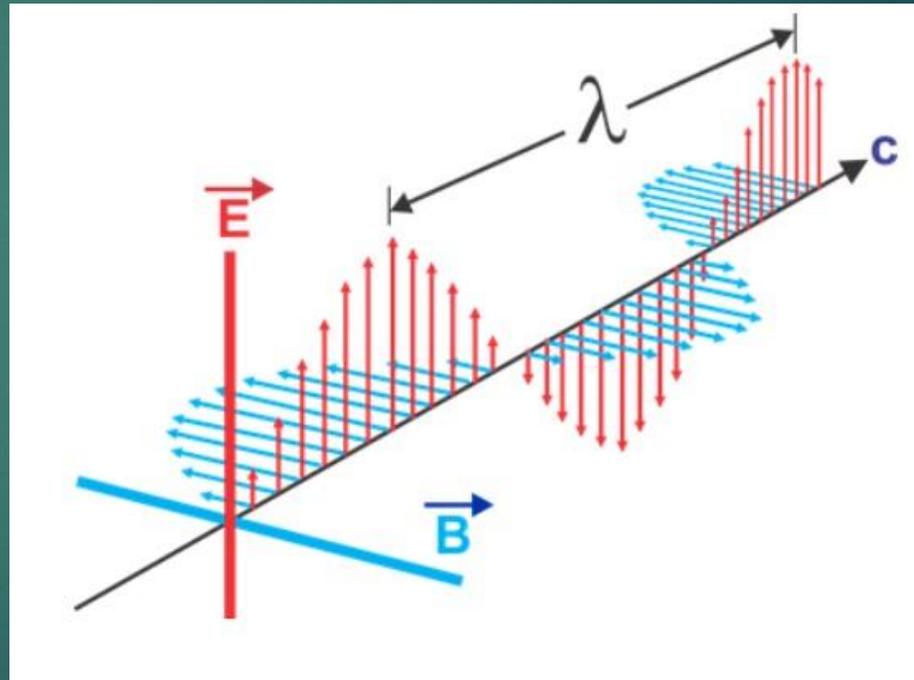


El espectro electromagnético y las radiofrecuencias para la comunicación inalámbrica

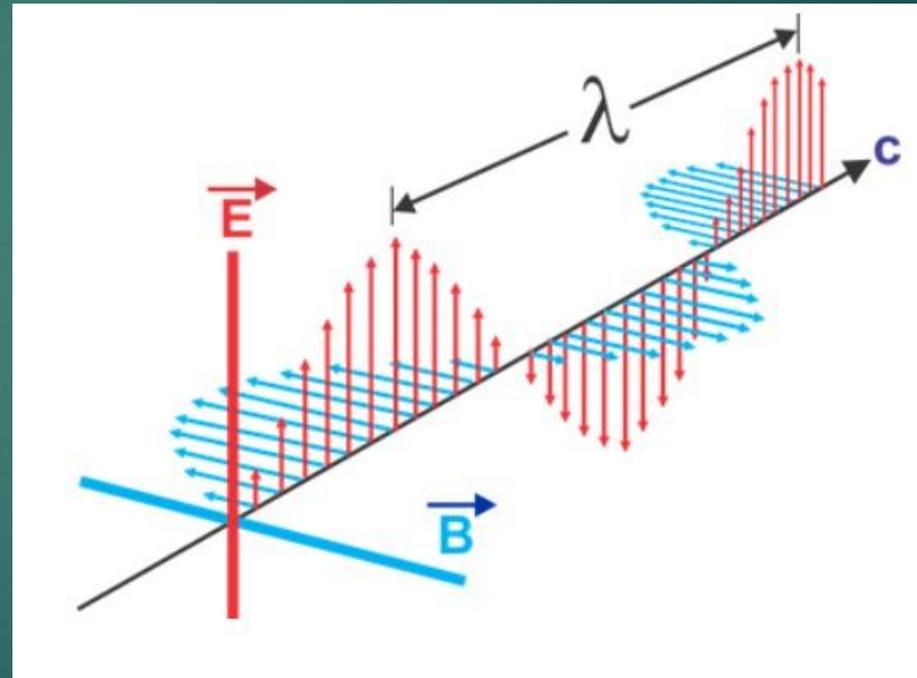
Ondas electromagnéticas

- ▶ Las ondas **electromagnéticas (EM)** están formadas por campos eléctricos (\vec{E}) y magnéticos (\vec{B}) que oscilan perpendicularmente entre sí y, al mismo tiempo, ambos son perpendiculares a la dirección de propagación.



Ondas electromagnéticas

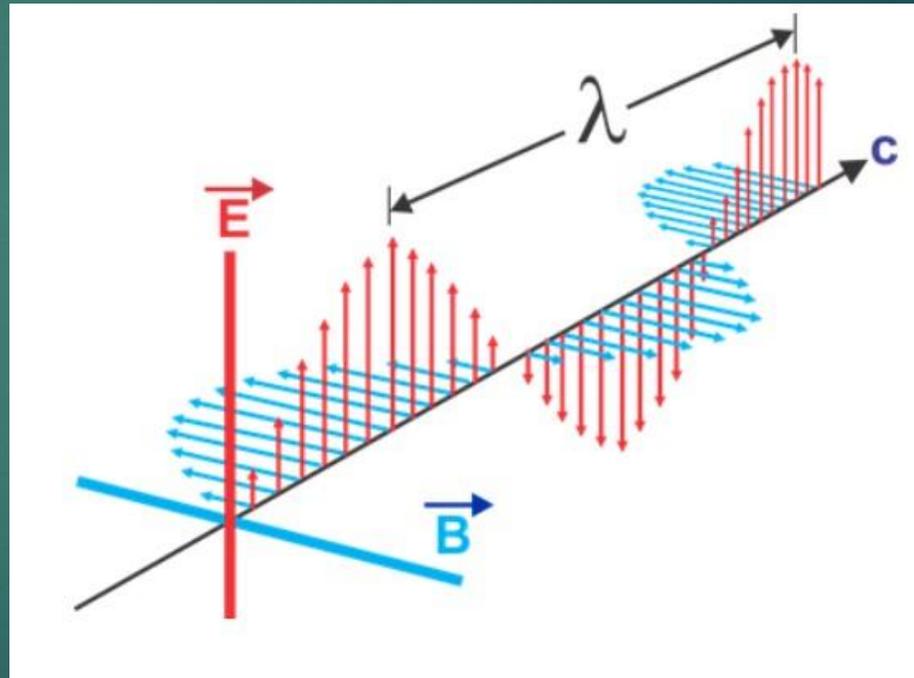
- ▶ La distancia de cresta a cresta es la longitud de onda λ , medida en metros [m].
- ▶ El número de ciclos por unidad de tiempo es la frecuencia f de la onda EM, medida en Hertz o hercios [Hz].
- ▶ Las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz $c = 3.00 \times 10^8 \frac{m}{s}$.



