

El Universo en mi bolsillo



Mensajeros celestes



Laurent Pagani
CNRS & Observatoire de
Paris



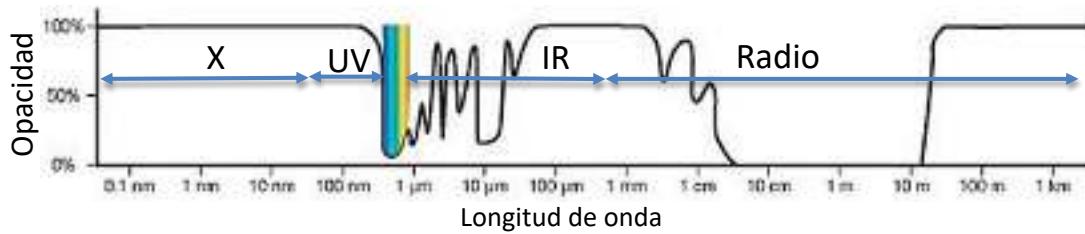
*Gran telescopio del Observatorio de
París-Meudon (fuera de servicio)*

VIRGO (©La colaboración virgo)
Detector de ondas gravitacionales



Es difícil salir de la Tierra para explorar el Universo. Aparte de unas pocas sondas espaciales para explorar el sistema solar, debemos conformarnos con observar los mensajes que nos envía el cielo. Conocemos 5 tipos de mensajeros celestes:

- 1) La luz, que es mucho más rica de lo que nuestro ojo percibe.
- 2) Neutrinos: partículas casi sin masa que apenas interactúan con la materia.
- 3) Rayos cósmicos: partículas de materia ionizada de muy alta energía que se manifiestan al entrar en la atmósfera terrestre.
- 4) Meteoritos (vertuimp 11): los más grandes sobreviven al paso por la atmósfera, y llegan al suelo donde son recogidos.
- 5) Ondas gravitacionales (vertuimp 18): predichas por Einstein y detectadas en 2015.



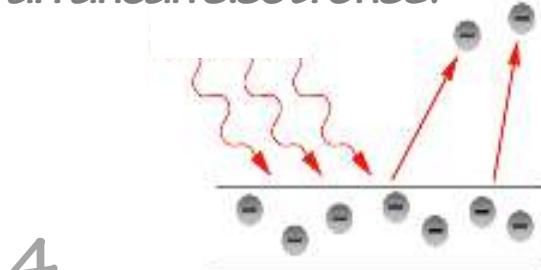
Transparencia del cielo en función de la longitud de onda. El cielo es casi transparente en las longitudes de onda del visible, de 0,4 a 0,8 μm ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$), y en las ondas de radio de 1 cm a 20 m. Los rayos gamma no están representados aquí, están por debajo de 0,01 nm ($1 \text{ nm} = 0,000001 \text{ mm}$).



Un aspecto de la naturaleza ondulatoria de la luz: el color azul del cielo se debe a la dispersión de la luz solar por las partículas de la atmósfera (ver tuimp 24).



