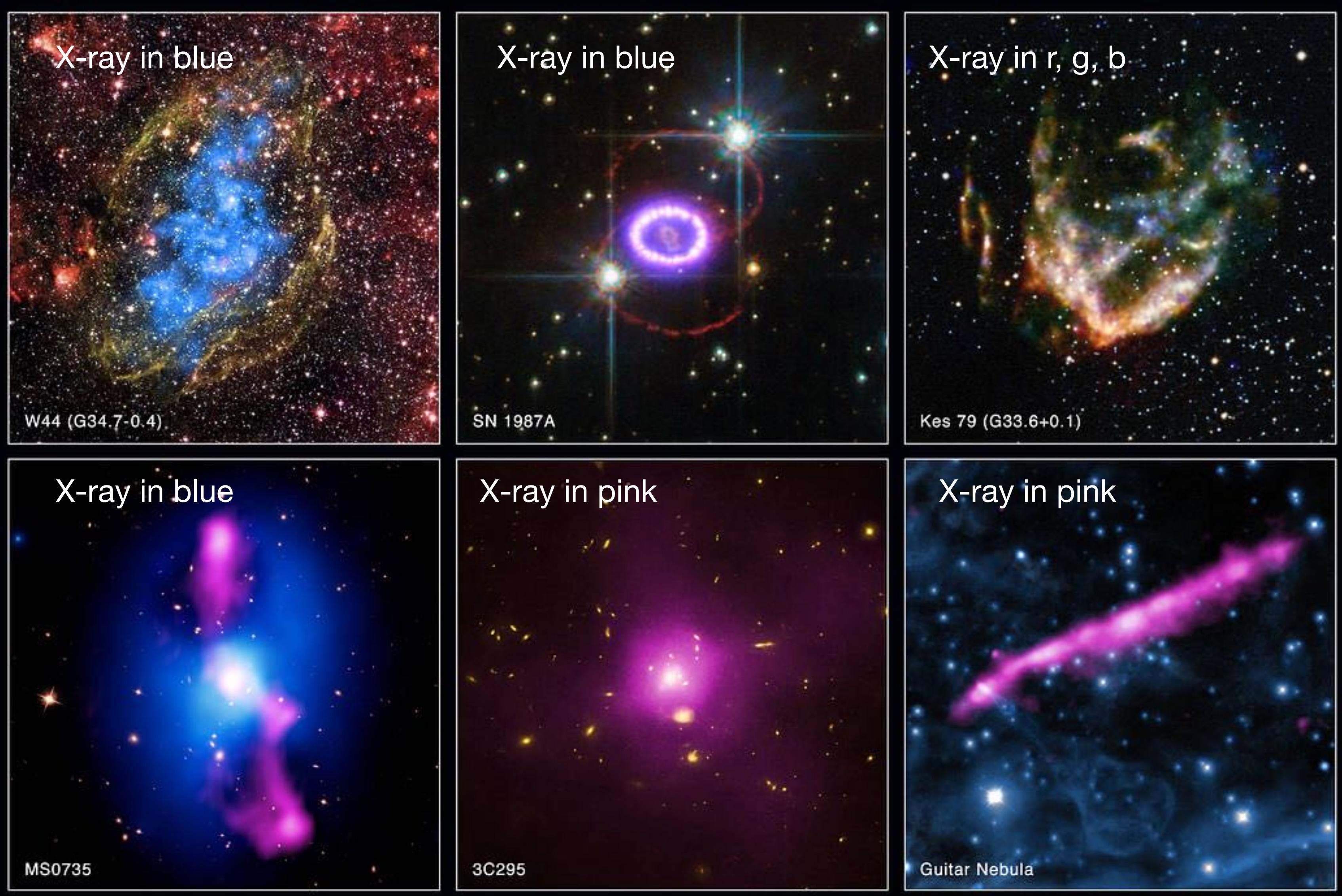
Chandra X-ray telescope



Astronomía de rayos X

- Fuentes: plasma caliente (millones de K)
- Ejemplos:
- el Sol,
- remanentes de supernova,
- materia intracúmulo en cúmulos de galaxias,
- agujeros negros en los centros de las galaxias,
- estrellas binarias en acreción,
- sistemas binarios de estrellas de neutrones o agujeros negros.

