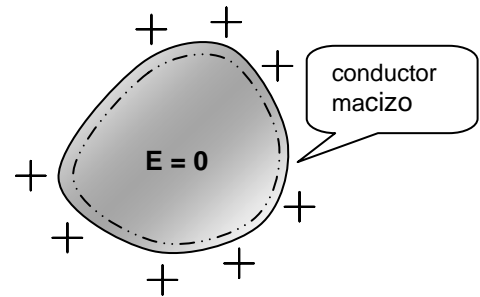


Compruebe sus Conocimientos (2)

1. [Cuando se añaden cargas en exceso a un conductor aislado, ¿cómo se distribuyen?](#)
2. [¿Cuál fue el primer condensador práctico conocido?](#)
3. [¿De donde sale la energía de los rayos?](#)
4. [¿Que es la rigidez dieléctrica?](#)
5. [¿Cómo define Ud. una Fuerza Electromotriz \(FEM\)? ¿Cuántos tipos de FEM conoce Ud.?](#)
6. [¿Existe alguna diferencia básica para conectar un voltímetro o un amperímetro en un circuito eléctrico?](#)
7. [¿Qué es el magnetismo? ¿Cuál es su origen?](#)
8. [¿A que se le llama “magnetización técnica”?](#)
9. [¿Cómo se generan las ondas de radio y televisión?](#)
10. [¿Qué es el espectro electromagnético?](#)
11. [¿Son capaces las ondas electromagnéticas de atravesar libremente la atmósfera?](#)
12. [¿Cómo interacciona la radiación electromagnética con los organismos vivos?](#)
13. [¿Qué es realmente la luz ¿una onda o un flujo de partículas?](#)
14. [¿A que se le llama “espectro visible”?](#)
15. [¿Qué es un espejismo?](#)
16. [¿Cómo se origina un arco iris?](#)
17. [¿De que forma analizan los astrónomos la composición de las estrellas situadas a distancias de años luz de la Tierra?](#)
18. [¿Cuál es el principio físico en que se basa el funcionamiento de la fibra óptica?](#)
19. [¿Tiene el ojo humano la misma sensibilidad para todos los colores?](#)
20. [¿En que consiste la difusión de la luz?](#)
21. [¿Que es la coherencia en óptica? ¿Tiene alguna relación con los láseres?](#)
22. [¿Viaja siempre la luz en línea recta?](#)
23. [¿En que difiere la difracción de Rayos X de las radiografías?](#)
24. [¿Cuál es el fundamento físico del “efecto invernadero”?](#)
25. [¿Es posible lograr que una partícula se comporte como una onda?](#)

Cuándo se añaden cargas en exceso a un conductor aislado, ¿cómo se distribuyen?

Si se añaden cargas en exceso al conductor (que supondremos positivas), éstas tendrán a repelerse y se moverán alejándose unas de las otras (si no fuera un conductor no podrían moverse libremente). Al alcanzarse el equilibrio, las cargas deberán estar lo mas alejadas posibles unas de otras; es decir, sobre la superficie externa del conductor. El resultado no depende de si el conductor es hueco o macizo.



La superficie del conductor representa un salto de discontinuidad de un medio a otro. Es una frontera entre dos medios diferentes. A nivel atómico-molecular, esa discontinuidad de origen a fuerzas de atracción que, en condiciones normales, impiden que las cargas en exceso escapen fuera de la superficie del conductor. Si la carga en exceso aumenta continuamente, llega un momento en que las fuerzas de repulsión entre las cargas son mayores que las causadas por la discontinuidad en la superficie, y la chispa salta.

Uno de los experimentos más concluyentes en este sentido fue el llevado a cabo por Michael Faraday (1791-1867), quien construyó una gran caja metálica, la colocó sobre soportes aislantes y la cargó con un poderoso generador. Describió así los resultados: "Me metí dentro del cubo, ... y usando velas encendidas, electrómetros y otras pruebas de estados de electrización, no pude encontrar la mínima influencia sobre ellos ... a pesar de que todo el tiempo el exterior del cubo estaba poderosamente cargado, y salían chispas y descargas dispersas de todos los puntos de su superficie exterior".



Faraday llevó a cabo importantes contribuciones a la física y la química. Descubrió el fenómeno conocido como inducción electromagnética al observar que en un cable que se mueve en un campo magnético aparece una corriente. Este descubrimiento llevó a la invención del generador eléctrico. Entre los trabajos de Faraday en química figuran el enunciado de las leyes de la electrólisis y el descubrimiento del benceno.

[Inicio](#)

¿Cuál fue el primer condensador práctico conocido?

En la figura adjunta se observa una foto de la *botella de Leyden*, uno de los condensadores más simples, descubierto alrededor de 1745, de forma independiente, por el físico holandés Pieter van Musschenbroek de la Universidad de Leyden y el físico alemán Ewald Georg von Kleist.

Originalmente era una botella de cristal llena de agua y cerrada, con un alambre o una aguja que traspasaba el tapón y tocaba el agua. Se cargaba poniendo la parte saliente del alambre en contacto con una fuente de voltaje. Cuando se interrumpía el contacto y se tocaba el alambre con la mano, se producía una descarga, manifestada como una sacudida violenta.

La botella actual se recubre con una capa de estaño, tanto por la parte interior como por la exterior. El contacto eléctrico se realiza con una barra de latón que atraviesa el tapón de la botella y que está en contacto con la capa interior de metal mediante una cadena. Se produce una descarga completa cuando se conectan las dos capas por medio de un conductor. La botella de Leyden se utiliza todavía para demostraciones y experimentos en los laboratorios.



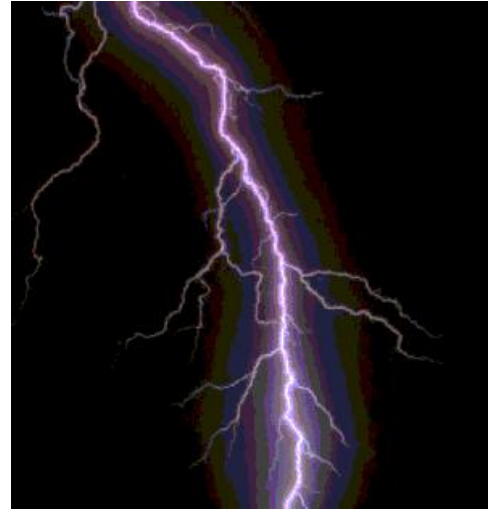
[Inicio](#)

¿De donde sale la energía de los rayos?

El Rayo y las Cargas Eléctricas. No se conoce por completo el modo en el que se cargan las nubes de electricidad, pero la mayoría tienen carga negativa en la base y positiva en la cima. Muchos meteorólogos creen que el hielo es un factor necesario para que ocurra la polarización, porque los rayos no suelen observarse hasta que ocurre la formación de hielo en las capas superiores de las nubes.

Ciertos experimentos muestran que las gotas de agua grandes, con caída rápida, se negativizan, mientras que las gotas pequeñas, que caen con mayor lentitud se vuelven electropositivas. Por tanto, la polarización de una nube es probable que se produzca por las distintas velocidades de caída de las gotas grandes y pequeñas.

Como quiera que se forme, la carga negativa en la base de la nube induce otra positiva en la tierra situada debajo que actúa como la segunda placa de un condensador gigante. Cuando el potencial eléctrico entre dos nubes o entre una nube y la tierra alcanza una magnitud suficiente (unos 10 000 V por cm), el aire se ioniza a lo largo de una trayectoria estrecha, y se produce el destello de un relámpago.



[Inicio](#)

¿Que es la rigidez dieléctrica?

Si la diferencia de potencial entre las placas de un condensador con dieléctrico aumenta mas allá de cierto valor, los átomos que forman el dieléctrico pueden llegar a ionizarse a causa de la fuerza de interacción entre el campo y las cargas ligadas. El dieléctrico se transforma entonces en conductor en una región muy localizada, y salta una chispa muy intensa que es capaz incluso de perforar el dieléctrico y dañar el condensador o el circuito que le proporciona energía.

La capacidad de un dieléctrico de oponerse a la perforación se mide por la *rigidez dieléctrica*. Se define como la intensidad de campo máxima E_{rig} que puede ser alcanzada dentro del dieléctrico antes de que ocurra la perforación. Como $E = -dV/dx$, se acostumbra expresar E_{rig} en unidades de potencial por longitud.

En la tabla siguiente aparecen algunos valores típicos. Note que la rigidez es mayor para los sólidos, y mucho menor para líquidos y gases.

Material	E_{rig} (MV/cm)
mica	100 - 300
goma	30 -50
aceite de transformador	15 - 25
aire en condiciones normales	2 - 5

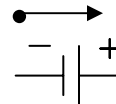
[Inicio](#)

¿Cómo define Ud. una Fuerza Electromotriz (FEM)? ¿Cuántos tipos de FEM conoce Ud.?