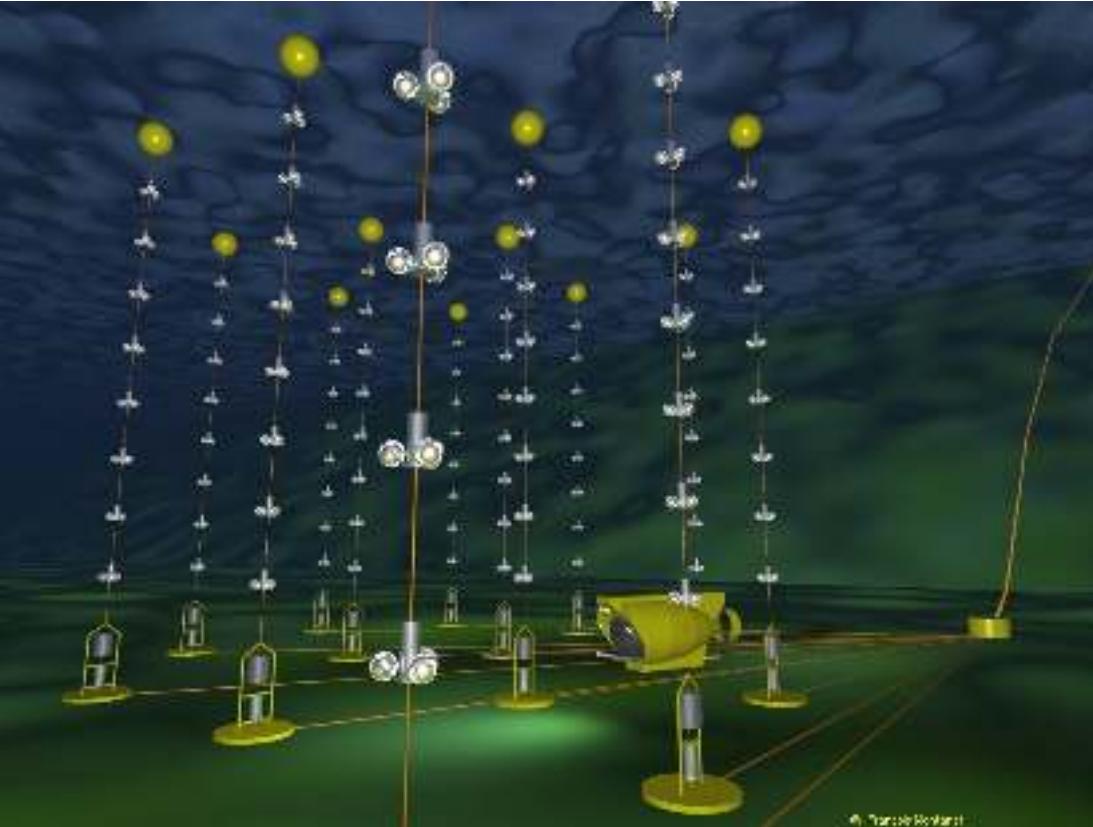
Un aspecto de la naturaleza corpuscular de la luz: los paneles fotovoltaicos absorben granos de luz que arrancan electrones.



Luz

La luz está formada por partículas sin masa llamadas fotones que a veces se comportan como si fueran ondas. La interferencia y la difracción revelan el lado ondulatorio de la luz, mientras que el efecto fotoeléctrico y las cámaras CCD revelan su lado corpuscular. Cuando decimos "luz", pensamos en la luz visible, la del arco iris, pero es sólo una parte muy pequeña del espectro de la luz.

La luz se caracteriza por su frecuencia de vibración, v , o por su longitud de onda, λ , relacionadas por $v \times \lambda = c$ (donde c es la velocidad de la luz). Las longitudes de onda del arco iris se encuentran entre 0,4 y 0,8 μm . Por debajo del rojo (0,8 μm), está el infrarrojo que se extiende hasta alrededor de 300 μm y luego las ondas de radio hasta las ondas kilométricas y más. Más allá del violeta (0,4 μm), está el ultravioleta, luego los rayos X y los rayos gamma.