Imágenes compuestas con datos de rayos X de Chandra



Astronomía de rayos X

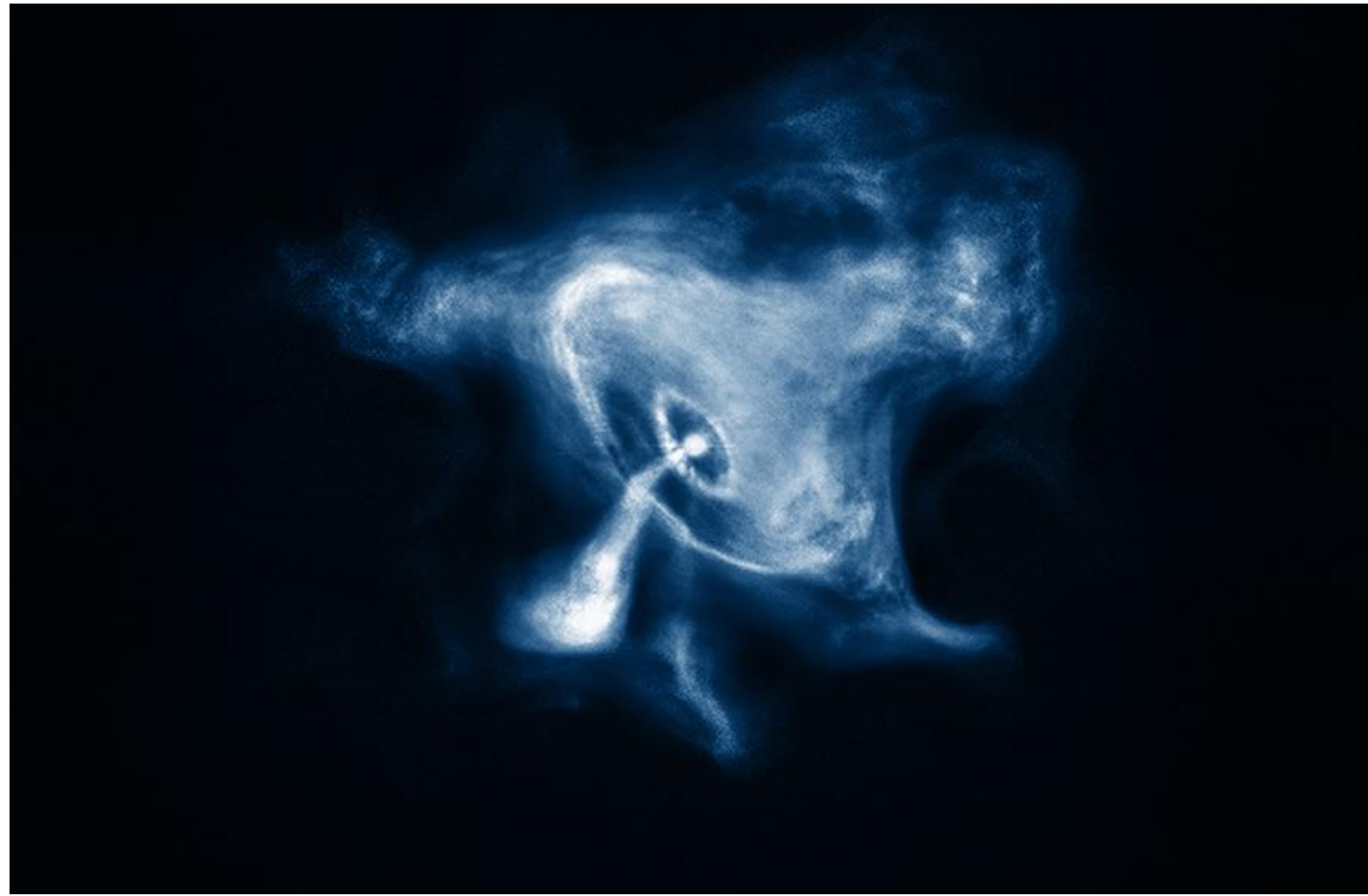


Imagen solo en rayos X del púlsar del Cangrejo.
También se le llama nebulosa de viento púlsar que lo
rodea.