Una fuerza electromotriz (FEM) es cualquier fuente de energía capaz de establecer una diferencia de potencial, o una corriente, en una resistencia u otro dispositivo. Se designa usualmente por la letra ϵ . El valor de la FEM es la diferencia de potencial en los bornes o electrodos del dispositivo que la genera cuando por la misma no circula corriente; es decir;

$$\epsilon = V_{ab} \text{ a circuito abierto}$$

En los esquemas de circuitos eléctricos, las FEM se simbolizan como se ve en la figura adjunta, donde $V+ > V-$. El *sentido* de la FEM se toma de $-$ a $+$. En la tabla siguiente aparecen los diferentes tipos de FEM conocidos.

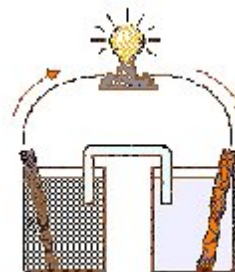


Tipo de FEM	Fuente de Energía
pila o batería	química
generador	mecánica
celda solar	luminosa
termoelectricidad	térmica

Baterías

Las baterías o pilas aprovechan la electricidad de una reacción química espontánea para generar una corriente eléctrica. Se pueden conectar *en serie*, una a continuación de la otra, para incrementar el valor de la FEM que proporcionan.

La primera batería conocida, la llamada *pila de Volta* o *pila voltaica*, utiliza tiras de cinc y cobre sumergidas en disoluciones de ácido sulfúrico y sulfato de cobre respectivamente, que actúan como electrodos. Un puente salino de cloruro de potasio permite a los electrones fluir entre las cubetas sin que se mezclen las disoluciones. Cuando el circuito entre los dos sistemas se completa con un conductor, la reacción genera una corriente capaz de encender una bombilla (ver figura). Durante la reacción química el metal de la tira de cinc se consume (oxidación), mientras que la tira de cobre aumenta de grosor al reaccionar los electrones con el sulfato de cobre para producir metal adicional (reducción).

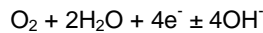
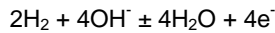


Existen muchos tipos de baterías en dependencia de las disoluciones utilizadas y de los metales que se usen como electrodos. Las diferencias de potencial o *voltajes* capaces de ser entregados por las baterías también son diferentes. Las pilas más utilizadas hoy en día aparecen en la tabla siguiente.

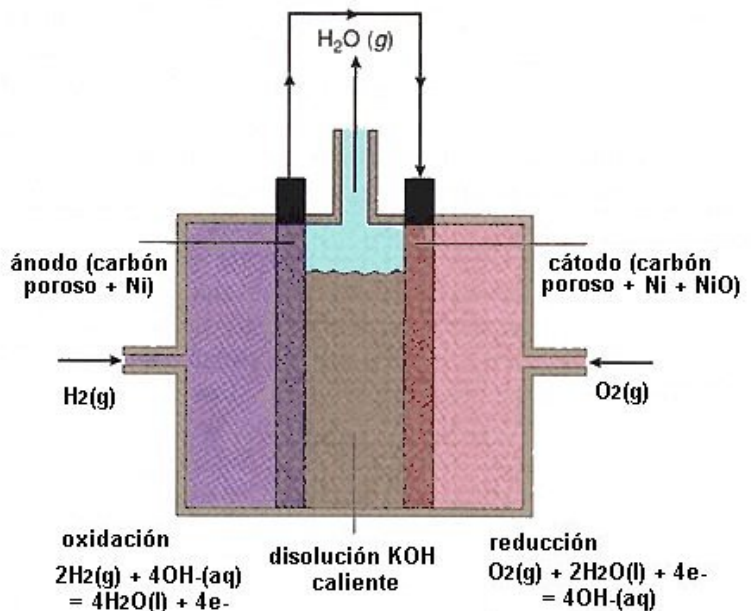
Pila	Electrodos	Electrolito	ϵ
seca	cinc y carbono-MnO ₂	cloruro de amonio + cloruro de zinc	1.5 V
acumulador de plomo	plomo y oxido de plomo	ácido sulfúrico	2 V

alcalina	níquel y hierro o cadmio	hidróxido de potasio	1.15 V
mercurio	cinc y óxido de Hg	hidróxido de potasio	1.34 V
combustible	hidrógeno y oxígeno	hidróxido de potasio	1.2 V

Una *pila de combustible* consiste en un ánodo en el que se inyecta el combustible (hidrógeno, amoníaco o hidracina) y un cátodo en el que se introduce un oxidante (normalmente aire u oxígeno). Los electrodos están separados por un electrolito iónico conductor. En la pila de hidrógeno-oxígeno las reacciones en el ánodo y el cátodo son, respectivamente:



Los electrones producidos en el ánodo se mueven por un circuito externo, donde la energía generada se puede aprovechar, y pasan al cátodo. Los iones OH^- producidos en el cátodo son conducidos por el electrolito al ánodo, donde se combinan con el hidrógeno y forman agua, que debe ser extraída continuamente para evitar que inunde la pila. La FEM de esta pila de combustible es de 1.2 V.



Las pilas de combustible de hidrógeno-oxígeno fueron utilizadas en los programas espaciales norteamericanos *Géminis* y *Apolo* porque, para una masa dada, son capaces de generar mucha más energía que cualquier otro tipo de batería. La *Apolo 11* realizó el primer descenso en la Luna el 20 de julio de 1969. El programa lunar culminó con el *Apolo 17*, en diciembre de 1972.

La temperatura de trabajo de la pila hidrógeno-oxígeno varía entre 60 y 200°C. Utilizando un conjunto de baterías en serie es posible obtener hasta 2 kW de potencia a bajo voltaje. Las pilas de combustible atraen mucho la atención como posibles fuentes de energía porque poseen una alta eficiencia, del orden del 50-60%, y no contribuyen a la contaminación ambiental, generando solamente agua y calor como productos de desecho.

También es posible encontrar fuentes de voltaje químico en los organismos vivos. Por ejemplo, el pez torpedo o raya eléctrica es capaz de generar energía eléctrica con unas columnas de células apiladas con forma de placas, llamadas *electroplacas*, que se disponen dentro de paquetes musculares muy pequeños a ambos lados de su cabeza. Unos nervios ramificados por todos los órganos eléctricos inician la descarga eléctrica, que se amplifica al pasar a través de las columnas. El pez torpedo rodea a sus presas con sus aletas pectorales y las paraliza con una descarga de unos 200 volt.

Los peces eléctricos más importantes, además del pez torpedo, son las anguilas eléctricas y los peces gato. Las anguilas eléctricas de mayor tamaño pueden emitir descargas de 450 a 600 volt.

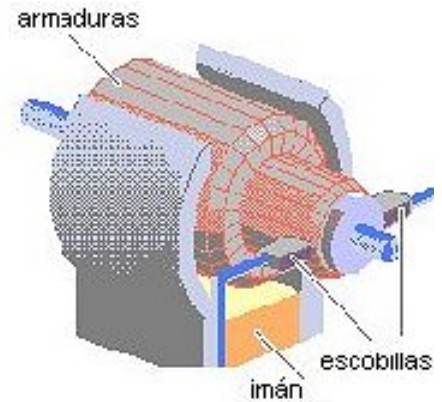
Generadores

Un generador es un dispositivo que permite convertir la energía mecánica a energía eléctrica, basado en el fenómeno de *inducción magnética*, descubierto por Michel Faraday en 1831. Cuando se hace rotar el eje del dispositivo mediante algún agente mecánico, las armaduras barren el campo magnético generado por el imán permanente y se establece una diferencia de potencial en los extremos de las armaduras. Las escobillas sirven para transmitir la diferencia de potencial hasta los terminales o *bornes* y de ahí a un circuito externo, donde se genera una corriente.

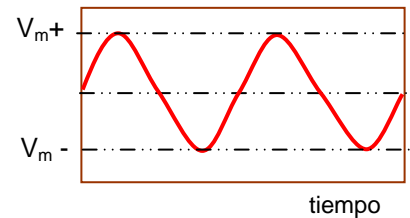
te.

Existen generadores de corriente continua y de corriente alterna. Estos últimos resultan más eficaces por tener menos pérdidas de energía. Un *motor* es, esencialmente, un generador trabajando a la inversa. Es decir, un dispositivo que consume energía eléctrica, a partir de la cual es capaz de realizar un trabajo mecánico.

La electricidad generada para la red comercial utiliza exclusivamente generadores de corriente alterna de gran tamaño. En una central *termoeléctrica*, se utiliza gas o petróleo para generar vapor de agua a presión; el vapor mueve grandes ventiladores o turbinas, que a su vez son las que hacen rotar los generadores. Los países que cuentan con ríos caudalosos poseen centrales *hidroeléctricas*, donde se aprovecha la energía cinética y potencial de la masa de agua para hacer rotar las turbinas.



