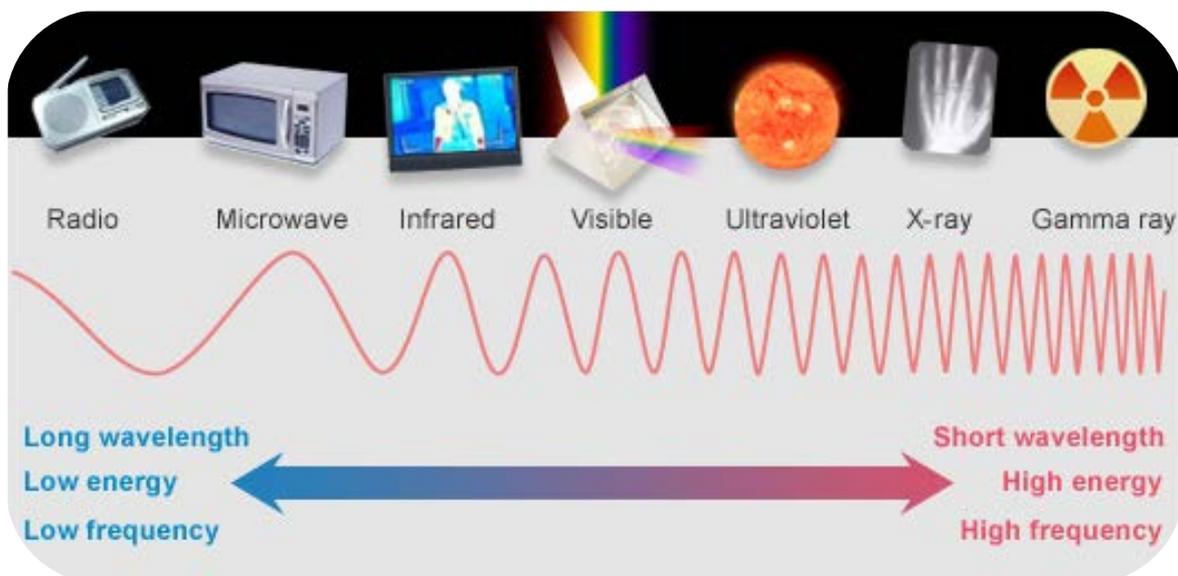


El espectro electromagnético

CESAR's Booklet



El espectro electromagnético

Los colores de la luz

Seguramente hayas visto un arcoíris alguna vez, y seguramente también sepas la explicación científica de este fenómeno. Pero a grandes rasgos, la luz del sol es refractada cuando pasa a través de las gotas del agua suspendidas en la atmósfera. Debido a que la luz blanca está compuesta por todos los diferentes colores y que cada color se refracta con un ángulo diferente el resultado es que los colores salen de la gota separados y ordenados de una manera específica> empezando por el violeta y terminando en el rojo pasando por el azul, verde, amarillo y naranja. Podemos obtener este mismo resultado en un laboratorio dejando pasar luz a través de un prisma, como se aprecia en la Figura 1. Esta ordenación de los colores es lo que se conoce como **espectro**.

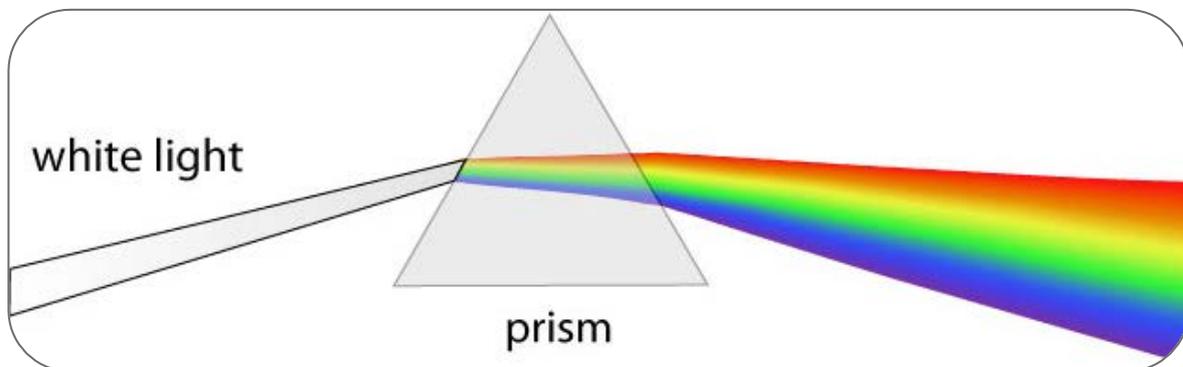


Figura 1: Luz blanca pasando a través de un prisma crea un arcoíris (Créditos: physics.stackexchange.com)