<https://chandra.harvard.edu/photo/2018/crab/>

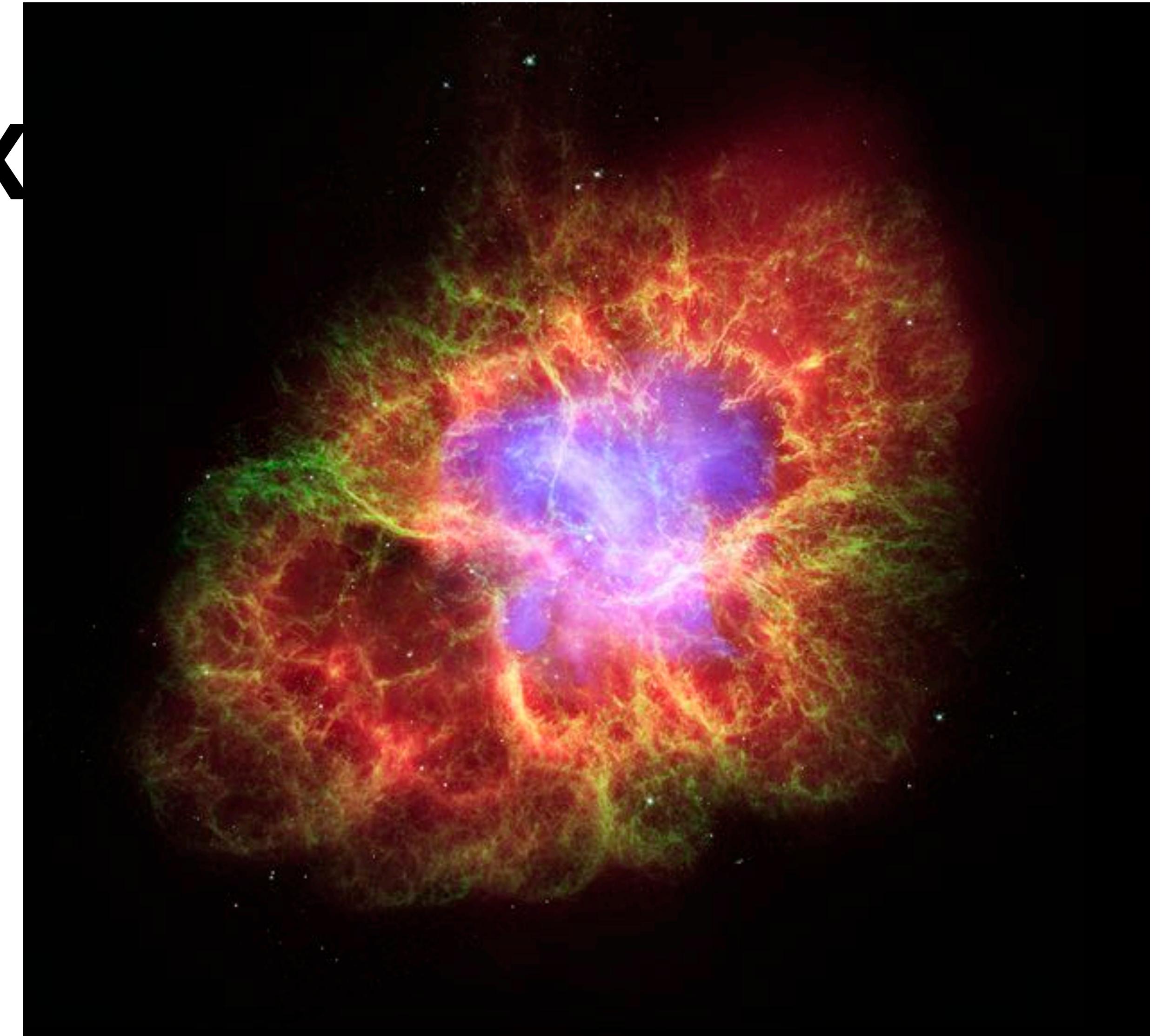


Imagen de rayos X (azul), óptica (verde) e infrarroja
(roja) del púlsar del Cangrejo.