A diferencia de la *corriente continua* entregada por una batería, donde la *polaridad* de los bornes no varía (el borne de mayor potencial o positivo es siempre el mismo), en la *corriente alterna* la polaridad de los bornes varía continuamente con una determinada frecuencia. La frecuencia de la red comercial en Cuba y el resto de América es $f = 60$ Hz. Al graficar la diferencia de potencial o *voltaje* en función del tiempo se obtiene una dependencia sinusoidal (ver figura adjunta). En otros países la frecuencia comercial es de 50 Hz, pero en cualquiera de los casos el voltaje instantáneo puede expresarse como $V = V_m \text{sen} \omega t$, donde V_m es la amplitud del voltaje y $\omega = 2\pi f$. La corriente que aparece en una resistencia u otro dispositivo conectado a la FEM invierte su sentido continuamente y tiene una dependencia similar: $i = i_m \text{sen}(\omega t + \phi)$, donde ϕ es el *desfasaje* existente entre el voltaje y la corriente.



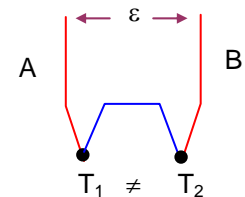
Celdas solares

Las celdas solares producen electricidad por un proceso de conversión fotoeléctrica. La fuente de electricidad es una sustancia semiconductor fotosensible, como un cristal de silicio al que se le han añadido impurezas. Cuando la luz incide contra el cristal, los electrones se liberan de la superficie de éste y se dirigen a la superficie opuesta, generando una diferencia de potencial. Las celdas solares tienen una vida muy larga y poseen muchas aplicaciones como, por ejemplo, como fuente de electricidad para el equipo de a bordo en los aviones de gran altura, y en toda la tecnología espacial. Actualmente se dispone de celdas solares con eficiencias de conversión del 30%.

Termoelectricidad

Se denomina así a la electricidad generada por la aplicación del calor a la unión de dos materiales diferentes. Un dispositivo de este tipo se denomina *termopar*.

Por ejemplo, si se sueldan por ambos extremos dos alambres metálicos de distinto material A y B y las uniones se mantienen a diferentes temperaturas, aparece una FEM en los extremos de los alambres. El fenómeno fue observado por primera vez en 1821 por el físico alemán Thomas Seebeck, y se conoce como *efecto Seebeck*.



Para una pareja de materiales determinada, el valor de la FEM es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas y se cumple una relación del tipo $\Delta T = \alpha \epsilon$, donde α es constante en un intervalo no muy grande de temperaturas.

Esta propiedad permite emplear el termopar para la medida precisa de temperaturas, manteniendo una de las uniones a una temperatura conocida (por ejemplo, un baño de hielo) y colocando la otra en el

lugar cuya temperatura quiere medirse. En dependencia del metal utilizado, esta temperatura puede llegar a ser muy alta (hasta 1600° C utilizando termopares de platino-platino/rodio).

La corriente generada puede aumentarse empleando semiconductores en lugar de metales, creándose un *generador termoeléctrico*. Los generadores termoeléctricos calentados con quemadores de queroseno son muy utilizados en zonas remotas de Rusia y otras repúblicas de la Comunidad de Estados Independientes para alimentar receptores de radio.

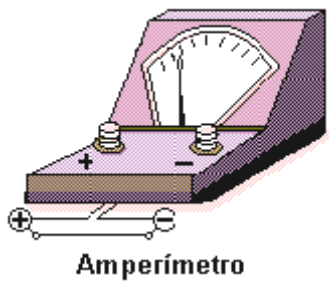
Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Este fenómeno se conoce como efecto Peltier en honor al físico francés Jean Peltier, que lo descubrió en 1834. Es posible usar sistemas de semiconductores basados en el efecto Peltier para construir refrigeradores de aplicaciones especiales.

[Inicio](#)

¿Existe alguna diferencia básica para conectar un voltímetro o un amperímetro en un circuito eléctrico?

La intensidad de la corriente y la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera de un circuito se miden mediante los amperímetros y voltímetros, respectivamente. Los más antiguos son variaciones del *galvanómetro*, uno de los primeros instrumentos utilizado en las mediciones eléctricas.

El galvanómetro basa su funcionamiento en las propiedades magnéticas de las sustancias, que serán analizadas en el capítulo siguiente. En un galvanómetro, un imán crea un campo magnético radial uniforme que actúa sobre una bobina móvil, conectada a una aguja, de forma tal que ésta puede rotar alrededor de un eje fijo. Al pasar una corriente por la bobina, aparecen torques que originan la desviación de la aguja. Como la desviación es proporcional a la corriente, se puede utilizar una escala calibrada para medir la rotación de la aguja y la intensidad de la corriente. El principio de funcionamiento del voltímetro es muy similar al del amperímetro; lo que varía es la calibración de la escala.

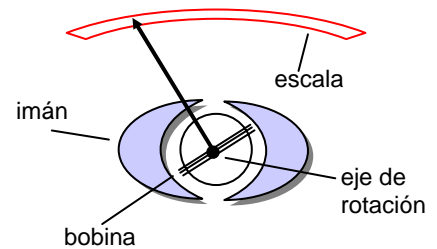


Amperímetro

El amperímetro se conecta *en serie* de forma que la corriente a medir pase por él. Su resistencia interna debe ser muy pequeña, para que no altere la corriente que se desea medir. El voltímetro, en cambio, se conecta *en paralelo* al dispositivo o segmento de circuito a medir, y solo toma una pequeña parte de la corriente que pasa por el dispositivo, para no alterar la diferencia de potencial que se desea medir. Por esta razón su resistencia interna debe ser muy alta.

Los voltímetros y amperímetros modernos miden la corriente y el voltaje por medios electrónicos, sin utilizar la aguja móvil. La escala es *digital*, porque permite leer directamente los dígitos o valores numéricos de la magnitud medida. No obstante, para garantizar su correcto funcionamiento, necesitan ser calibrados o contrastados utilizando un galvanómetro convencional.

Los amperímetros y voltímetros para corriente alterna miden los valores *eficaces* del voltaje y la corriente. El voltaje eficaz se define por la expresión $V_e = V_m/\sqrt{2}$, donde V_m es la amplitud del voltaje alterno. La corriente eficaz se define por una expresión análoga: $i_e = i_m/\sqrt{2}$.



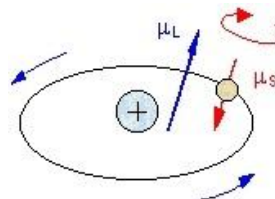
Elementos de un galvanómetro

[Inicio](#)

¿Qué es el magnetismo? ¿Cuál es su origen?

Al igual que la carga eléctrica, la masa o la extensión, el magnetismo es una propiedad natural de la sustancia, aunque no siempre se manifiesta en lo macroscópico. Según el *modelo clásico* del átomo, éste está compuesto por electrones negativos que giran alrededor de un núcleo formado por protones positivos y neutrones sin carga.

Cada electrón girando alrededor del núcleo constituye una pequeña *corriente elemental* que tiene asociado un momento de dipolo magnético *orbital* $\vec{\mu}_L$, y que se comporta como un pequeño imán.



Además del momento magnético orbital, la evidencia experimental demuestra que es necesario considerar el momento magnético de *spin* $\vec{\mu}_S$, que se asocia a una supuesta rotación del electrón sobre sí mismo¹. El valor modular del momento magnético de spin se designa usualmente por μ_B y se denomina “magnetón de Bohr”:

$$\mu_B \approx 10^{-23} \text{ J/T} .$$

De aquí que cada electrón contribuya con dos componentes magnéticas al momento magnético del átomo:

$$\vec{\mu}_e = \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S$$

El *momento magnético atómico* se define como la suma (vectorial) de los momentos magnéticos orbitales y de spin de todos los electrones. Sin embargo, en la inmensa mayoría de los átomos se encuentra que $\mu_S \gg \mu_L$, y el momento magnético orbital se puede despreciar en comparación con el momento magnético de spin.

Por otra parte, el llenado de las capas electrónicas en un átomo cumple el *principio de exclusión de Pauli* y la *regla de máxima multiplicidad de Hund*, que indican que la mayoría de los orbitales están ocupados por electrones *pareados*, con sus vectores magnéticos apuntando en sentido contrario. Los electrones pareados no contribuyen al momento magnético atómico.

De aquí que para hacer un estimado del momento magnético atómico sólo sean de interés, en la gran mayoría de los casos, el número N de electrones no pareados. De esta forma,

$$\mu_a \approx N\mu_B$$

Cuando todos los electrones de un átomo están pareados $N = 0$, $\mu_a = 0$ y el átomo es *diamagnético*. Si el átomo posee electrones no pareados ($N \neq 0$), es *paramagnético*. Los gases inertes y algunos metales como el bismuto son diamagnéticos, mientras que los átomos de hierro, níquel, cobalto, que poseen electrones no pareados, son paramagnéticos.