El espectro de la luz no está tan solo hecho por los colores que vemos con nuestros ojos. Hay otros colores que son invisibles, aunque pueden ser detectados con los dispositivos apropiados. Más allá del ultravioleta se encuentra el ultravioleta, rayos-X y rayos gamma. En el otro extremo, pasando el rojo, se encuentra el infrarrojo y el radio. Aunque no podemos verlos, estamos bastante acostumbrados a este tipo de ondas: por ejemplo, empleamos ondas de radio para transmitir música de una estación hasta el receptor de nuestro coche, la luz ultravioleta del Sol hace que nos pongamos morenos en verano, los Rayos-X se utilizan para hacer radiografías y ver si hay algún hueso roto o cambiamos el canal de nuestra tele usando el mando a distancia.

La luz como ondas

Los físicos describen a la luz como algo llamado **radiación electromagnética** u **onda electromagnética**. La palabra radiación hace referencia a la energía que se transmite de un lugar a otro sin que estén en contacto. La luz de cada uno de los colores tiene asociada una energía diferente: los rayos gamma son los más energéticos y los de radio los que menos. Así que si observamos rayos gamma procedente de algún fenómeno astronómico sabemos inmediatamente que algo muy energético está ocurriendo allí.

Esta energía es transportada en forma de ondas, y cada onda tiene además un tamaño diferente: a mayor energía de la onda más pequeña es – o, técnicamente hablando, su longitud de onda es menor. Por tanto los rayos X tienen longitudes de onda que la luz visible (llamada **banda óptica** en astronomía), y las ondas de radio son aún menores que las ópticas.

Propiedades de las ondas

Una onda (ver Figura 2) es una perturbación periódica de un estado de equilibrio que se transmite por el espacio. La desviación máxima de este estado de equilibrio (o de estado sin perturbar) se denomina **amplitud** de la onda, y nos indica la intensidad de la perturbación; el punto más alto de la onda se llama **cresta** y el más bajo **valle**.

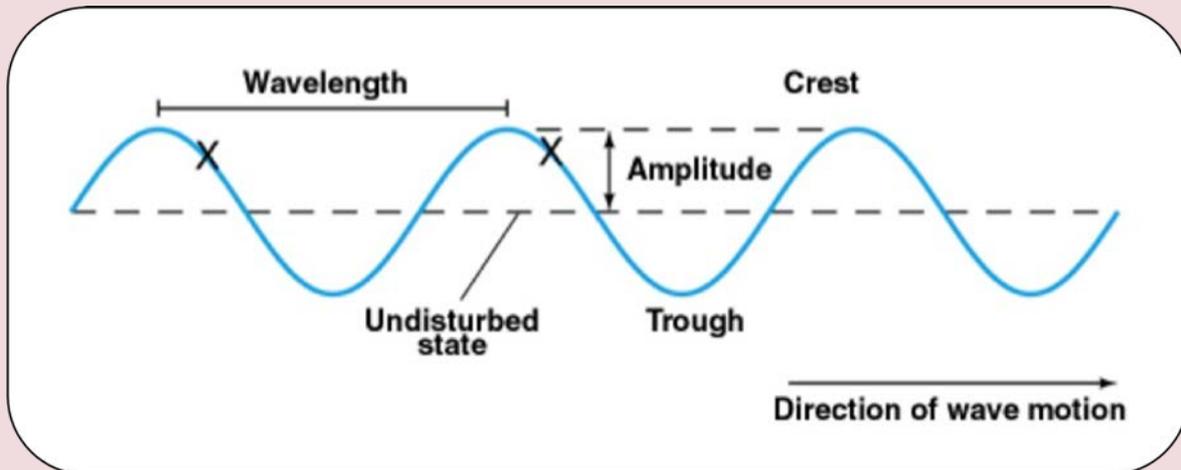


Figura 2: Propiedades de una onda. (Créditos: Pearson Prentice Hall)

Las ondas están caracterizadas por su tamaño, midiendo la distancia entre dos estados iguales (dos crestas o dos valles por ejemplo); esta distancia se conoce como **longitud de onda**, λ . Los colores que vemos con los ojos son en realidad diferentes longitudes de onda.