Ondas electromagnéticas

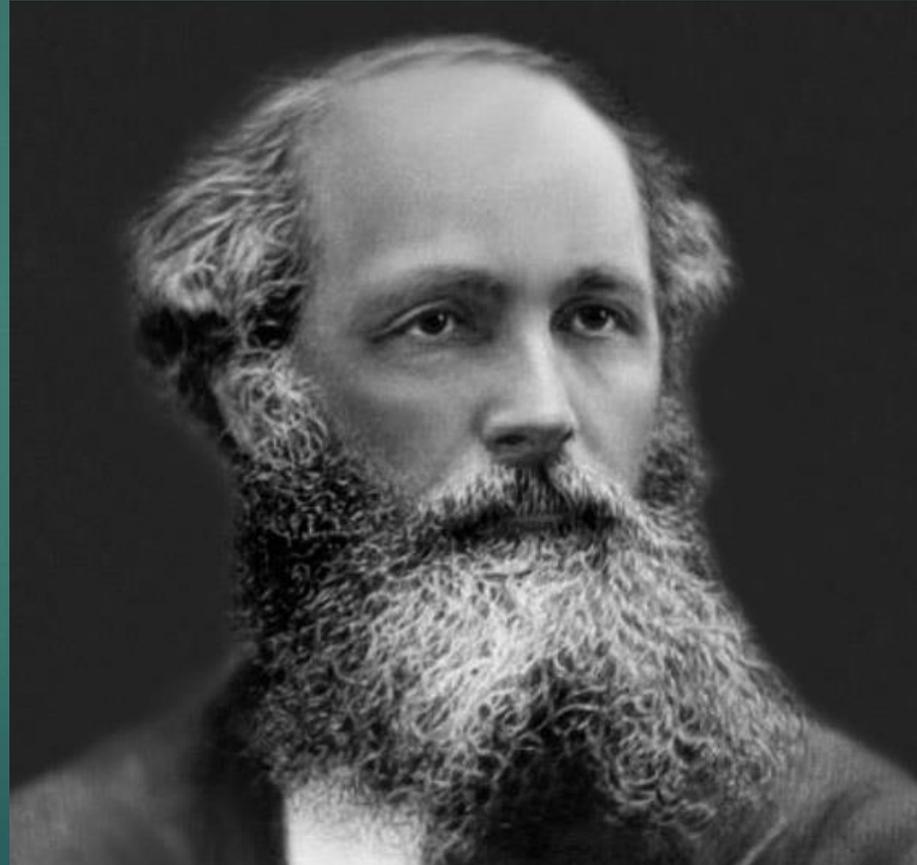
- ▶ De forma análoga a las ondas mecánicas, el producto de la longitud de onda multiplicado por la frecuencia es igual a la velocidad de la onda (en este caso, de las ondas EM):