<https://chandra.harvard.edu/photo/2006/crab/>

Astronomía de rayos gamma

¿Cómo se detectan?

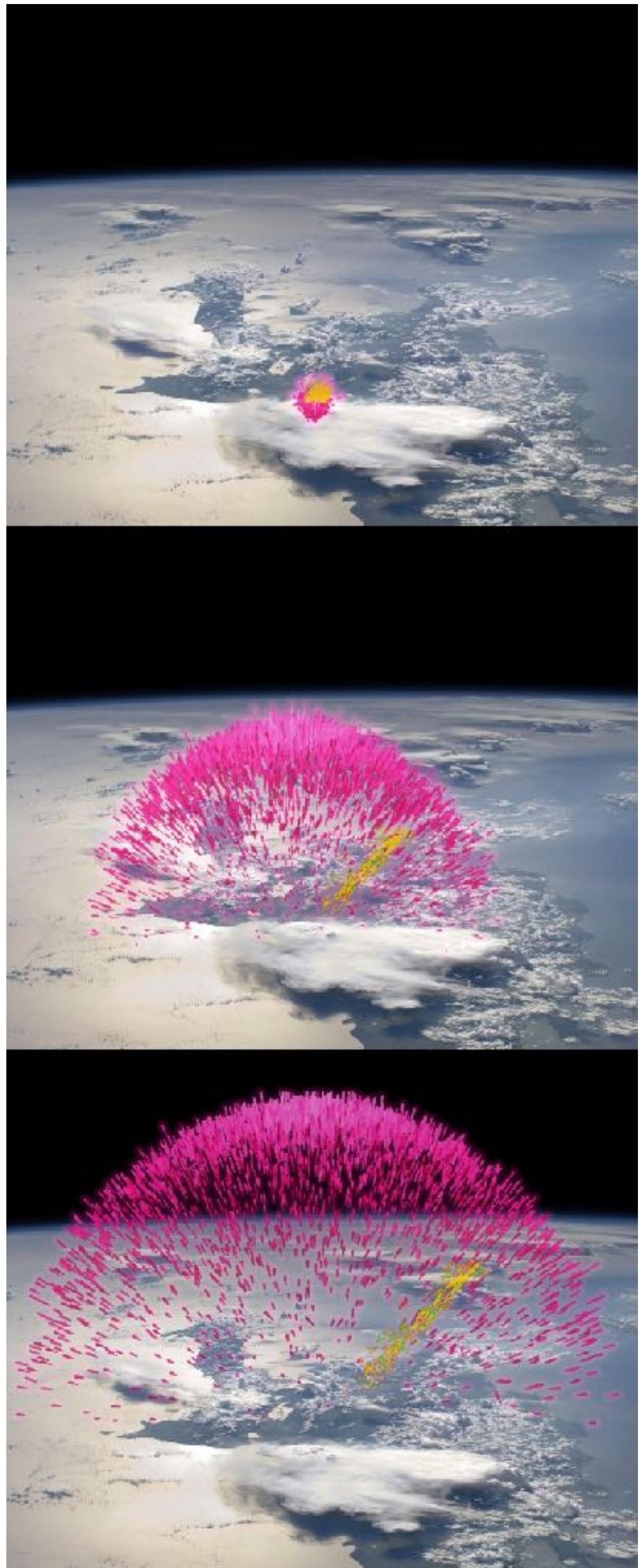
¿Cuáles son las fuentes astronómicas?

Astronomía de rayos gamma

- Radiación superior a 100 keV (de fuentes de alta energía).
- Fuentes: erupciones solares, supernovas, hipernovas, púlsares, blazares (AGN con el chorro apuntando hacia la Tierra), tormentas eléctricas terrestres, etc.
- Telescopios de rayos gamma (satélites): INTEGRAL, Fermi, Egret, AGILE, etc.
- Detección indirecta mediante lluvias de partículas en la atmósfera (véase la sección de rayos cósmicos).