El tiempo que tarda una perturbación en moverse una longitud de onda- o en otras palabras, en volver a repetirse-, se llama **período** de la onda. La longitud de onda y el período están relacionadas con la velocidad de la onda, c , ya que la velocidad se define como variación del espacio por unidad de tiempo.

$$c = \frac{\lambda}{P} \quad (1)$$

El número de ciclos – o el número de veces que se repite- en un segundo se denomina **frecuencia** de la onda, ν . Por tanto, la frecuencia es la inversa del período, y también se relaciona con la longitud de onda a partir de la velocidad:

$$\nu = \frac{1}{P} = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Es importante notar que la velocidad de las diferentes ondas electromagnéticas no dependen de la frecuencia, ni de la longitud de onda o del periodo, tan solo depende el medio por el cual se están moviendo. Sin embargo, y al contrario que en otro tipo de ondas como el sonido o las olas del mar, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio para propagarse. Si la luz se propaga por el vacío, su velocidad alcanza el valor máximo- y esta velocidad es la misma para todas las frecuencias de la luz.

La Figura 3 resume las propiedades del espectro electromagnético:

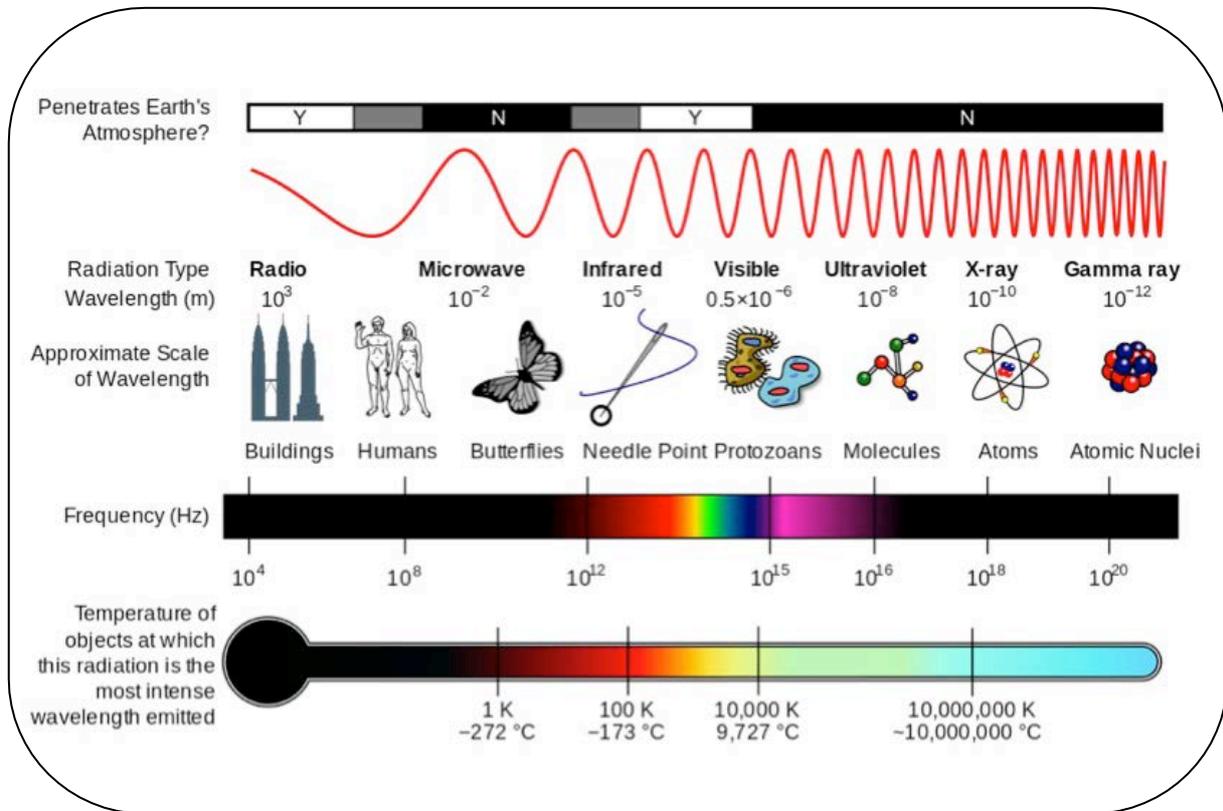


Figura 3: Propiedades del espectro electromagnético. (Créditos: Wikimedia Commons)