$$c = \lambda f$$

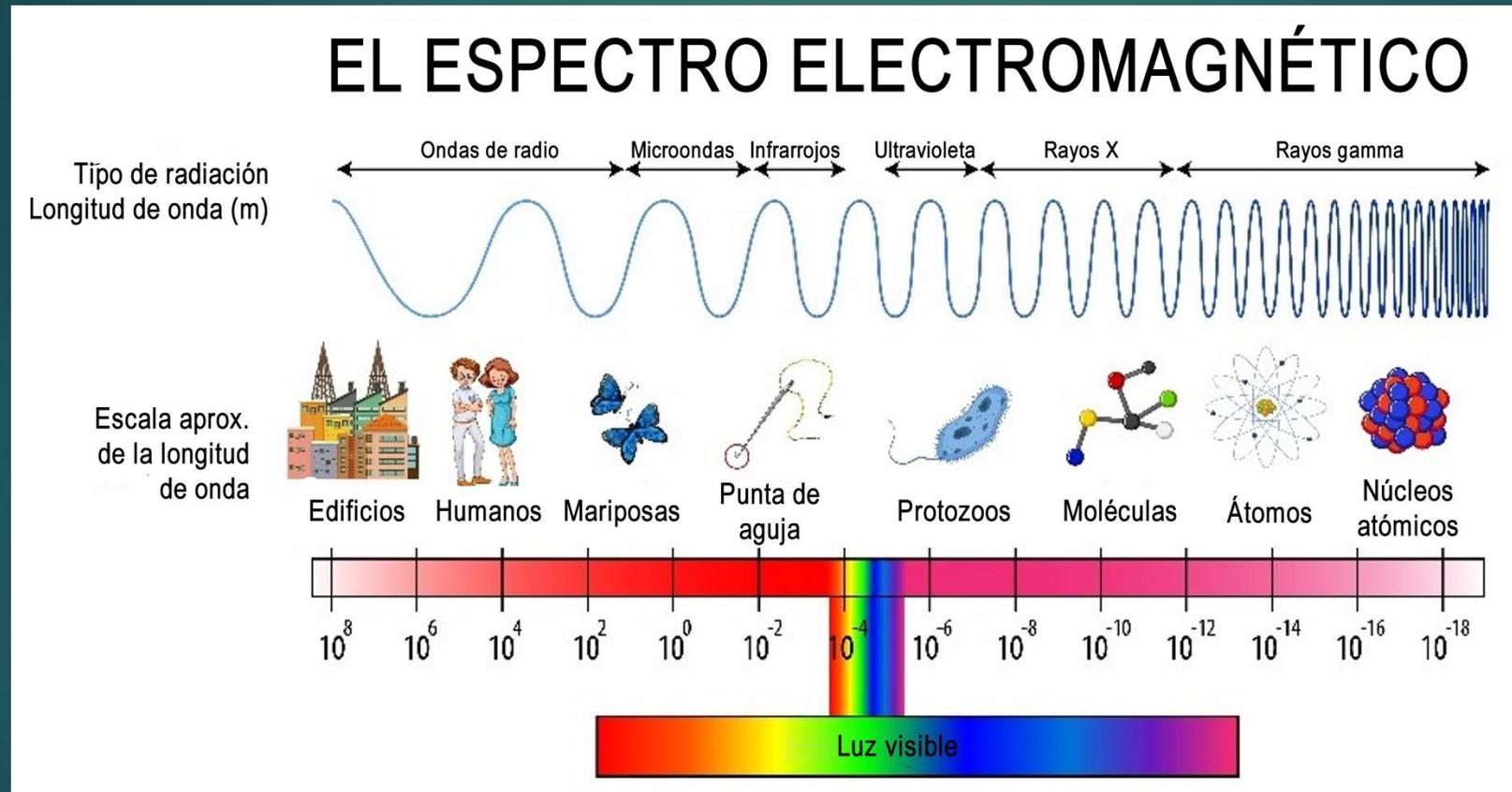


Ondas electromagnéticas

- ▶ Las ondas EM fueron descubiertas por el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879), quien unificó los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría.



El espectro electromagnético



El espectro electromagnético

Rayos gamma (rayos γ)

- ▶ Longitud de onda de aproximadamente 100 pm o menor.
- ▶ Las frecuencias corresponden a más de 30 EHz .
- ▶ Ondas electromagnéticas altamente energéticas.
- ▶ Los rayos gamma se utilizan en el campo de la medicina para destruir las células cancerosas.

Nota: $p = 10^{-12}$ (pico) y $E = 10^{18}$ (Exa).

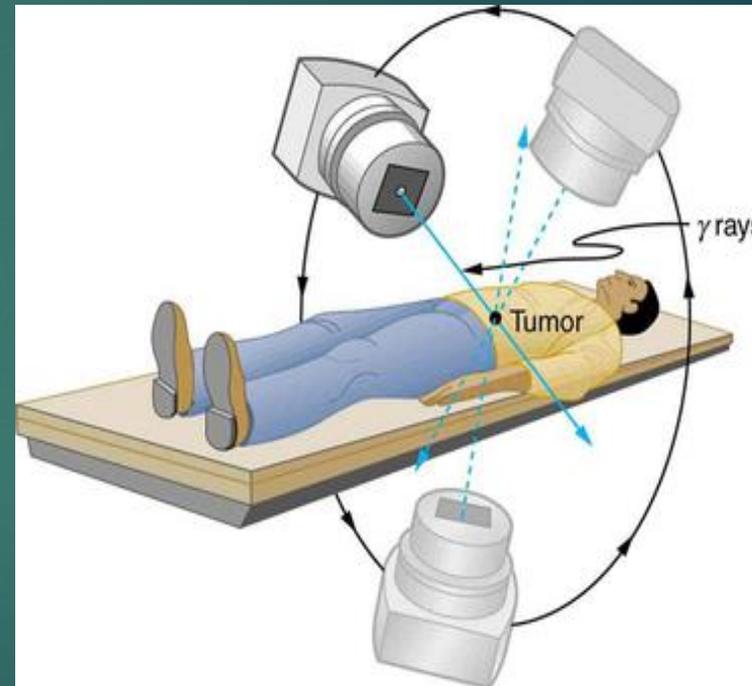


Imagen cortesía de <https://clipart-library.com/clipart/1724115.htm>

El espectro electromagnético

Rayos X

- ▶ Longitudes de onda de 0.01 nm a 10 nm .
- ▶ Frecuencias correspondientes de 30 PHz a 30 EHz .
- ▶ Las ondas EM de los rayos X se utilizan en el campo de la odontología y la medicina porque penetran la piel e interactúan con las estructuras de los huesos.

Nota: $P = 10^{15}$ (*Peta*) y $E = 10^{18}$ (*Exa*).



Imagen cortesía del Instituto Nacional del Cáncer en Unsplash

El espectro electromagnético

Ultravioleta (UV)

- ▶ La longitud de onda aproximadamente es de 400 nm a 10 nm .
- ▶ Las frecuencias correspondientes son de entre 750 THz y 30 PHz .
- ▶ Los humanos no podemos ver en el rango UV, pero algunos animales como las abejas sí pueden ver esta parte del espectro (ver la foto de la derecha que se tomó con una cámara sensible a UV).

Nota: $T = 10^{12}$ (Tera) y $P = 10^{15}$ (Peta).