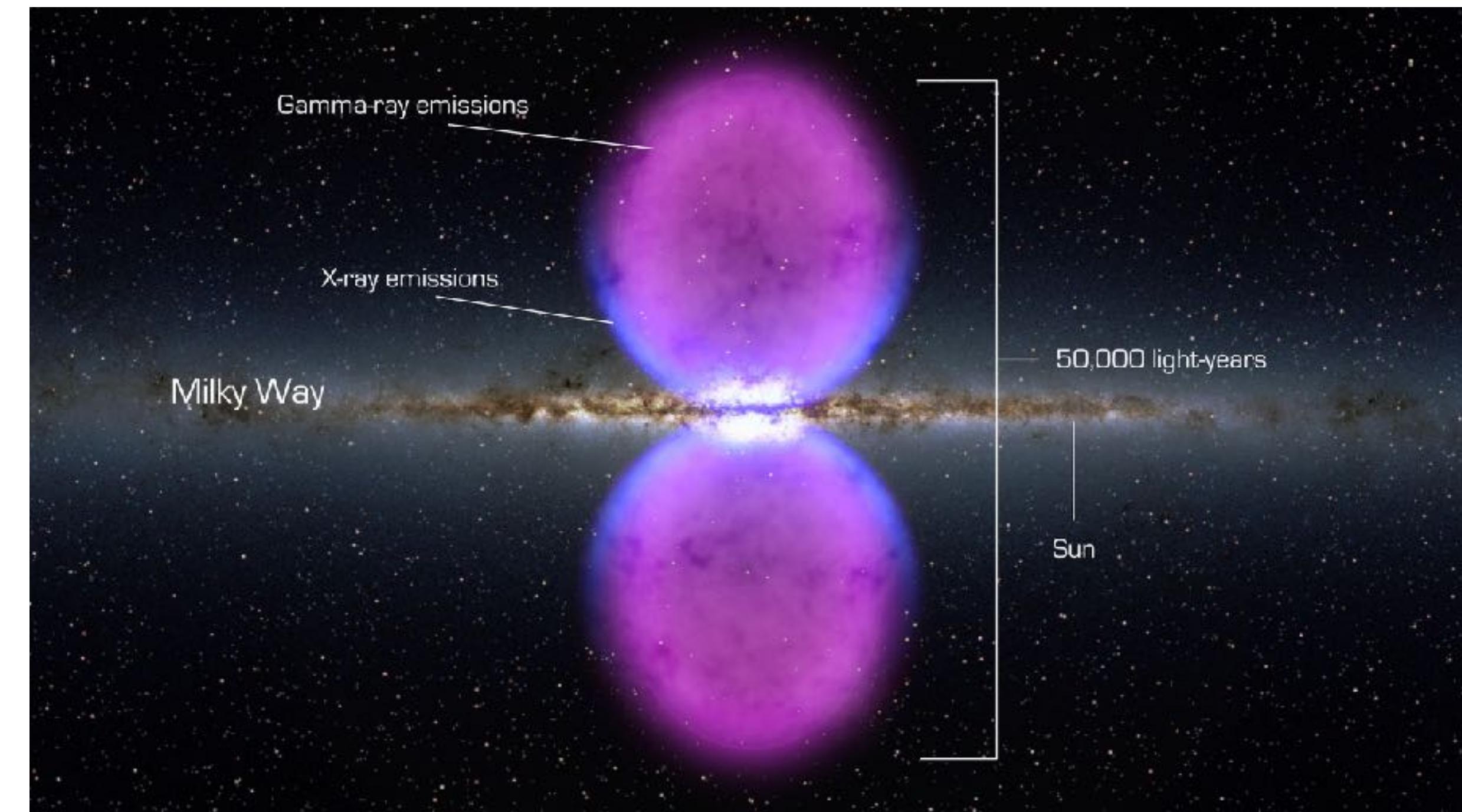