Los colores de las estrellas

La cantidad de luz de un color en particular (o de una longitud de onda) que es emitida por un cuerpo depende de su temperatura. Y ya que todos los cuerpos macroscópicos que vemos a diario tienen una temperatura por encima del cero absoluto, todos ellos emiten luz siempre y en todas las longitudes de onda. La razón es porque están hechos de partículas microscópicas que tienen carga eléctrica y están en constante movimiento y la Física nos dice que una partícula cargada en movimiento emite radiación.

Todos los objetos que te rodean, aunque no puedas verlo con tus ojos, están emitiendo constantemente radiación. Está claro que las estrellas y las bombillas emiten, pero la silla en la que estás sentado, tu mesa, tu perro, los cubitos de hielo o incluso tú mismo. Sin embargo estos objetos tan cotidianos emiten en una longitud de onda que no es visible por nuestro ojo. Los vemos porque reflejan la luz que les llega.

Al contrario de lo que nuestra experiencia cotidiana nos brinda, los objetos que se encuentran a mayor temperatura emiten en el "lazo azul" del espectro (violeta y ultravioleta), mientras que los objetos más fríos lo hacen en el "lado rojo" del espectro (infrarrojo y radio). Es decir, en otras palabras, ¡las estrellas azules son más calientes que las rojas!

Radiación de cuerpo negro

La emisión electromagnética de objetos macroscópicos, incluyendo estrellas y otros objetos astronómicos, puede aproximarse a la **curva de cuerpo negro**. Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la radiación que le incide, de cualquier frecuencia, y que es capaz de emitir la misma energía que absorbe. Si representamos esta cantidad de energía emitida por un cuerpo negro en función de su longitud de onda (o de la frecuencia), obtendremos la distribución siguiente que tan solo depende de la temperatura del objeto.

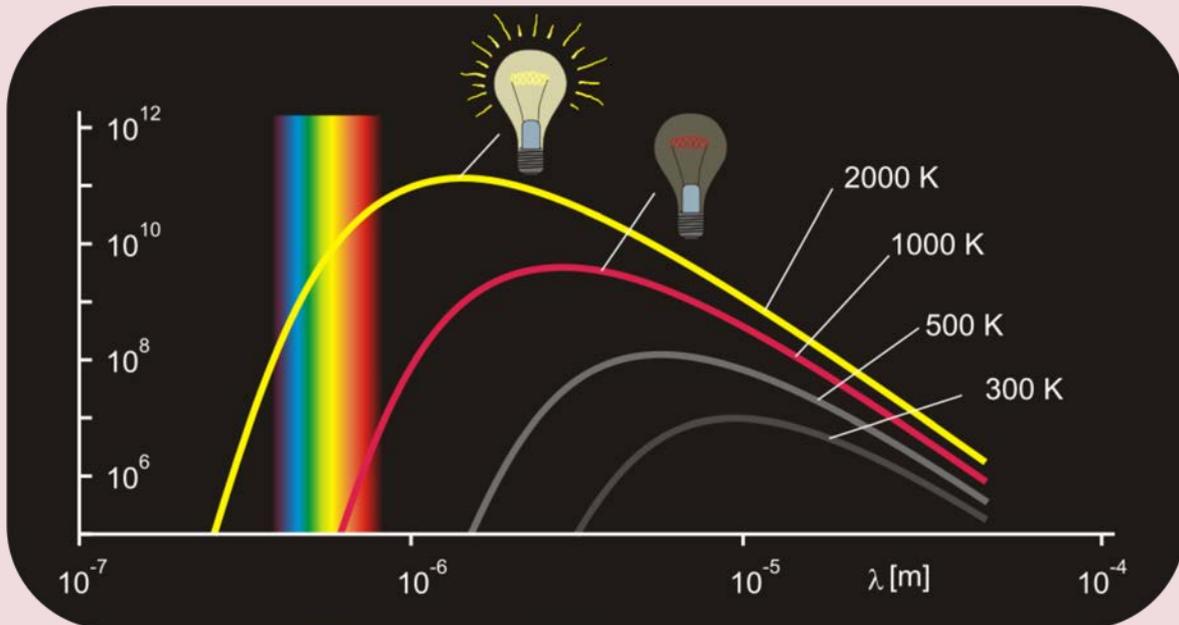


Figura 4: Curvas de cuerpo negro a diferentes temperaturas (Credit: Wikimedia Commons)