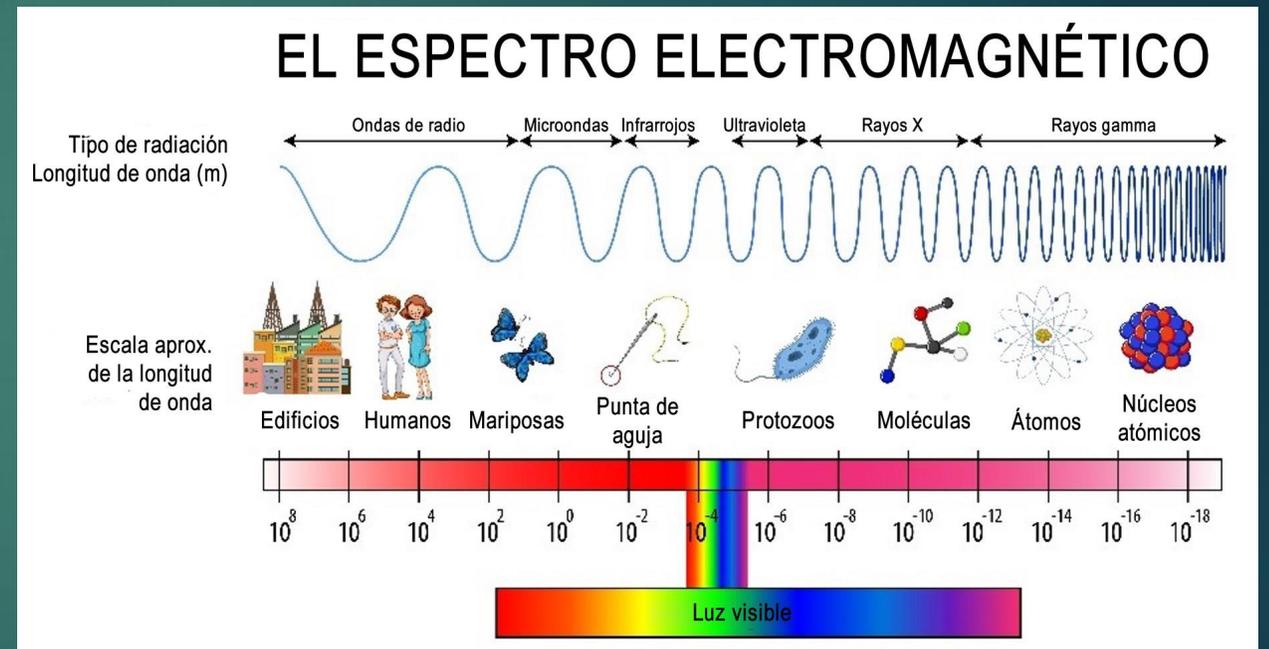
<https://brilliantstarmagazine.org/articles/bees>

El espectro electromagnético

Espectro visible (luz visible)

- ▶ La longitud de onda es de aproximadamente 380 a 750 *nm* (nanómetros).
- ▶ Las frecuencias correspondientes son de entre 790 y 400 *THz* (Tera-Hertz / terahercios)
- ▶ La rama de la física que estudia las ondas luminosas visibles del espectro EM se llama **óptica**.

Nota: $T = 10^{-9}$ (nano) y $T = 10^{12}$ (Tera).



El espectro electromagnético

Microondas

- ▶ Las longitudes de onda típicas varían entre 30 centímetros (cm) y 1 milímetros (mm).
- ▶ Su uso más popular es calentar alimentos con microondas. El agua y la grasa absorben estas ondas EM.
- ▶ La radiación cósmica de fondo de microondas se estudia en astronomía como un residuo del Big Bang.



Fotografía de [Stepan Kulyk](#) en [Unsplash](#)

El espectro electromagnético

Infrarrojos

- ▶ Varía generalmente entre menos de 700 *nm* y aproximadamente 1 *mm*.
- ▶ Las frecuencias correspondientes varían entre aproximadamente 300 *GHz* y 400 *THz*.
- ▶ Los ojos humanos no pueden percibir las ondas EM infrarrojas.
- ▶ Los equipos especializados pueden crear imágenes (cámaras térmicas, por ejemplo).
- ▶ Algunos animales, como la serpiente, pueden ver en la gama infrarroja del espectro.

Nota: $T = 10^{-9}$ (nano), $m = 10^{-3}$ (mili), $T = 10^9$ (Giga) y $T = 10^{12}$ (Tera).



https://www.optica-opn.org/home/newsroom/2020/october/illuminating_the_infrared_vision_of_snakes/