Momento Magnético Nuclear. Muchos núcleos atómicos también poseen un momento magnético, que designaremos por μ_N . Sin embargo, se sabe que el momento magnético del protón es unas 660 veces menor que el magnetón de Bohr, y que usualmente $\mu_N \ll \mu_B$. Por tanto, no es necesario tomar en cuenta el momento magnético nuclear en el análisis que se hace a continuación.

[Inicio](#)

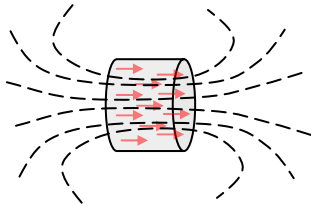
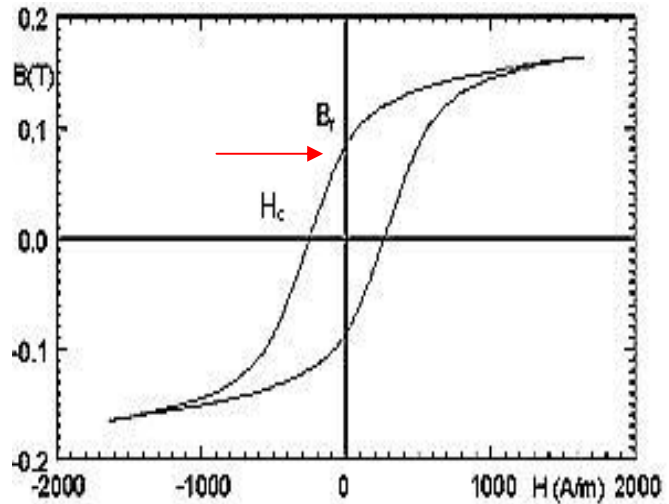
¹ “spin” significa giro o rotación, en idioma inglés

¿A que se le llama “magnetización técnica”?

Los materiales ferromagnéticos poseen *histéresis*². Al graficar B en el seno del material en función del campo aplicado H, se obtiene una curva característica denominada *lazo de histéresis*.

Note en la figura que, una vez aplicado un campo H externo y reducido a cero posteriormente, B no se hace cero, sino que queda una *inducción remanente* B_r .

En esta propiedad de los materiales ferromagnéticos se basa la *magnetización técnica*. Si un material ferromagnético se somete a un campo externo intenso, al retirar el campo el material no se desmagnetiza completamente. Queda una magnetización remanente, y el material queda así convertido en un *imán permanente*.



Un imán permanente, por tanto, es cualquier material ferromagnético, con una remanencia suficientemente alta como para mantener una buena parte de la magnetización al ser sometido a un proceso de magnetización técnica.

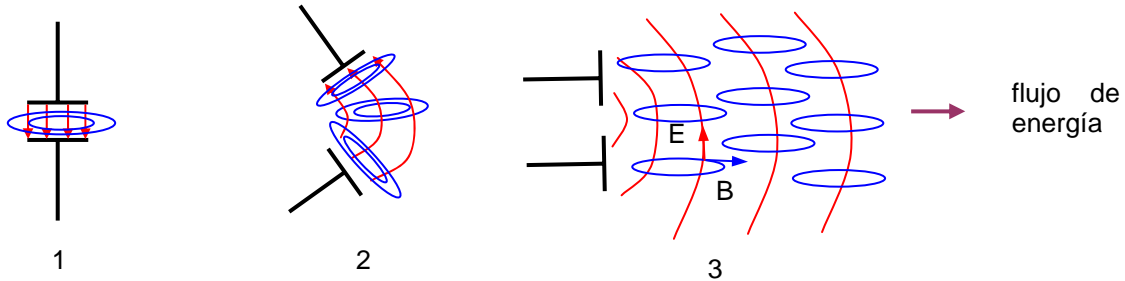
En el imán permanente todos los dominios magnéticos quedan mayormente orientados en la misma dirección.

[inicio](#)

² retraso, en griego.

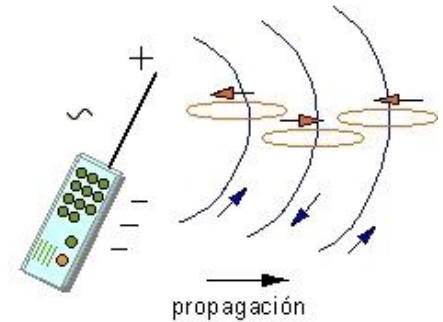
¿Cómo se generan las ondas de radio y televisión?

En la figura se muestra en forma esquemática como un condensador sometido a una FEM alterna puede ser convertido en un dipolo radiador de energía electromagnética en tres etapas. Se supone que la FEM aplicada al condensador varía con el tiempo según una dependencia sinusoidal del tipo $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$.



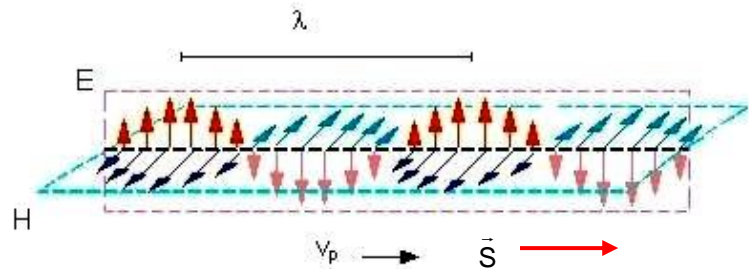
Cualquier dispositivo similar que sirva para radiar energía al medio ambiente se denomina usualmente dipolo radiante u oscilante, aunque más comúnmente se denomina *antena emisora*.

Quizás las antenas emisoras más familiares en el presente son las de los teléfonos celulares. Estos dispositivos emiten radiación electromagnética a frecuencias bastante altas, del orden de megahertz (la FEM que genera la señal varía continuamente de sentido varios millones de veces por segundo). La fuente de energía es una batería química convencional. La transformación del sonido en una señal electromagnética se lleva a cabo utilizando circuitos electrónicos de gran complejidad.



Cuando se hace un estudio detallado del fenómeno, se encuentra que el flujo de energía radiado por la antena posee propiedades ondulatorias, y que la radiación electromagnética radiada por la antena se comporta como una onda, donde oscilan los campos eléctrico y magnético. La onda electromagnética es capaz de autosostenerse. Existe y se propaga independiente de la fuente que le dio origen. El campo eléctrico variable es capaz de engendrar otro magnético, también variable, que a su vez engendra otro eléctrico, y así sucesivamente.

En la figura adjunta se muestra un esquema de la *onda electromagnética*, tal como se vería en un instante determinado. Las principales propiedades de la onda electromagnética son las siguientes:



- Las intensidades de los campos eléctrico y magnético varían en el tiempo de acuerdo a la ecuación de una onda:

$$E = E_m \sin(kx - \omega t)$$

$$H = H_m \sin(kx - \omega t)$$

- La onda que aparece en el esquema está *polarizada* en un plano. Significa que el vector E (y el H) siempre oscilan en un mismo plano. En el caso más común el vector E puede estar, en un instante

dado, apuntando en cualquier dirección del espacio perpendicular a la dirección de propagación (onda no polarizada).

- Es posible demostrar, a partir de las leyes del electromagnetismo, que la velocidad de propagación $v = \lambda f$ en el vacío se relaciona con los parámetros del electromagnetismo por la relación

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 300\,000 \text{ km/s (velocidad de la luz)}$$

- E y H siempre son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación.
- E y H siempre están en fase (alcanzan los máximos y los mínimos conjuntamente).
- La energía por unidad de volumen almacenada en la onda electromagnética se expresa como

$$\epsilon = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu_0 H^2 .$$

Cuando se calcula la energía por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal perpendicular a la dirección de propagación se obtiene el *vector de Poynting* \vec{S} , donde E y H representan las amplitudes (valores máximos) del campo:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Por otra parte, H y E no son independientes; están relacionados por las leyes del electromagnetismo. Se puede comprobar que, en el vacío, $H = (\epsilon_0/\mu_0)^{1/2} E$. De aquí sigue inmediatamente que

$$S = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E^2$$

Una expresión similar se obtiene cuando el medio de propagación no es el vacío, aunque los valores de las constantes bajo el radical no son los mismos.

Para mantener una notación similar a la utilizada en la mayoría de los textos de óptica, en lo que sigue llamaremos *intensidad de la radiación* al modulo del vector de Poynting (energía por unidad de área por unidad de tiempo: $I = \epsilon/At$).

Por tanto, de acuerdo al resultado de Poynting, la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo eléctrico, lo que se denota usualmente como:

$$I \propto E^2$$

[inicio](#)

¿Qué es el espectro electromagnético?