Como se ve en la Figura 4, la curva de cuerpo negro tiene un máximo a una determinada longitud de onda (o frecuencia), y este máximo es más alto a temperaturas mayores, por lo que el área debajo de la curva es también mayor. Este comportamiento viene regido por la **Ley de Stefan-Boltzmann**, que matemáticamente queda:

$$E = \sigma T^4 \quad (3)$$

El parámetro σ , conocido como la constante de **Boltzmann**, tiene el valor de:

$$\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Resumiendo, lo que la Ley de Stefan-Boltzmann nos dice es que cuanto mayor es la mayor temperatura de un objeto mayor energía emite.

También vemos que la posición de la curva depende de la temperatura del cuerpo. Si la temperatura aumenta, el máximo se desplaza hacia longitudes de onda más cortas (“más azules”), mientras que si la temperatura disminuye las longitudes de onda serán mayores (o “más rojas”). La relación matemática entre la temperatura y la longitud de onda máxima λ_{max} se llama **Ley de Wien**, y es la siguiente:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

Donde la constante de proporcionalidad b se llama Constante de **Desplazamiento de Wien**, cuyo valor es:

$$b = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$$

La posición del valor máximo está relacionada con el color del cuerpo negro: si este máximo se encuentra en la parte azul del visible, lo veremos de color azul; si el máximo se encuentra al final del rojo, lo veremos rojo. Y si se encuentra en cualquier lugar entre medias, la cantidad de energía emitida por el cuerpo será de todos los colores nuestros ojos tan solo podrán observar una mezcla de todos ellos. ¡Es esta la razón por la cual no vemos estrellas de tan solo un color intermedio, verde por ejemplo!

Y de nuevo, la ley de Wien lo que nos dice: *A mayor temperatura más azul es la estrella*

Si el máximo de la curva se encuentra fuera del rango visible, el color que veamos dependerá de la cantidad de luz emitida en cada frecuencia del visible: un cuerpo emitiendo con el máximo en el ultravioleta emitirá además algo en el azul o en el violeta, así que nuestros ojos los verán de color azulado. Pero en el otro lado, si el máximo se encuentra en el infrarrojo (que es menos energético) una muy pequeña parte estará en el visible y por eso lo veremos negro.

La Figura 5 nos muestra los colores de varias estrellas a varias temperaturas:

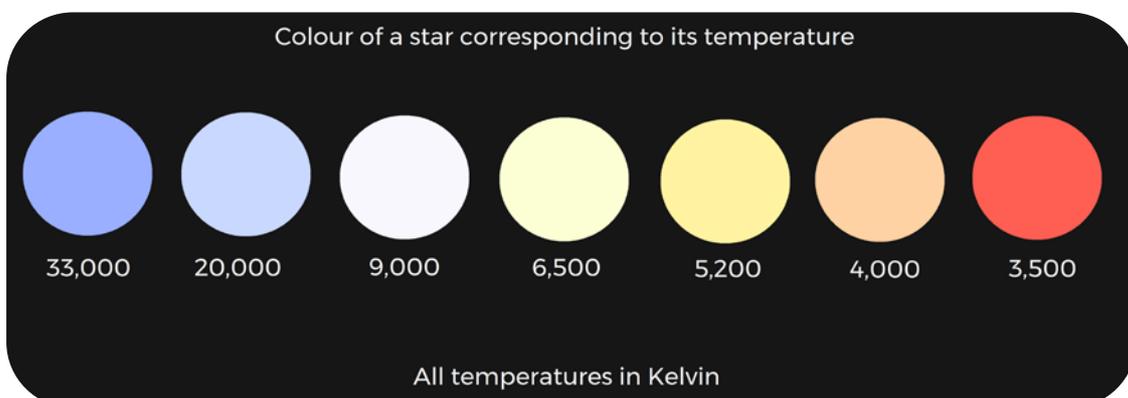


Figura 5: Colores de las estrellas a diferentes temperaturas. (Créditos: Quora)