Telescopio infrarrojo James Webb



Imagen cortesía de la NASA

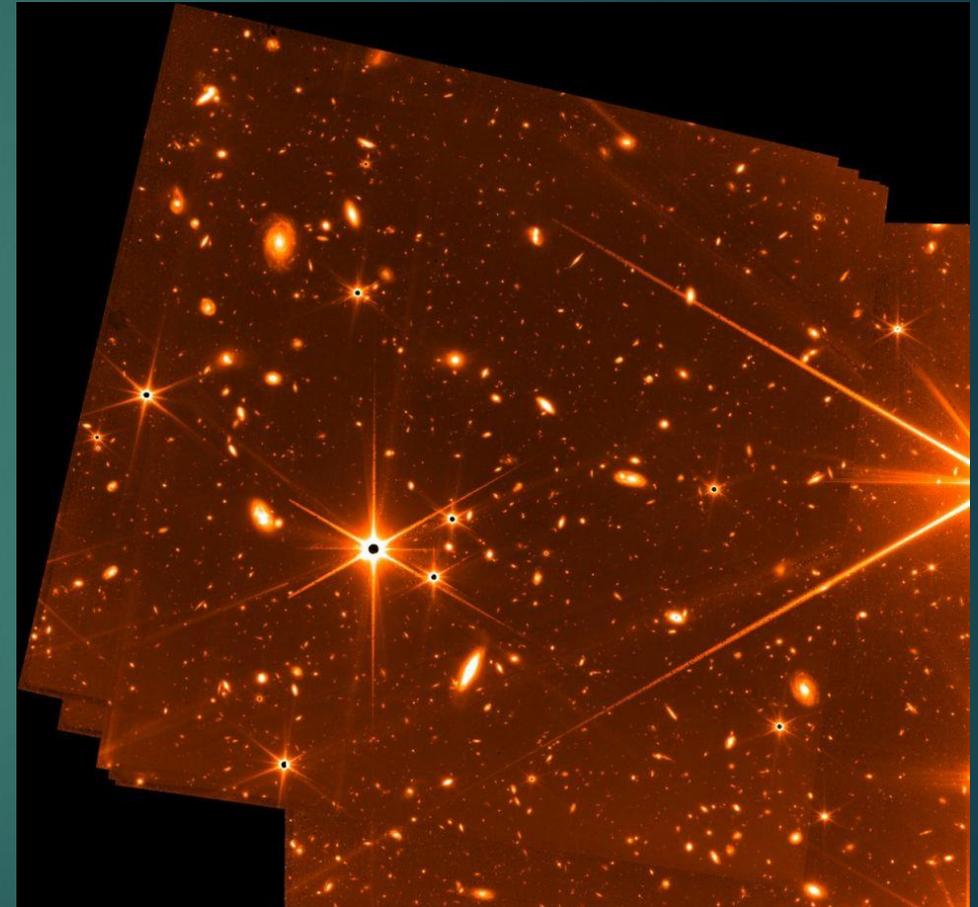


Imagen cortesía de la NASA/CSA y del equipo FGS/Flickr (CC BY 2.0)

El espectro electromagnético

Ondas de radio

- ▶ La longitud de onda varía entre $10^4 m$ y $30 cm$.
- ▶ Las frecuencias correspondientes varían de aproximadamente $3 Hz$ a GHz .
- ▶ Ondas EM menos energéticas y de mayor longitud de onda.



Foto cortesía de NRAO

El espectro electromagnético

Ondas de radio

- ▶ La radio, la televisión y las comunicaciones inalámbricas se encuentran en este rango del espectro electromagnético.
- ▶ Son esenciales para la comunicación global.



Foto de [Jorge Salvador](#) en [Unsplash](#)

Ondas de radio

- ▶ Fueron descubiertas por el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894) a finales de la década de 1880.
- ▶ El primer uso de la comunicación inalámbrica por radio se atribuye a Guglielmo Marconi (1874-1937), inventor e ingeniero eléctrico italiano.



Heinrich Hertz



Guglielmo
Marconi

Ondas de radio

Aplicaciones de las ondas de radio

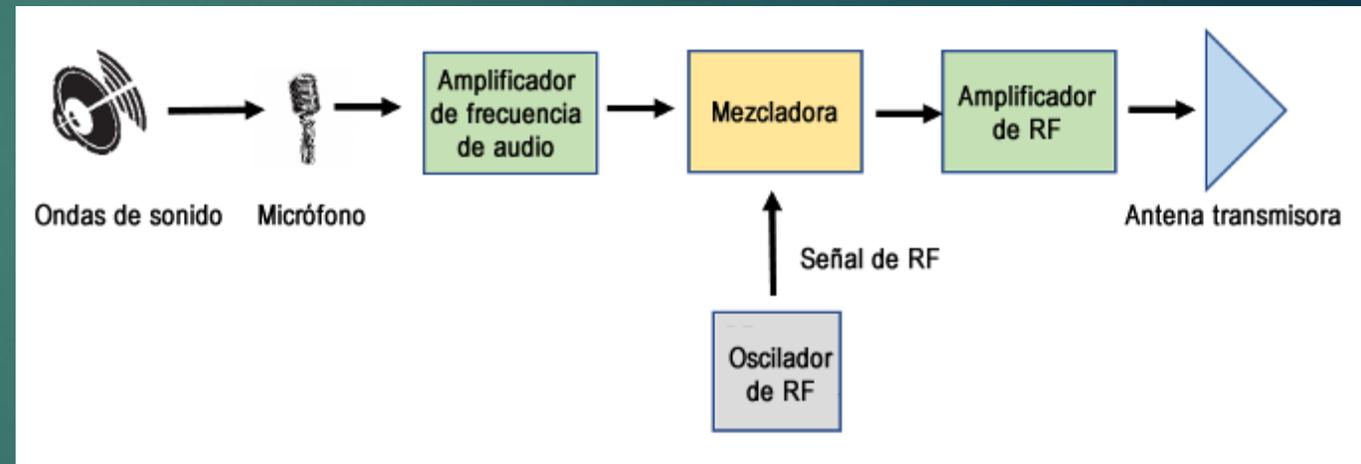
- ▶ TV
- ▶ Difusión de radio AM y FM
- ▶ Teléfonos móviles
- ▶ Radio para aficionados
- ▶ Satélites
- ▶ Comunicación militar
- ▶ Teléfonos celulares
- ▶ Bluetooth
- ▶ Control remoto sin llave
- ▶ Otros

Ondas de radio

Transmisión por radio

En la imagen se describe el proceso mediante el cual las estaciones de radio transmiten señales de ondas de radiofrecuencia (palabras o música).

1. Las ondas sonoras se convierten en señales eléctricas de la misma frecuencia. Normalmente se utiliza un micrófono, pero también pueden usarse otros equipos, como láseres.



Ondas de radio

Transmisión por radio

2. La señal eléctrica se llama señal de audiofrecuencia (AF) porque sus frecuencias se encuentran en el rango de audio, aproximadamente de 20 Hz a 20,000 Hz.