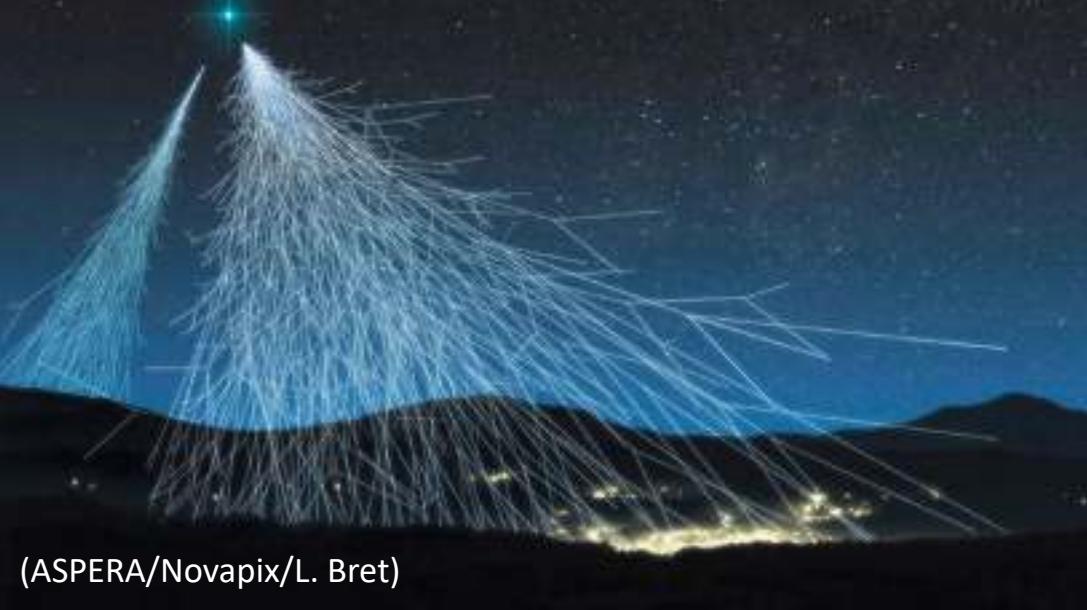
Telescopio de neutrinos ANTARES; miles de cámaras sumergidas hasta 2500 m de profundidad en el mar Mediterráneo monitorizan la aparición de centelleos (pequeños destellos de luz) causados por la interacción de un neutrino con el agua.

Crédito: François Montanet

Neutrinos

Los neutrinos son partículas producidas por ciertas reacciones nucleares. Hay tres "sabores" de neutrinos, ligados a las tres familias de leptones, siendo el más conocido el electrón, luego los más masivos muón y el tau. A medida que se mueven, los neutrinos oscilan entre estos tres sabores, lo que implica que tienen una masa. Pero es tan pequeña que aún no hemos conseguido medirla.

El Sol, debido al enorme número de reacciones nucleares en su núcleo, emite una gran cantidad de neutrinos. La mayoría de ellos atraviesan la Tierra sin frenar. Algunos experimentos logran capturar unos pocos neutrinos, entre los miles de millones que inundan la Tierra en cada instante. Como los neutrinos apenas interactúan con la materia, son difíciles de estudiar y aún se conocen poco, pero nos permiten explorar el interior del Sol y las supernovas.



(ASPERA/Novapix/L. Bret)

Representación artística de la interacción de un rayo cósmico con la atmósfera causando una lluvia de rayos de luz.



(Wikipedia)

Foto de H.E.S.S. II, un detector de lluvias de luz visible que rastrea los rayos cósmicos.

Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas de materia cargadas (protónes, electrones, núcleos de helio) que viajan casi a la velocidad de la luz y, por tanto, tienen una enorme energía cinética. Su origen es incierto. Podrían proceder de supernovas o de la fusión de agujeros negros entre sí. Se detectan por la luz que emiten al interactuar con la atmósfera terrestre, creando una lluvia de partículas luminosas. En regiones muy oscuras, esta débil luminosidad puede captarse por telescopios diseñados para observar estas lluvias de luz, como el telescopio HESS en Namibia, o el experimento Auger en Argentina, que combina telescopios y detectores de partículas para detectar los rayos cósmicos más energéticos, que son muy raros: solo uno de ellos atraviesa un kilómetro cuadrado en la Tierra durante todo un siglo.



Un fragmento del meteorito de Murchison y partículas individuales aisladas (en el tubo de ensayo).