Se le llama *espectro electromagnético* al conjunto de todas las posibles frecuencias con que puede presentarse una onda electromagnética.

El espectro electromagnético abarca una región muy amplia, desde unos pocos cientos de Hz hasta miles de millones de Hz.

Espectro electromagnético		
f(Hz)	λ (m)	Denominación
$10^2 - 10^{10}$	$10^6 - 10^{-1}$	Ondas de radio
$10^{10} - 10^{12}$	$10^{-1} - 10^{-3}$	Microondas (radar)
$10^{12} - 10^{14}$	$10^{-3} - 10^{-6}$	Infrarrojo
$10^{14} - 10^{15}$	$10^{-6} - 10^{-7}$	Visible
$10^{15} - 10^{16}$	$10^{-7} - 10^{-8}$	Ultravioleta
$10^{17} - 10^{20}$	$10^{-9} - 10^{-11}$	Rayos X
$> 10^{20}$	$< 10^{-11}$	Rayos γ

Las propiedades de la radiación electromagnética varían notablemente en dependencia de su frecuencia; las radiaciones de más baja frecuencia constituyen las conocidas ondas de radio, las de más alta frecuencia corresponden a la radiación gamma penetrante (de la letra griega gamma γ), que se obtiene como producto de las reacciones nucleares. Dentro de ese intervalo se encuentran todas las demás radiaciones; onda corta, radiación infrarroja (IR), espectro visible, ultravioleta (UV) y rayos X.

Las características de la radiación de frecuencia superior a la de microondas se estudian en los cursos de óptica y física atómica.

El descubrimiento de las ondas de radio a finales del siglo XIX trajo aparejado un impetuoso desarrollo de los medios de comunicación, incluyendo la televisión, las transmisiones por satélite y la telefonía celular, con infinidad de aplicaciones en otras ciencias como la meteorología y la astronomía. La denominada *onda media* de los receptores de radio en amplitud modulada (AM) cubre el intervalo 550 – 1250 kHz. Las frecuencias mayores corresponden a las *ondas cortas* de diferentes bandas: 19 m, 25 m, etc.

Guglielmo Marconi, (1874-1937), ingeniero italiano, conocido como el inventor del primer sistema práctico de señales de radio. Ya en 1890 se interesaba por la telegrafía sin hilos y hacia 1895 había inventado un aparato con el que consiguió enviar señales a varios kilómetros de distancia mediante una antena direccional.

Formó en Londres la Compañía de Telegrafía sin Hilos Marconi (1897), y en 1899 estableció la comunicación a través del canal de la Mancha entre Inglaterra y Francia. Las marinas italiana y británica pronto adoptaron su sistema y hacia 1907 había alcanzado tal perfeccionamiento que se estableció un servicio trasatlántico de telegrafía sin hilos para uso público. En 1909 Marconi recibió el Premio Nóbel de Física por su trabajo.



Durante la I Guerra Mundial estuvo encargado del servicio telegráfico italiano e inventó la transmisión de onda corta como medio de comunicación secreta.

[inicio](#)

¿Son capaces las ondas electromagnéticas de atravesar libremente la atmósfera?

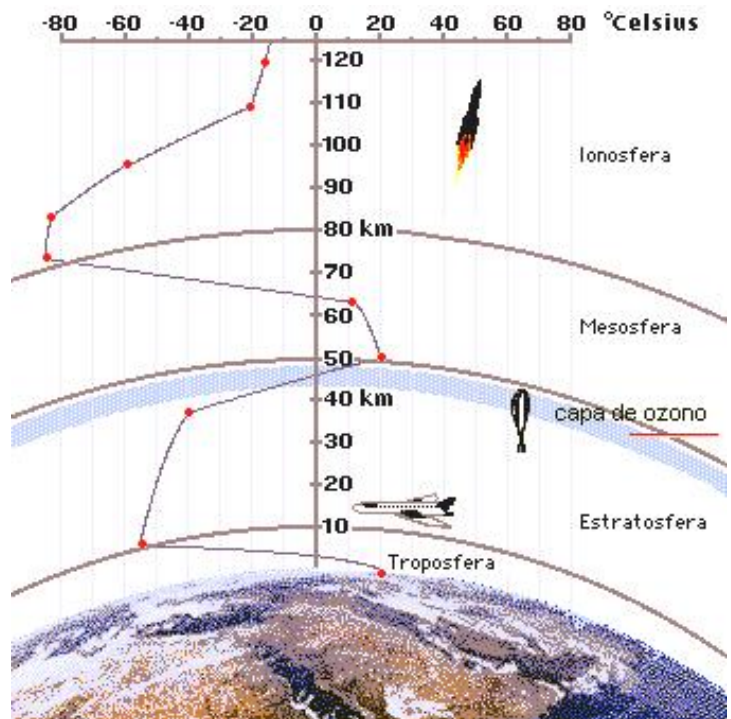
Se denomina *ionosfera* a un conjunto de capas de aire ionizado en la atmósfera que se extienden desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más. (En comparación, la altura de las líneas aéreas comerciales es de unos 10 km). A estas alturas el aire está enrarecido en extremo, como si se hubiera hecho vacío con una bomba mecánica.

Cuando las partículas gaseosas de la atmósfera se ionizan a causa de la radiación ultravioleta del sol, tienden a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones. Estas partículas son capaces de reflejar parcialmente las ondas de radio. Una parte de la energía radiada por un transmisor hacia la ionosfera es absorbida por el aire ionizado y otra es parcialmente reflejada hacia la superficie de la Tierra. Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancias mucho mayores de lo que sería posible con ondas que viajaran solamente por la superficie terrestre.

Sin embargo, las ondas reflejadas alcanzan el suelo sólo a determinadas distancias definidas del transmisor. La distancia depende del ángulo de reflexión y de la altura. Así, una señal de radio puede no ser detectable a 100 km de la fuente, pero sí a 500 km. Este fenómeno se conoce como *skip*.

En otras regiones, las señales terrestres y las refractadas por la ionosfera pueden alcanzar el receptor conjuntamente e interferir una con otra, produciendo un fenómeno llamado *fading*.

La reflexión en la ionosfera decrece con el incremento de la frecuencia; si la frecuencia es suficientemente alta el fenómeno desaparece y la radiación atraviesa la ionosfera libremente. Por lo tanto, la transmisión a larga distancia de ondas de radio de alta frecuencia se limita a la línea del horizonte. Este es el caso de la televisión y de la radio de frecuencia modulada (FM).



Para hacer transmisiones a larga distancia es necesario utilizar satélites de comunicaciones como puntos intermedios de retransmisión.

Como la ionización de las capas y su altura sobre la superficie se ve influenciada por la actividad solar, las características de reflexión usualmente difieren apreciablemente del día a la noche.

[inicio](#)

¿Cómo interacciona la radiación electromagnética con los organismos vivos?

Desde el punto de vista de la interacción con las sustancias biológicas, las radiaciones electromagnéticas pueden dividirse en radiaciones *ionizantes* y *no ionizantes*. A frecuencias muy altas, correspondiente al ultravioleta lejano, los rayos X y los rayos γ , la radiación tiene energía suficiente para romper los enlaces químicos e *ionizar* los átomos. La correspondiente radiación se denomina *ionizante*. A frecuencias más bajas como las de la luz visible, microondas y radio, la energía no es suficiente para romper enlaces químicos; la radiación es *no ionizante*.

La exposición a las microondas es peligrosa cuando se producen densidades elevadas de radiación; la exposición a radiaciones de alta intensidad puede provocar quemaduras, cataratas, daños en el sistema nervioso y esterilidad. Aún no se conocen bien los posibles peligros de la exposición prolongada a las microondas con bajo nivel de intensidad

Tipo de radiación	Características
Ionizante	Ioniza o rompe las moléculas (UV lejano, rayos X y γ). Dañina en gran intensidad.
No ionizante (óptica)	Excita los electrones e induce reacciones químicas (UV cercano, visible e IR).
No ionizante (radio AF)	Induce corrientes e interacciona con los dipolos eléctricos produciendo el calentamiento de los tejidos (microondas y radio AF)
No ionizante (radio BF)	Prácticamente no produce calentamiento (campos de frecuencia industrial y radio por debajo de 1 MHz)

La capacidad de penetración de la radiación en los organismos vivos tampoco es la misma para las diferentes frecuencias. Las ondas de radio y los rayos X son capaces de atravesar fácilmente las sustancias biológicas, mientras que la radiación visible y ultravioleta es absorbida completamente en la superficie.

La **diatermia** por radiación se utiliza ampliamente para tratar el dolor y la inflamación en los tejidos, irradiando la zona afectada con radiofrecuencias para producir calor. La frecuencia utilizada en los equipos comerciales es cercana a los 2 GHz.