3. La señal se amplifica electrónicamente y luego se mezcla con la señal de radiofrecuencia (RF), llamada frecuencia portadora. La señal portadora puede ser en AM o FM, lo que explicaremos más adelante.

Radio Transmission

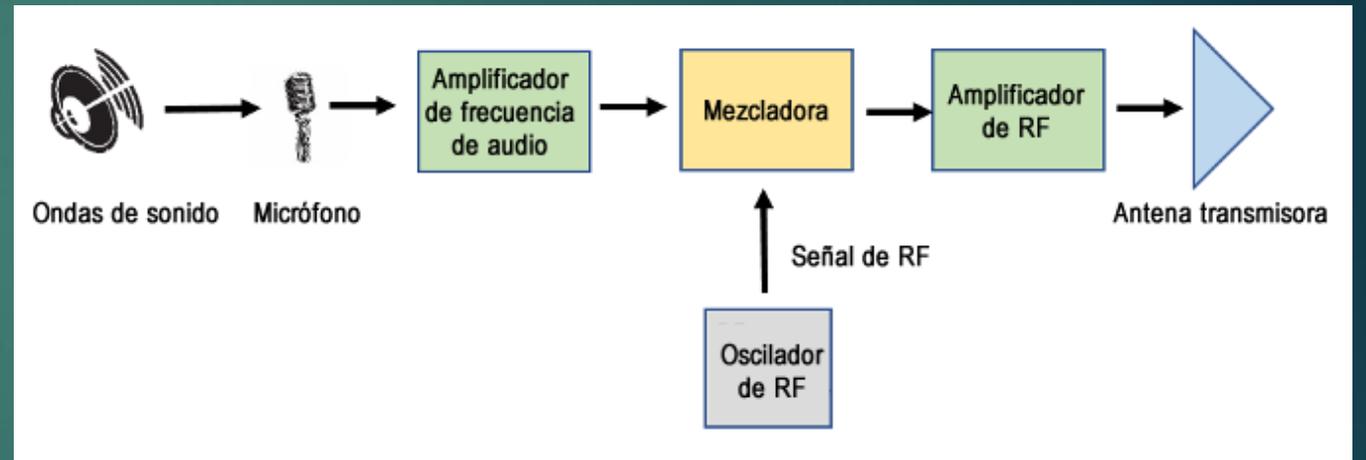
2. The electric signal is called audio-frequency (AF) signal because its frequencies are in the audio range, from about 20 Hz to 20,000 Hz.

3. The signal is amplified electronically and then mixed with radio frequency (RF) signal, called carrier frequency. The carrier signal could be in AM or FM, which will be explained.

Ondas de radio

Transmisión por radio

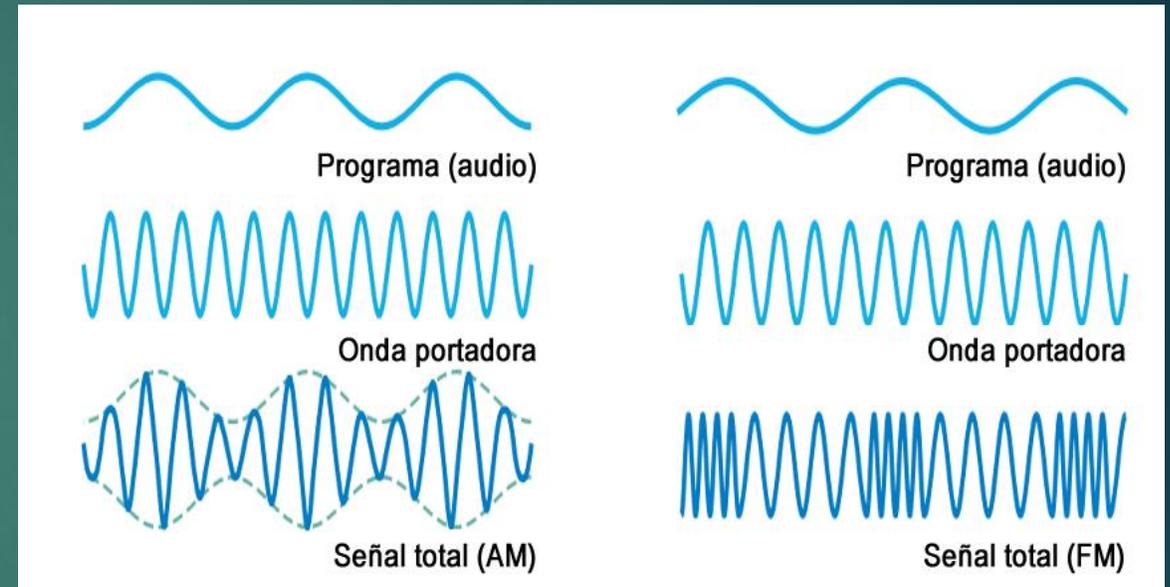
4. La onda de radiofrecuencia se amplifica y se transmite a través de la antena de transmisión.



Ondas de radio

Amplitud modulada (AM)

- ▶ Amplitud modulada significa que la amplitud de la onda de RF portadora varía de acuerdo con la amplitud del audio (ver el caso en la imagen de la izquierda).
- ▶ La longitud de onda (distancia de pico a pico λ) sigue siendo la misma, al igual que su frecuencia.
- ▶ En el caso de la amplitud modulada, las frecuencias portadoras son entre 530 kHz y 1700 kHz.