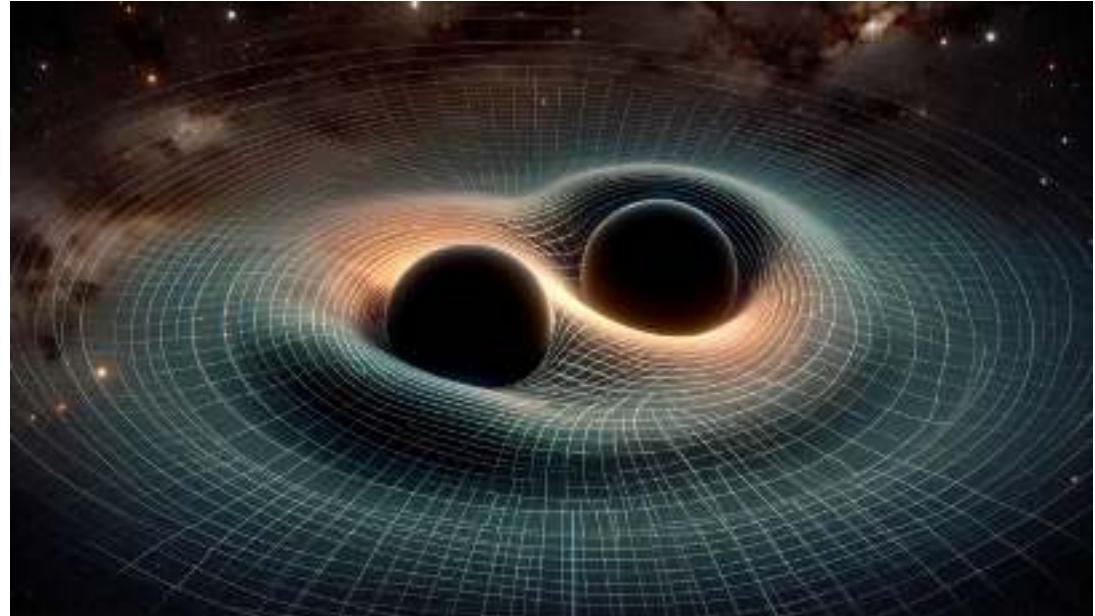
Abajo: el cráter Meteor en Arizona. Los meteoritos más grandes hacen cráteres en el suelo como este. La mayoría de los cráteres han desaparecido en la Tierra. Por otro lado, la Luna, que no tiene erosión activa, conserva muchos cráteres (ver tuimp 27).



Meteoritos

Los meteoritos pueden tener varios orígenes (ver tuimp 11). Polvo dejado por cometas, colisiones entre asteroides en el cinturón situado entre Marte y Júpiter, o rocas expulsadas de la superficie de Marte o la Luna tras el impacto de un asteroide. En este último caso, los meteoritos nos ofrecen información directa sobre la composición de la Luna, Marte o los propios asteroides, que conservan cierta memoria del estado de la nebulosa solar en el momento de la formación de los planetas, hace unos 4.500 millones de años.

Los meteoritos más pequeños se queman por completo en la atmósfera (como estrellas fugaces), mientras que los más grandes sobreviven y llegan al suelo. Podemos recuperarlos y analizar su composición química.



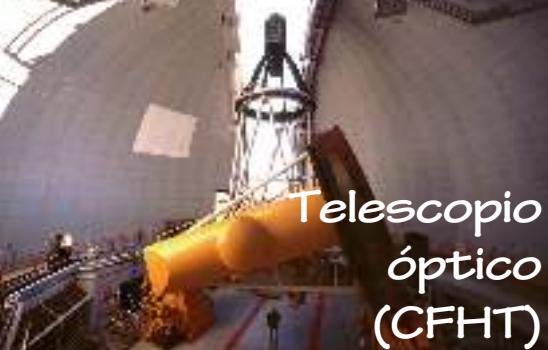
Representación artística de la fusión de dos agujeros negros con una visualización de la deformación del espacio-tiempo a su alrededor. Esta deformación, enorme cerca de los agujeros negros, tiene una amplitud muy pequeña cuando llega a la Tierra y solo es detectable mediante instrumentos muy sensibles como LIGO y VIRGO.

(Imagen de Gianluca Inguglia generada por DALL-E de OpenAI)

Ondas gravitacionales

2015 fue el año de la primera detección de ondas gravitacionales (vertuimp 18). Predichas 100 años antes por A. Einstein, su intensidad es tan débil que el físico pensaba que nunca podrían ser detectadas.