Observando a través del espectro

Debido a que los objetos astronómicos emiten luz en diferentes colores dependiendo de su temperatura, es importante observarlos en diferentes longitudes de onda para saber los fenómenos que están ocurriendo. Por ejemplo, la Figura 6 muestra la Nebulosa del Cangrejo, el remanente de una Supernova que se encuentra más de 6 000 años luz de la Tierra, que ha sido observada a través de diferentes telescopios capaces de detectar diferentes longitudes de onda. Vemos cómo cambia el aspecto de la Nebulosa en cada fotografía. El polvo y gas caliente dominan en las bandas infrarroja y radio respectivamente; en el visible y en el ultravioleta vemos el gas ionizado por la estrella de neutrones del centro (que es remanente de una estrella que ha terminado su vida con una violenta explosión), y cuya emisión principal se encuentra en los rayos-X, como se aprecia en el gas caliente de su alrededor

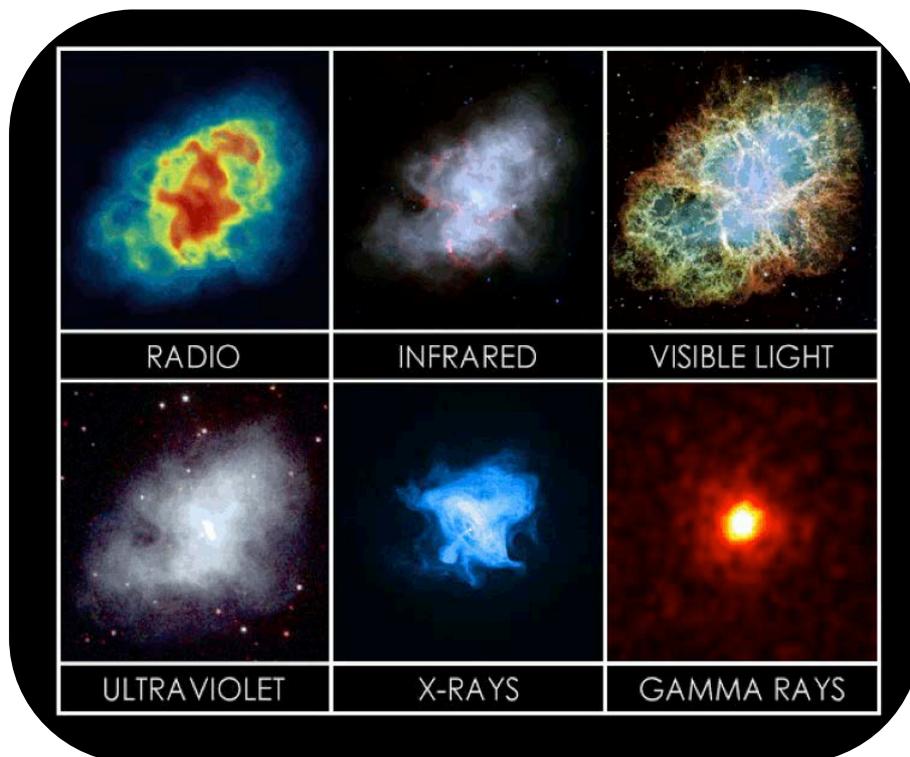


Figura 6: Nebulosa del cangrejo, en todo el espectro electromagnético. (Créditos: NASA/ESA/NRAO)

En la Tabla 1 puedes apreciar un alista de las temperaturas de diferentes fuentes emitiendo en diferentes colores del espectro electromagnético, así como varios ejemplos de estas fuentes.

Pero observando a través de todo el espectro no es posible desde la tierra, ya que la atmósfera absorbe prácticamente toda la luz que no está en el visible (ver Figura 3). Debido a esta razón es necesario poner en órbita y que así puedan ver en estos colores invisibles, a excepción de los de las bandas de radio y ultravioleta. La Figura 7 muestra los telescopios espaciales operados por ESA, así como la banda del espectro electromagnético en la que observan.

Tabla 1: Ejemplos de diferentes fuentes emitiendo en su respectiva parte del espectro.