Como el campo eléctrico actúa directamente sobre las cargas, la componente eléctrica del campo electromagnético es capaz de generar pequeñas corrientes eléctricas en los tejidos. Estas corrientes son proporcionales tanto a la intensidad del campo como a la rapidez de su variación en el tiempo.

El calor puede originarse por diversos mecanismos, a partir de la inducción de corrientes alternas o por interacción con el dipolo eléctrico de las moléculas del agua contenida en los tejidos, en forma similar a lo que ocurre en un horno de microondas.

[inicio](#)

Que es realmente la luz ¿una onda o un flujo de partículas?

Hasta el momento no existe una teoría unificada capaz de explicar todos los fenómenos conocidos en que interviene la luz. Las teorías ondulatoria y corpuscular se complementan. Algunos fenómenos se explican correctamente utilizando la teoría ondulatoria, mientras que otros necesitan de la teoría corpuscular para ser analizados satisfactoriamente.

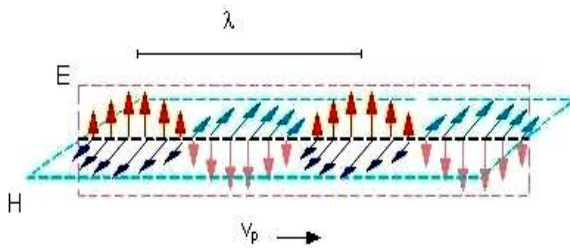
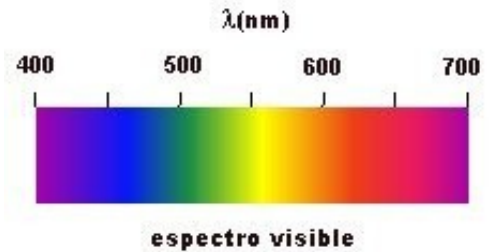
El punto de vista moderno es considerar que la luz no es partícula ni es onda; se manifiesta como una o como otra en dependencia de la interacción específica que se esté considerando, y se trabaja para encontrar una teoría que represente mejor sus propiedades.

Esta particularidad de la luz se conoce como *dualidad partícula-onda*.

[inicio](#)

¿A que se le llama “espectro visible”?

El intervalo de longitudes de onda comprendido aproximadamente entre los 400 y 700 nm en el vacío se conoce como *espectro visible*, porque el ojo humano tiene la capacidad de detectar la radiación electromagnética en ese intervalo de longitudes de onda. Las longitudes más pequeñas (y las frecuencias más altas) corresponden a los tonos violetas, mientras que las longitudes mayores corresponden a los tonos rojos. Por encima del violeta, en frecuencia, se encuentra la región del *ultravioleta* (UV) y por debajo del rojo el *infrarrojo* (IR).



La expresión analítica de una onda *monocromática* (una sola λ) puede expresarse como

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

donde $\omega = 2\pi f$ y $k = 2\pi/\lambda$. La luz natural o “blanca” proveniente del sol está compuesta por un continuo de frecuencias (o longitudes de onda) que contiene prácticamente todos los colores del espectro.

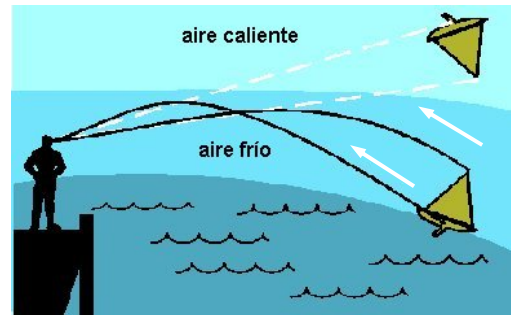
[inicio](#)

¿Qué es un espejismo?

Un espejismo *no* es una ilusión óptica como a veces se afirma. Es un fenómeno físico que consiste en que un objeto distante se observa desplazado de su verdadera posición. Tiene su origen en la reflexión y refracción de la luz en capas atmosféricas que presenten grandes gradientes de temperatura. La imagen puede aparecer derecha, invertida, o haciendo ondulaciones.

Usualmente los espejismos se presentan en los lugares muy fríos o en la arena caliente de los desiertos, y se caracterizan porque aparece al menos una imagen invertida de algún objeto, aunque pueden aparecer dos, tres o más imágenes derechas e invertidas.

Un espejismo muy común es el *espejismo de las carreteras*, cuando en días soleados se observa a lo lejos el pavimento aparentemente mojado, aunque la humedad aparente siempre desaparece antes que logremos alcanzar el punto en cuestión.



[inicio](#)

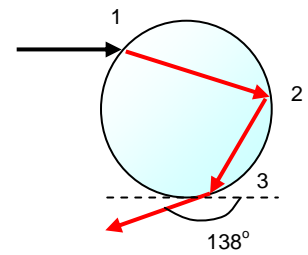
¿Cómo se origina un arco iris?

El arco iris se origina, cuando llueve, por la refracción de la luz solar en las minúsculas gotas de agua que quedan en la atmósfera. Lo que da belleza al fenómeno es la dispersión de la luz blanca dentro de las gotas de agua, ya que el índice de refracción del agua no es el mismo para todas las longitudes de onda ($n = n(\nu)$). En la figura se ha representado la refracción correspondiente a una sola frecuencia.

Al ocurrir dos refracciones (en 1 y 3) el ángulo dispersado se hace mayor.

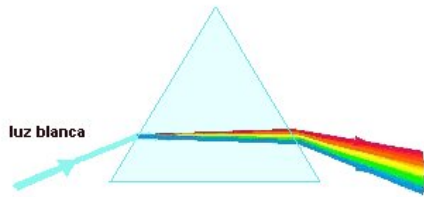
El efecto combinado de los procesos de refracción – reflexión – refracción que tienen lugar en cada gota respecto a un observador colocado en posición favorable (el sol debe estar siempre detrás del observador) da lugar a la formación del arco iris. Es posible demostrar que, de acuerdo a la geometría de los procesos involucrados en el fenómeno, el ángulo entre la dirección del observador al sol y la dirección entre éste y cualquier punto del arco iris siempre será igual 138° .

Usualmente es posible observar un segundo arco iris, más tenue y mayor que el primero, con los colores invertidos, que se origina por los rayos que son reflejados doblemente dentro de la gota.



[inicio](#)

¿De qué forma analizan los astrónomos la composición de las estrellas situadas a distancias de años luz de la Tierra?



Los *espectrógrafos* son instrumentos que sirven para analizar la distribución de longitudes de onda proveniente de objetos luminosos.

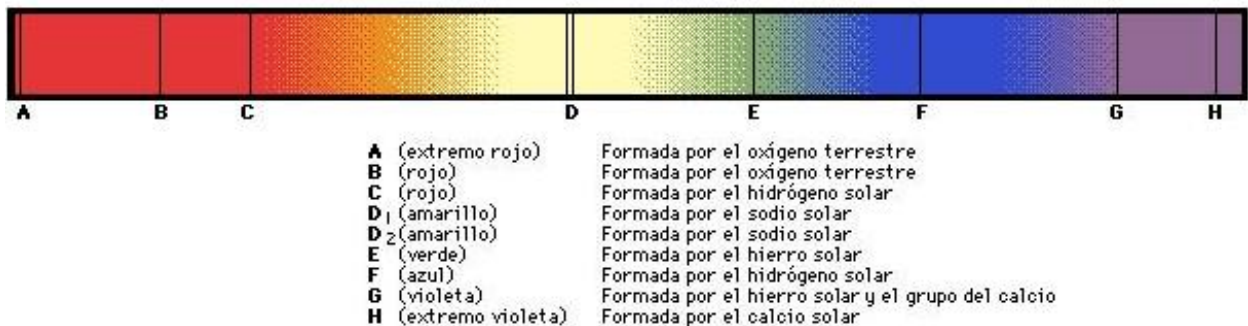
Para dispersar la luz y obtener su espectro se hace que la luz proveniente del objeto pase por un *prisma*, donde la doble refracción que tiene lugar en las fronteras ocasiona una mayor dispersión del haz. También se utilizan con el mismo fin las *redes de difracción*.

En óptica, un prisma es un bloque de vidrio u otro material transparente que tiene la misma sección transversal (generalmente un triángulo) en toda su longitud. Los dos tipos de prisma más frecuentes tienen secciones transversales triangulares con ángulos de 45° ó 60°.

El análisis de los espectros permite obtener información de las características internas de la sustancia que emite la radiación. Por ejemplo, es posible obtener información acerca de la composición de las estrellas analizando la luz que nos llega de ellas, incluyendo la radiación proveniente del sol.

En el espectro solar que aparece a continuación, las líneas oscuras se denominan *líneas de absorción*, y se deben a la absorción de la radiación por elementos presentes en la atmósfera solar. Comparando esas líneas con las de los espectros obtenidas en el laboratorio bajo condiciones controladas es posible identificar los elementos que existen en el Sol.