Solo eventos extremadamente energéticos, como la fusión de dos agujeros negros, permiten que sean captadas por los instrumentos actuales. La particular forma de la señal permite separarla del ruido (provocado sobre todo por vibraciones residuales de los espejos del instrumento, que causan movimientos mucho mayores que el desplazamiento causado por la onda). Las numerosas fusiones de agujeros negros y estrellas de neutrones observadas desde 2015 revelan un universo hasta entonces invisible.



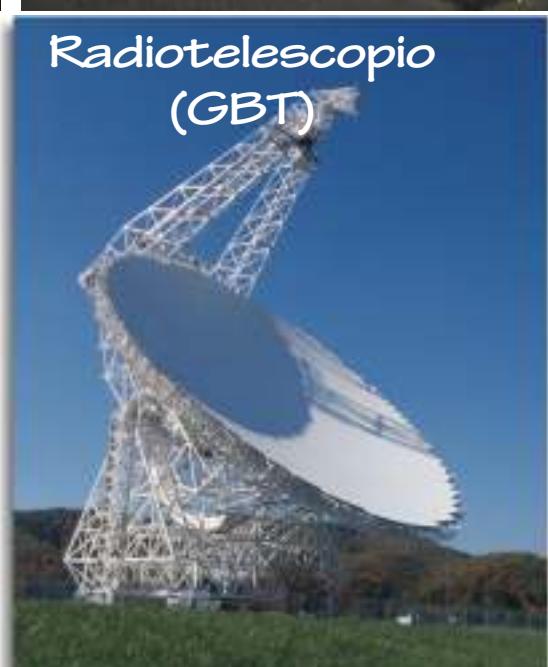
Telescopio
óptico
(CFHT)



Interferómetro de
radio (VLA)



Telescopio orbital de
rayos X (NuSTAR)



Radiotelescopio
(GBT)

Quiz

¿Cuál de estos
telescopios no
detecta fotones?



Primer radiotelescopio
(Jansky)

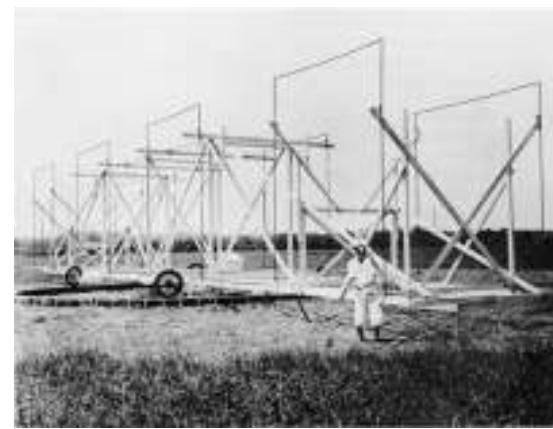


Detector de rayos
cósmicos (Auger)

Respuesta al dorso



En radio, infrarrojo,
ultravioleta, rayos X o
rayos gamma, al igual
que en la luz visible,
siempre son fotones.
Solo Auger observa los
rayos cósmicos.



Respuesta

The Universe in my pocket No 43

Este librito fue escrito en 2025 por Laurent Pagani, del Observatorio de París y del CNRS, y revisado por Grażyna Stasińska (del Observatorio de París) y Stan Kurtz (del IRYA, México).

Imagen de portada : Lluvia de meteoros conocida como las Perseidas. La órbita de la Tierra cruza regularmente la trayectoria de los restos dejados por los cometas. Estos granos de polvo, muy numerosos, entran en la atmósfera en grupos, se inflaman y parecen proceder de la misma dirección. La de agosto parece proceder de la constelación de Perseo. (Foto de CGTN).



Para saber más sobre esta colección y los temas presentados en este librito, visite
<http://www.tuimp.org>

Traducción: Jorge García Rojas
TUIMP Creative Commons