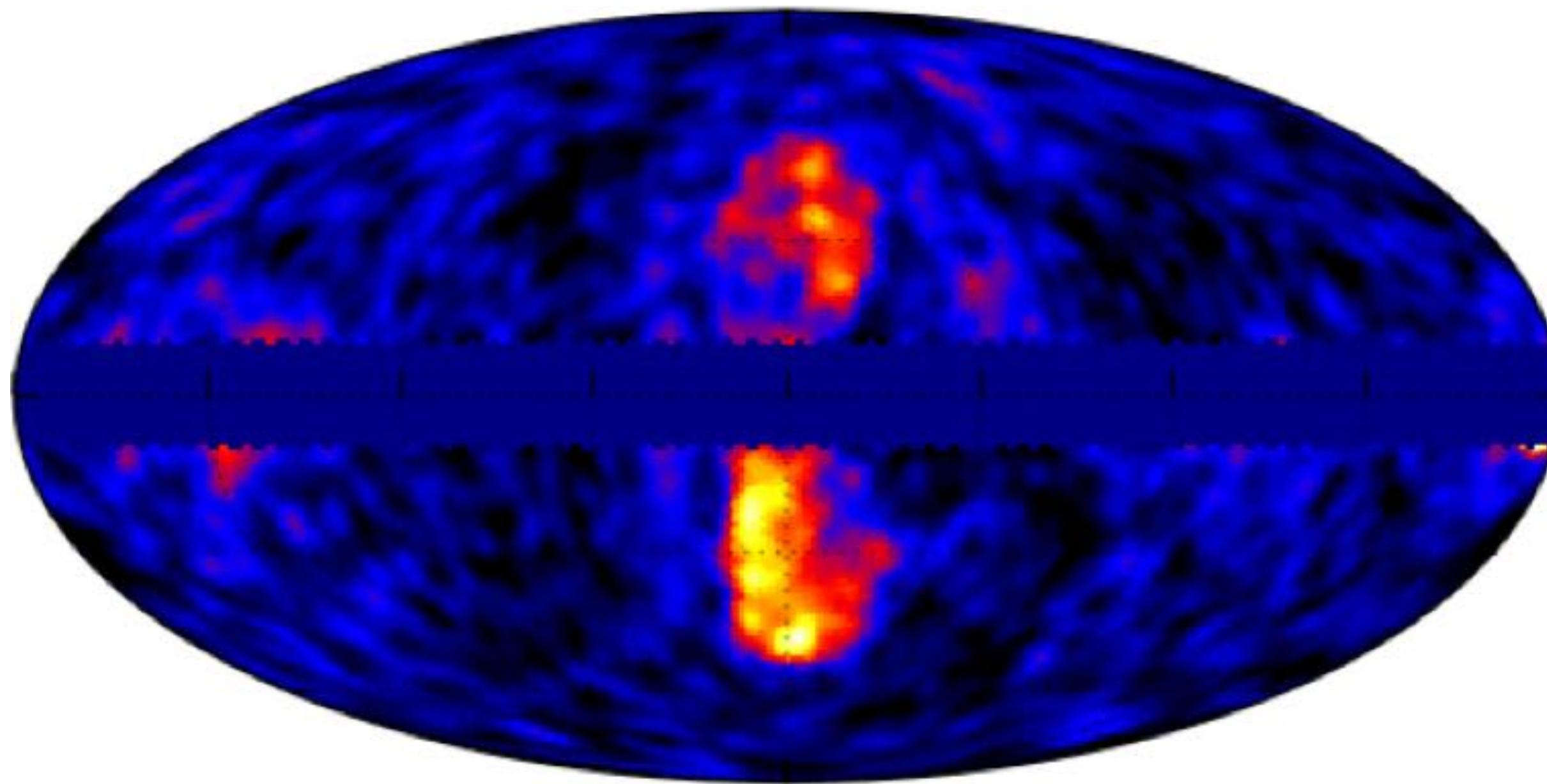
El satélite Fermi