La línea intensa en el extremo del rojo del espectro es una de las líneas del hidrógeno, y el doblete amarillo corresponde al sodio. Las líneas del hierro y el calcio aparecen en el extremo violeta.



[inicio](#)

¿Cuál es el principio físico en que se basa el funcionamiento de la fibra óptica?

Analicemos en detalle el caso en que la luz pasa de un medio ópticamente más denso a uno menos denso, donde se encuentra que el rayo refractado se aleja de la normal ($n_1 > n_2$ según la notación usual). Si el ángulo de incidencia θ_1 es lo suficientemente grande, es posible lograr para el ángulo de refracción que $\theta_2 = 90^\circ$.

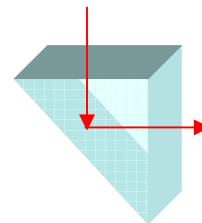
El valor de θ_1 que hace $\theta_2 = 90^\circ$ se puede calcular a partir de la ley de Snell. Ese ángulo se denomina *ángulo crítico* (θ_c)

$$n_1 \text{sen}\theta_c = n_2 \text{sen}(90^\circ) = n_2$$

$$\text{sen}\theta_c = n_2/n_1$$

Cuando $\theta_1 > \theta_c$ el rayo refractado desaparece, y toda la luz incidente es reflejada en la superficie. El fenómeno se conoce como *reflexión total interna*, y tiene muchas aplicaciones. Las más importantes están relacionadas a los *prismas* y a la transmisión de señales por *fibra óptica*.

Prisma. Cuando un rayo de luz incide sobre el prisma con un ángulo adecuado, el ángulo de incidencia sobre la cara interna del prisma es mayor que el ángulo crítico, por lo que el rayo experimenta una reflexión total interna y no hay pérdidas de energía. Esto hace que el prisma actúe como un espejo muy eficiente, un efecto que se utiliza en muchos instrumentos ópticos como periscopios y binoculares o prismáticos (de ahí este último nombre).



Fibra óptica: fibra o varilla de vidrio u otro material transparente con un índice de refracción alto que se emplea para transmitir luz. Cuando la luz entra por uno de los extremos de la fibra, se transmite con muy pocas pérdidas incluso aunque la fibra esté curvada. El principio en que se basa la transmisión de luz es la reflexión total interna; la luz que viaja por el centro de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que se refleja sin pérdidas hacia el interior.

Así, la luz se transmite a largas distancias, reflejándose miles de veces en el interior de la fibra.

La aplicación más sencilla de la fibra óptica es la transmisión de luz a lugares que serían difíciles de iluminar de otro modo, como la cavidad perforada por el rotor de un dentista.

También puede emplearse para transmitir imágenes. En este caso se utilizan haces de varios miles de fibras muy finas, situadas exactamente una al lado de la otra y pulidas en sus extremos. Cada punto de la imagen proyectada sobre un extremo del haz se reproduce en el otro extremo, con lo que se reconstruye la imagen, que puede ser observada a través de una lupa o en una pantalla. Este procedimiento es muy utilizado en instrumentos médicos para examinar el interior del cuerpo humano y para efectuar cirugía láser. También se han desarrollado fibras que transmiten rayos láser de alta potencia para cortar y taladrar materiales.



En la figura se observa una porción de fibra óptica compuesta de muchas hebras delgadas de vidrio o plástico con diámetro de 50 a 125 micras cada una. El conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno.

La fibra óptica se emplea cada vez más en las comunicaciones, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia muy alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la fre-

cuencia. En las últimas décadas se han ido sustituyendo las líneas de transmisión que utilizan conductores metálicos por redes de fibra óptica, que proporcionan conexiones telefónicas, correo electrónico e Internet transcontinentales y transoceánicas.

Una ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad. En la actualidad, los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 km, frente a aproximadamente 1.5 km en los sistemas eléctricos convencionales.

[inicio](#)

¿Tiene el ojo humano la misma sensibilidad para todos los colores?

El ojo humano no posee la misma sensibilidad para todas las frecuencias de la radiación electromagnética visible. Tiene un máximo para el verde de longitud de onda 555 nm.

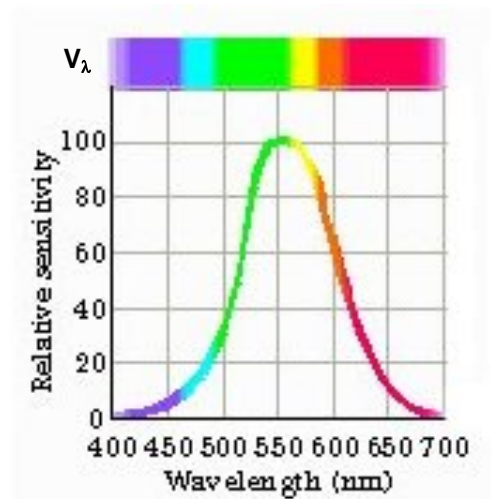
En la figura se muestra la *curva de sensibilidad espectral* del ojo humano. El *coeficiente de visibilidad* V_λ se define por la expresión

$$V_\lambda = \frac{W_m}{W_\lambda} \cdot 100$$

donde:

W_λ : potencia emitida por una fuente monocromática de longitud de onda λ .

W_m : potencia emitida por una fuente con $\lambda = 555$ nm *que produce en el ojo la misma sensación de brillantez.*



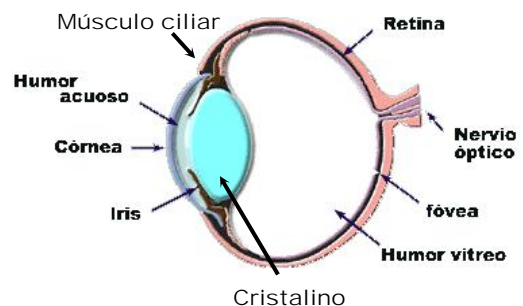
El coeficiente de visibilidad es una magnitud subjetiva, pues depende directamente de las sensaciones psicofisiológicas del observador. Y algunas personas poseen un rango de visión más amplio que otras. Por esta razón la curva se calcula no para una, sino para muchas personas, y se toma un promedio estadístico. Las curvas que usualmente se reportan en los textos son el resultado de este procedimiento, llevado a convenios internacionales.

La curva de sensibilidad del ojo humano difiere bastante de la de muchos animales. Por ej., las abejas no distinguen la luz roja, pero son capaces de ver el ultravioleta, mientras que los pájaros son más sensibles a la luz roja.

El ojo humano es un sistema complejo que permite la formación de imágenes en la retina con el auxilio de un lente convexa capaz de variar automáticamente su distancia focal (cristalino), haciendo uso de los músculos ciliares.

También posee un diafragma (iris + pupila) que regula la entrada de luz, también en forma automática.

El ojo es un instrumento muy sensible. Se ha señalado que el ojo humano en condiciones óptimas es capaz de detectar, en una noche oscura y sin estrellas, la luz de una vela a 100 km de distancia.



[inicio](#)

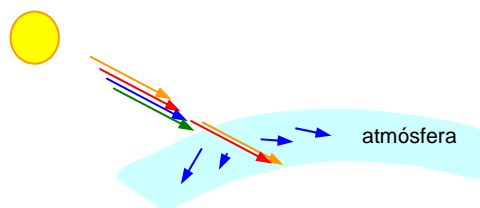
¿En que consiste la difusión de la luz?

Cuando la luz atraviesa cualquier medio, conjuntamente con la absorción tiene lugar el fenómeno de difusión (*scattering*³).

Consiste en que al atravesar un medio sólido, líquido o gaseoso, la radiación electromagnética es capaz de esparcirse o difundirse en todas direcciones en mayor o menor grado. Se debe a que la radiación incidente es capaz de excitar los átomos y moléculas que forman el medio en cuestión; los átomos excitados son capaces entonces de emitir ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias en todas direcciones. Parte de la energía de la radiación incidente pasa así a ser radiada en otras direcciones, con la correspondiente disminución de la intensidad de la radiación incidente.

Los modelos matemáticos basados en la teoría electromagnética de la luz, cuando se aplican a sustancias en fase gaseosa, muestran que la intensidad de la luz difundida en la región visible del espectro aumenta con la frecuencia de la radiación incidente. Si I_D es la intensidad difundida por unidad de longitud a lo largo de una dirección determinada e I_0 la intensidad incidente a lo largo de esa dirección, entonces:

$$\frac{I_D}{I_0} \propto \omega^4.$$



De aquí que en la atmósfera, por ejemplo, la radiación de alta frecuencia (tonos verdes y azules) se difunda mucho más que los tonos rojos y naranjas. Esta particularidad es la que hace que el sol se vea rojizo al amanecer y al atardecer.