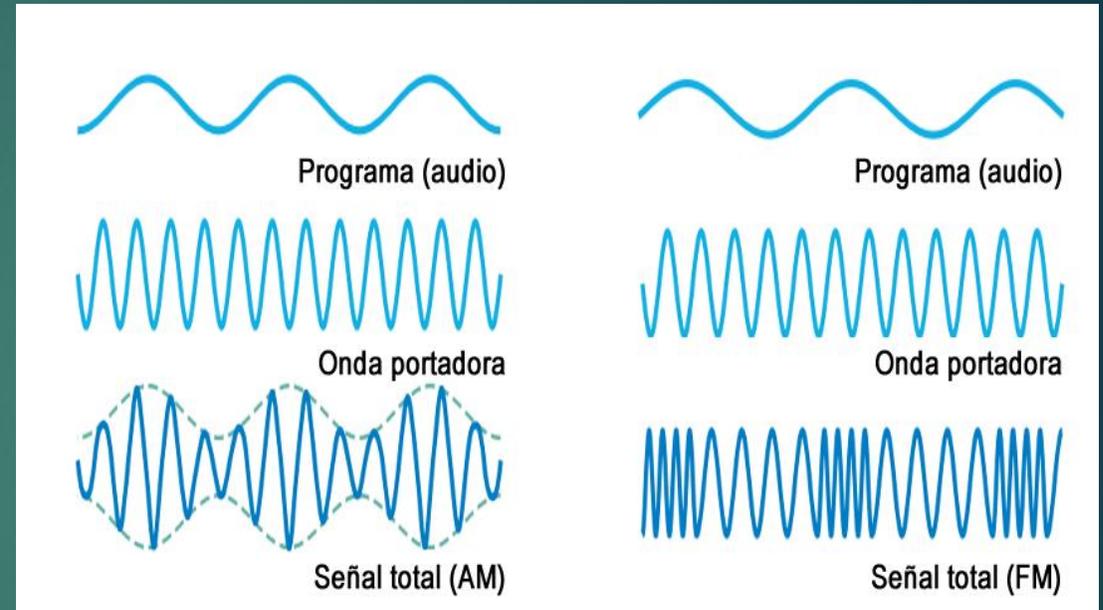


Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 4ª edición; D. Giancoli; Pearson Prentice Hall.

Ondas de radio

Frecuencia modulada (FM)

- ▶ En la frecuencia modulada, la frecuencia portadora varía de acuerdo con la amplitud del audio.
- ▶ El rango de FM es de entre 88MHz y 108MHz , aproximadamente.



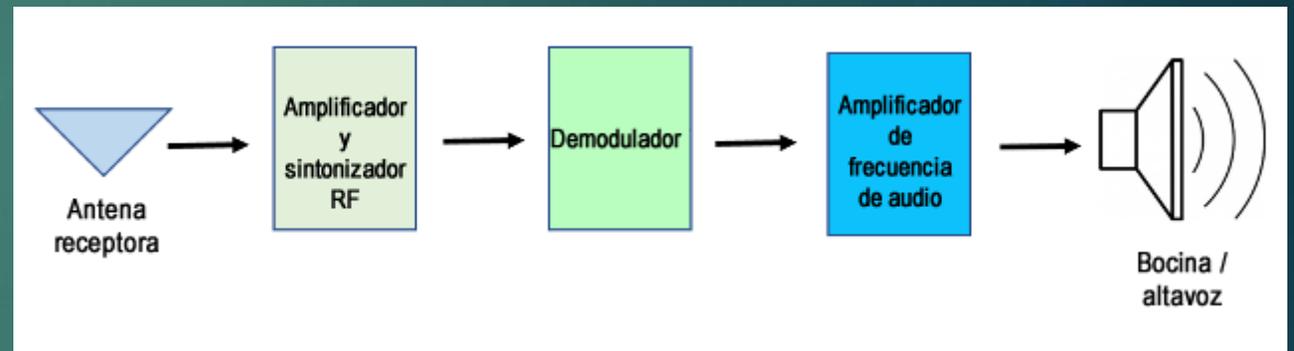
*Physics for Scientists and Engineers with Modern
Physics, 4ª edición; D. Giancoli; Pearson Prentice Hall.*

Ondas de radio

Receptor de radio

1. La antena recibe las ondas de radiofrecuencia emitidas por las estaciones.
2. Las señales de RF que recibe la antena contienen diferentes frecuencias, por lo que se utiliza un circuito *LC* en el receptor para seleccionar una RF determinada para una estación en particular.

Nota: En electrónica, circuito LC significa inductor o bobina (L) y capacitor o condensador (C).

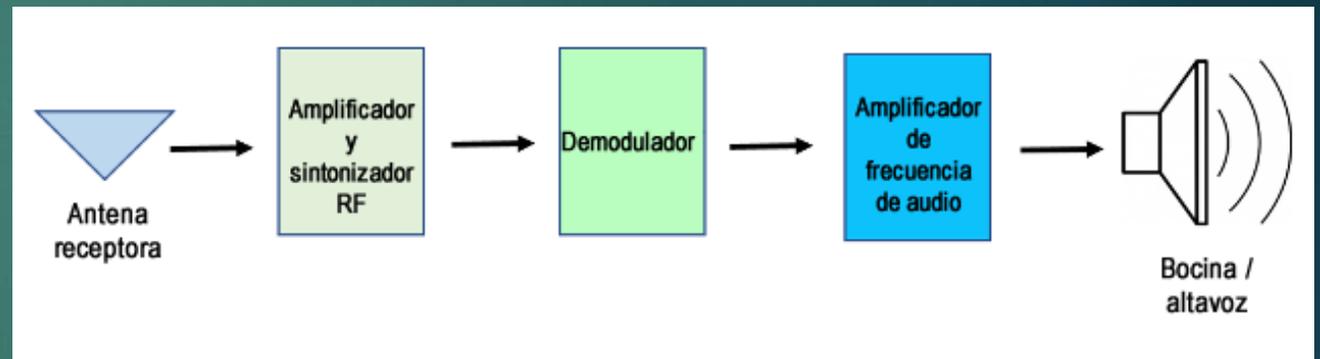


Ondas de radio

Al "sintonizar" una estación de RF en particular, se ajusta la capacitancia C y/o la inductancia L , de modo que la frecuencia del circuito resuene (coincida) con la RF.