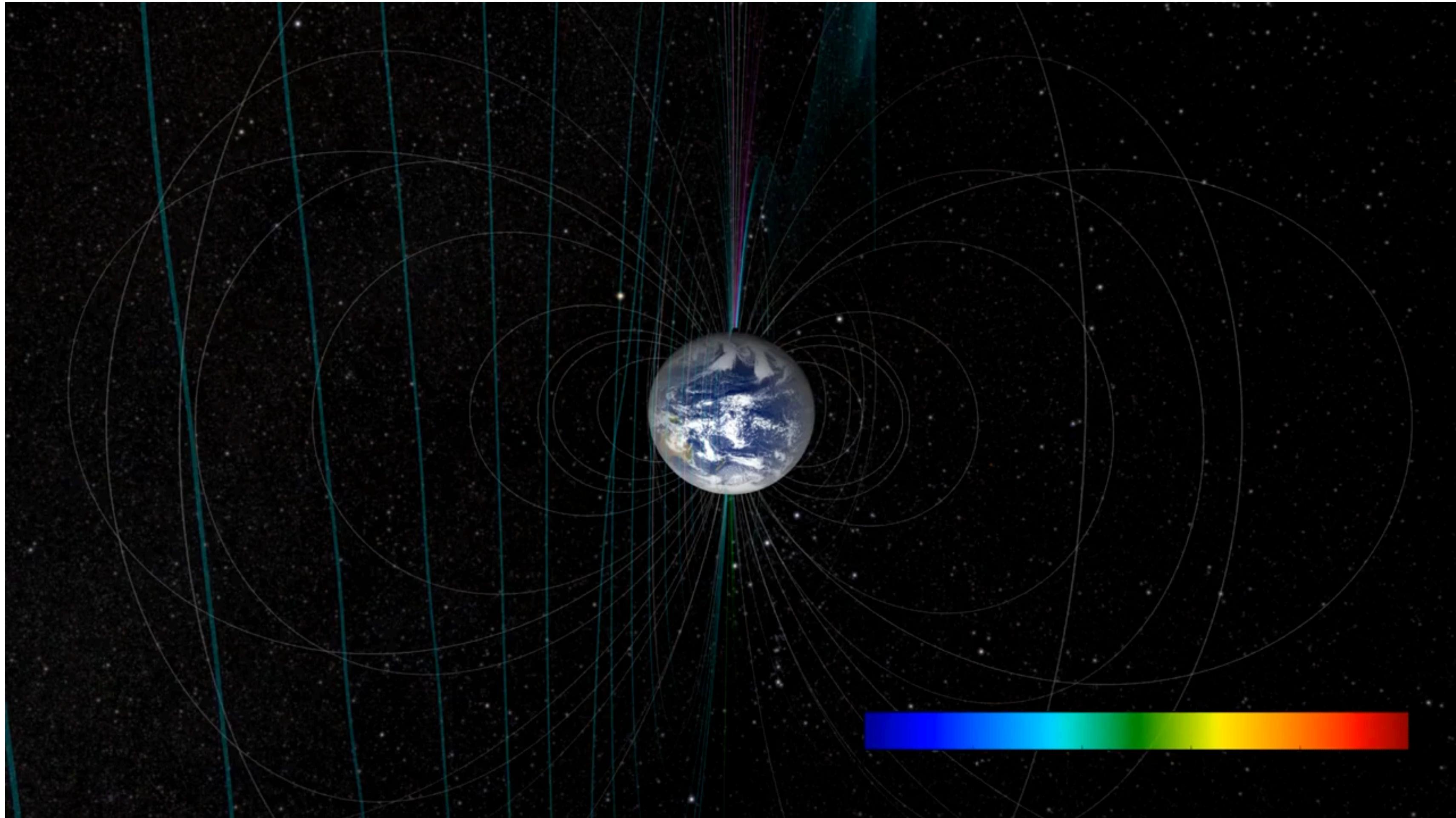
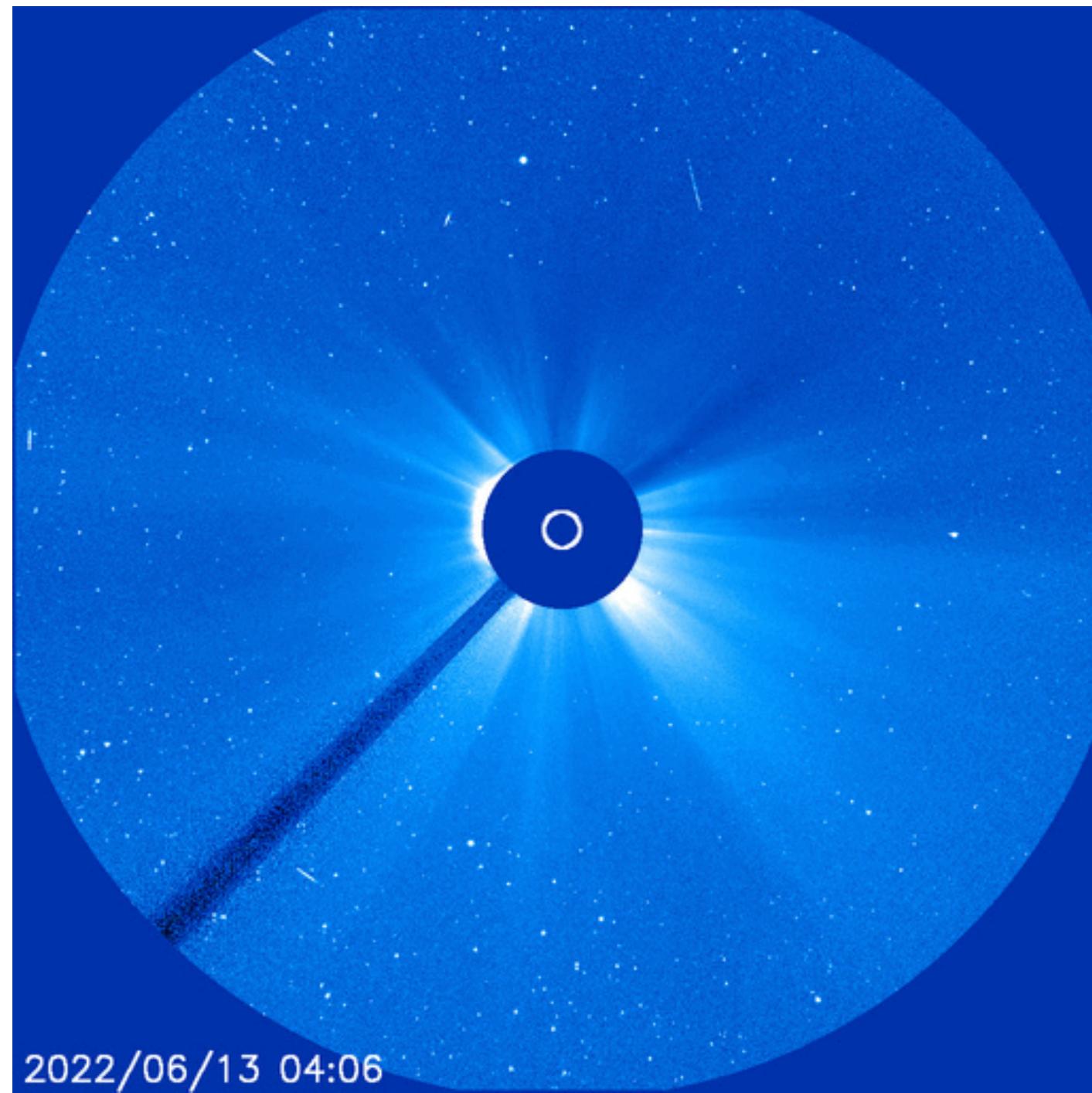
Rayos de gamma desde rayos

Astronomía de rayos gamma

- Burbujas de Fermi: emisión difusa de rayos gamma a gran escala **atribuida a la actividad en el centro de la galaxia**. La teoría actual sostiene que son producidas por el agujero negro o por una intensa actividad de formación estelar.



Eyección de masa coronal (CME)



Coronal Mass Ejection - CME

- Simulación de una CME muy intensa interactuando con la magnetosfera terrestre.
- Esta CME podría haber causado el Evento de Carrington.