Tipo de radiación	Temperatura	Fuentes más características
Rayos Gamma	$>10^8$ K	Materia cayendo en agujeros negros
Rayos-X	10^6 - 10^8 K	Gas en cúmulos de galaxias Remanentes de Supernovas Corona de estrellas
Ultravioleta	10^4 - 10^6 K	Remanentes de Supernovas Estrellas muy calientes
Visible	10^3 - 10^4 K	Estrellas Planetas calientes
Infrarrojo	10 - 10^3 K	Estrellas muy frías Planetas Nubes de polvo frío
Radio	<10 K	Nubes de gas frío Radiación de Fondo de Microondas (CMB) Electrones moviéndose en campos magnéticos

Adaptado de: NASA/Imagine the Universe!

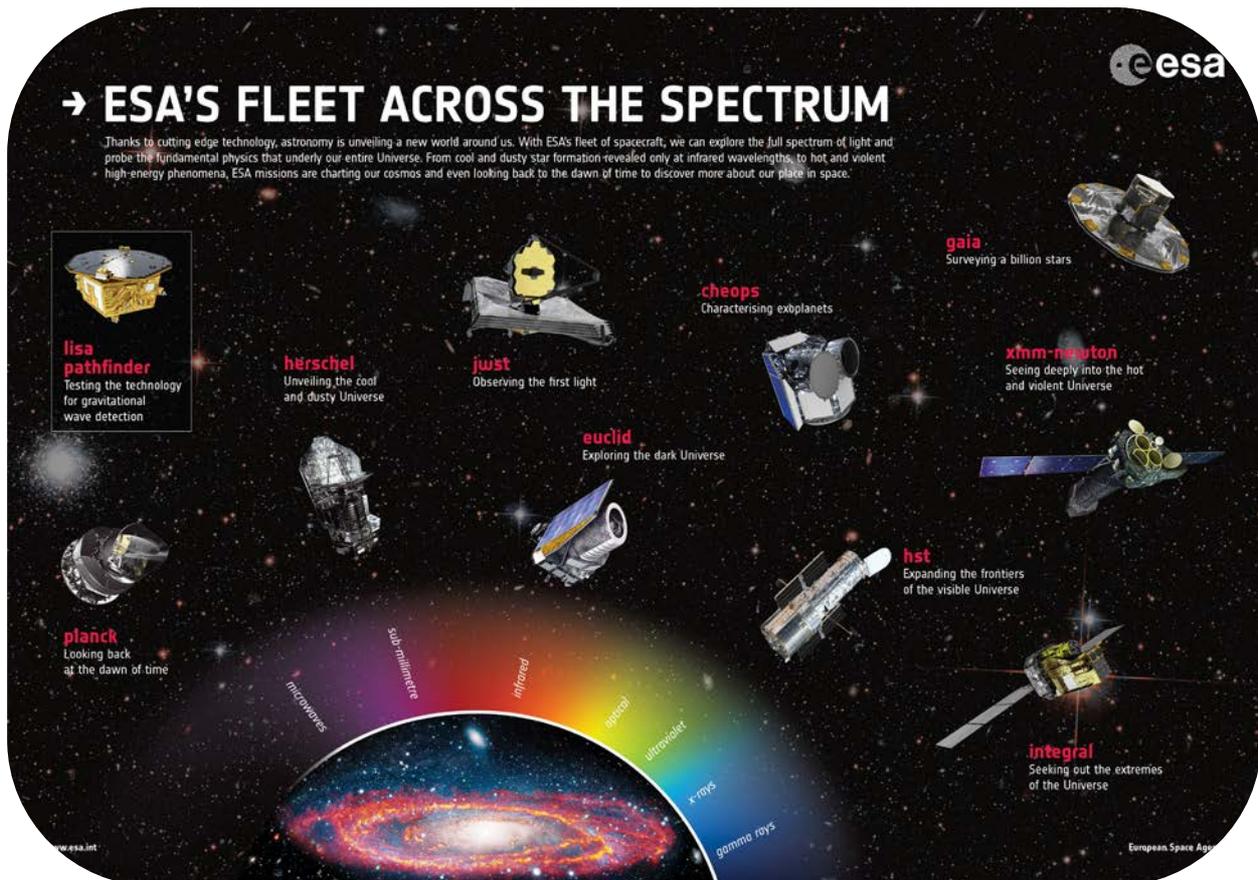


Figura 7: Flota de telescopios de la ESA observando en todo el espectro electromagnético. Desde ondas submilimétricas a las ondas de radio más cortas (Créditos: ESA)