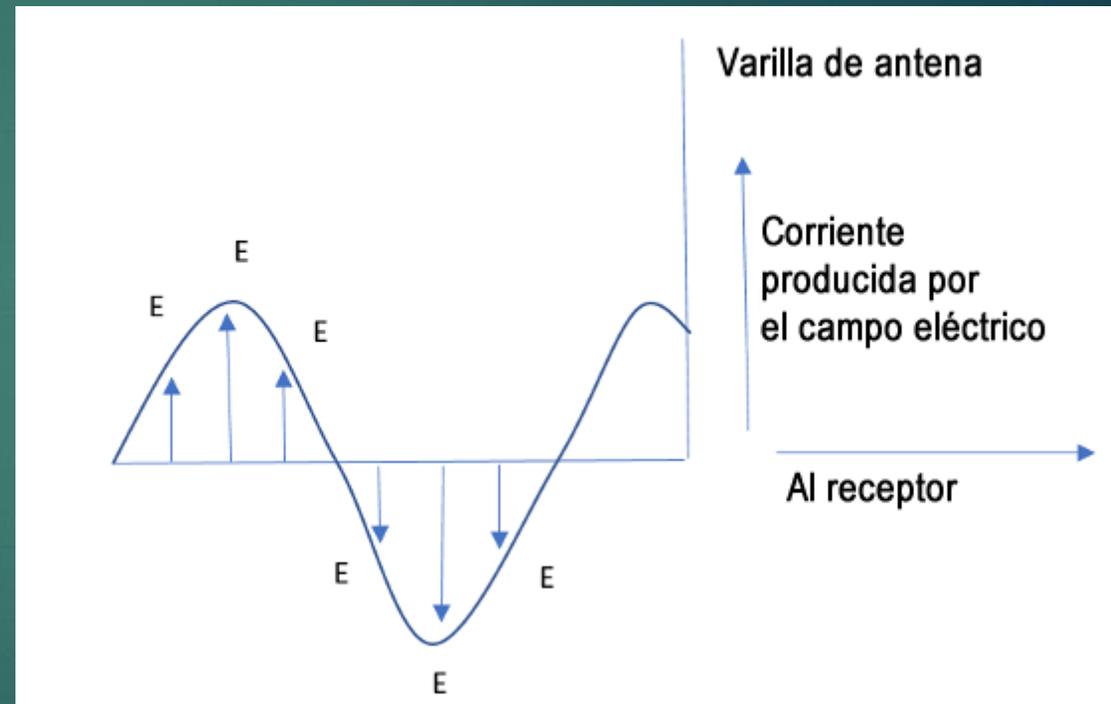
3. Luego la señal de RF pasa al demodulador, donde se separa la señal de audio de la portadora.

4. La señal de audio se amplifica y se envía a un altavoz o bocina.



Ondas de radio

La antena consiste en un cable recto o de varillas que reciben la onda EM, y el campo eléctrico (\vec{E}) induce una corriente (I) a la misma frecuencia de onda EM.



Ondas de radio - Reglamentación

Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)

- ▶ Administra el espectro de radiofrecuencias para uso no federal.
- ▶ Utilizado por los gobiernos estatales y locales, así como para uso comercial, privado interno y personal.



Ondas de radio - Reglamentación

Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información (NTIA)

- ▶ Administra el espectro de radiofrecuencias para uso federal.
- ▶ Utilizado por el Ejército, la FAA y el FBI.



Ondas de radio - Reglamentación

Unión Internacional de Comunicaciones (UIT)

- ▶ Agencia especializada de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).



*The UN specialized
agency for ICTs*

Referencias

1. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 4ª edición; D. Giancoli; Pearson Prentice Hall.*
2. *Fundamentals of Physics, 9ª edición, Halliday & Resnick and Walker, John Wiley & Sons Inc.*
3. *University Physics with Modern Physics, 13ª edición; Zears & Zemansky, Young and Freedman, Pearson Prentice Hall.*
4. <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation/Ultraviolet-radiation>
5. <https://brilliantstarmagazine.org/articles/bees>
6. https://www.optica-opn.org/home/newsroom/2020/october/illuminating_the_infrared_vision_of_snakes/

Referencias

1. <https://www.epa.gov/radtown/radiation-and-medical-x-rays>
2. <https://electromagneticspectrumscience.weebly.com/gamma-rays.html>
3. <https://www.nbcnews.com/science/space/james-webb-telescope-finishes-crucial-steps-way-final-orbit-rcna11417>
4. <https://universemagazine.com/en/the-deepest-infrared-view-of-the-universe-from-the-james-webb-telescope/>
5. https://science.nasa.gov/ems/05_radiowaves#:~:text=Heinrich%20Hertz%20proved%20the%20existence,gap%20on%20a%20receiving%20antenna
6. [https://www.fcc.gov/engineering-technology/policy-and-rules-division/general/radio-spectrum-allocation#:~:text=The%20radio%20spectrum%20is%20the,and%20Information%20Administration%20\(NTIA\)](https://www.fcc.gov/engineering-technology/policy-and-rules-division/general/radio-spectrum-allocation#:~:text=The%20radio%20spectrum%20is%20the,and%20Information%20Administration%20(NTIA))
7. <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>

- ▶ <https://pioneerinstitute.org/opeds/guglielmo-marconi-and-the-importance-of-innovation-and-choice-in-education/>
- ▶ <http://www.arrl.org/Groups/view/puerto-rico-ar-league>