Cuando el sol está cercano al horizonte, los rayos emitidos deben recorrer una gran distancia a través de la atmósfera, y un observador en tierra, al mirar hacia el sol o hacia una nube donde incida la luz solar, no verá los tonos azules fuertemente atenuados por la difusión.

Si no existiera la difusión, en un día claro sin nubes el cielo se vería negro, tal como se ve en un vehículo orbital, y no azul como se ve comúnmente. Este color azul también tiene su origen en la difusión, pues mientras que la radiación de baja frecuencia viaja esencialmente en línea recta, un observador casual verá la radiación de mayor frecuencia incidiendo desde cualquier dirección.

[inicio](#)

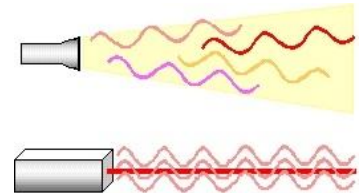
³ En los textos en español a veces se traduce "scattering" como "dispersión", lo cual es totalmente correcto desde el punto de vista del idioma, pero tiende a confundir el fenómeno de difusión con el de la dispersión de la luz.

¿Que es la coherencia en óptica? ¿Tiene alguna relación con los láseres?

Dos fuentes luminosas son *coherentes* cuando la diferencia de fase de la radiación por ellas emitida se mantiene constante al transcurrir el tiempo.

Un láser (del inglés *laser*, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) es un dispositivo luminoso concebido de forma tal que la luz emitida por todos los puntos del foco emisor es coherente. Esta particularidad hace que la luz láser sea extremadamente intensa, muy direccional y con una gran pureza de color (monocromaticidad).

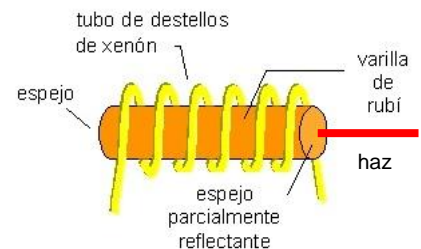
La figura representa esquemáticamente la diferencia entre la radiación de una fuente de luz convencional y una fuente láser. En el láser todos los puntos del foco emiten radiación en fase, lo que no ocurre así en una fuente de luz convencional, donde cada punto radia de forma independiente a los demás.



Existen láseres que trabajan en frecuencias que van desde el infrarrojo hasta los rayos x, y según la sustancia que emplean para generar la luz, los láseres suelen denominarse de *estado sólido*, de *gas*, de *semiconductores* y *líquidos*. La frecuencia de la radiación emitida depende de la naturaleza de los átomos de la sustancia en cuestión.

Los láseres logran emitir luz coherente "estimulando" los átomos de determinadas sustancias. Esos átomos son capaces de "almacenar" la luz proveniente de una fuente externa por un tiempo muy breve y emitirla posteriormente en forma coherente. Primeramente, los átomos en cuestión son llevados a un estado excitado por la fuente externa; posteriormente esos átomos son estimulados para que emitan la energía almacenada en forma de pulsos de radiación o "fotones".

Los fotones "chocan" a su vez con otros átomos excitados y liberan nuevos fotones. Dos espejos paralelos hacen que los fotones se desplacen continuamente hacia atrás y hacia delante dentro del material (ver figura), desencadenando nuevas emisiones estimuladas y amplificando la luz coherente. Al mismo tiempo, la luz se "filtra" por uno de los espejos, que es sólo parcialmente reflectante, y puede entonces ser utilizada con fines prácticos.



La figura muestra el esquema de un láser de rubí. El rubí sintético usado en este tipo de láseres se obtiene a altas temperaturas, a partir de una mezcla de óxidos de aluminio y cromo; los iones de Cr^{3+} son capaces de excitarse con la fuente de xenón y emitir luz roja de gran intensidad. Los posibles usos del láser son casi ilimitados.

- **Industria.** En la industria se utilizan como fuente de calor muy localizada. Utilizando lentes es posible enfocar sobre un punto muy pequeño un haz de láser potente, con lo que se logra una enorme densidad de energía. Los haces enfocados pueden calentar, fundir o vaporizar materiales de forma precisa. Por ejemplo, los láseres se usan para taladrar diamantes, modelar máquinas herramientas, recortar componentes microelectrónicos, cortar patrones de modas y sintetizar nuevos materiales.
- **Construcciones.** También se utilizan láseres para alinear las estructuras en la construcción de carreteras y edificios.
- **Geología y Meteorología.** Los láseres se emplean para detectar los movimientos de la corteza terrestre y para efectuar medidas geodésicas; también son los detectores más eficaces de ciertos tipos de contaminación atmosférica.
- **Astronomía.** El láser se ha empleado para determinar con precisión la distancia entre la Tierra y la

Luna. La luz de un láser puede viajar largas distancias por el espacio exterior con una pequeña reducción de la intensidad de la señal.

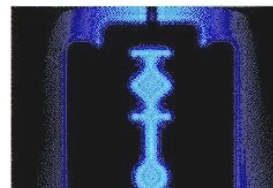
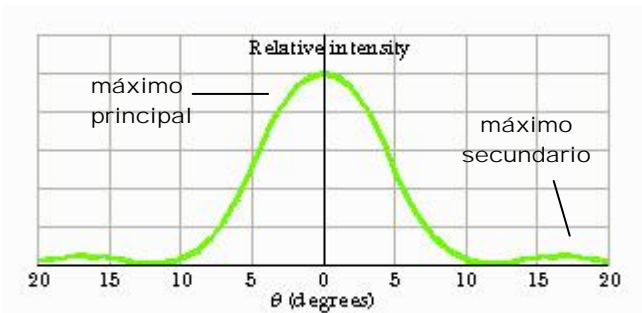
- *Comunicaciones.* A causa de su alta frecuencia, la luz láser puede transportar, por ejemplo, 1 000 veces más canales de televisión de lo que transportan las microondas, por lo que el láser resulta ideal para las comunicaciones espaciales vía satélite. Se han desarrollado fibras ópticas de baja pérdida que transmiten luz láser para la comunicación terrestre, en sistemas telefónicos y redes de computadoras.
- *Medicina.* Utilizando haces intensos y estrechos de luz láser es posible cortar y cauterizar ciertos tejidos en una fracción de segundo, sin dañar al tejido sano circundante. El láser se ha empleado para "soldar" la retina, perforar el cráneo, reparar lesiones y cauterizar vasos sanguíneos. También se han desarrollado técnicas láser para realizar pruebas de laboratorio en muestras biológicas pequeñas.
- *Otras aplicaciones*
 - Los láseres han hecho que se pueda determinar la velocidad de la luz con una precisión sin precedentes.
 - También permiten inducir reacciones químicas de forma selectiva y detectar la existencia de trazas muy pequeñas de impurezas en una muestra.
 - El potente y breve pulso producido por un láser también hace posibles fotografías de alta velocidad con un tiempo de exposición de algunas billonésimas de segundo.
 - Finalmente, los sistemas de guiado por láser para misiles, aviones y satélites son muy comunes en la tecnología militar.

[inicio](#)

¿ Viaja siempre la luz en línea recta?

En el experimento de la figura, un orificio pequeño de diámetro a es iluminado con luz monocromática. Si el diámetro del orificio es suficientemente pequeño, se comprueba que en vez de observarse una sombra nítida de los bordes, se observan zonas alternas de luz y sombra más allá de la sombra del borde del orificio.

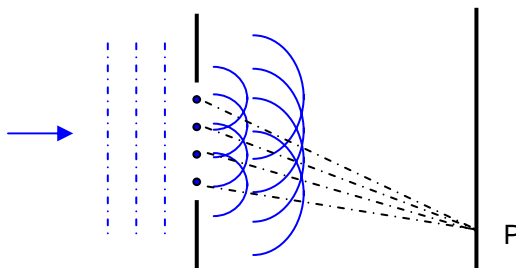
Si se hace un gráfico de la intensidad de la luz en función de la distancia al centro por la horizontal, se obtiene un gráfico como el de la figura de la izquierda.



Si en vez de una abertura circular se utiliza una rendija, se obtiene un patrón de franjas de difracción. En la figura de la derecha se muestra un patrón de difracción obtenido con luz monocromática en las rendijas de una cuchilla de afeitar.

El fenómeno de difracción de la luz puede explicarse satisfactoriamente sobre la base del modelo ondulatorio y el principio de Huyghens.

Suponiendo un orificio esférico y considerando el principio de Huyghens, cada punto del orificio se comporta como un nuevo emisor de ondas esféricas. Las ondas así formadas son coherentes y pueden interferir en un punto P fuera de la región de sombra, dando origen a máximos y mínimos de iluminación.



El tratamiento matemático del problema difiere bastante cuando la pantalla y la fuente están cerca del orificio y cuando están lejos.

[inicio](#)

¿En que difiere la difracción de Rayos X de las radiografías?

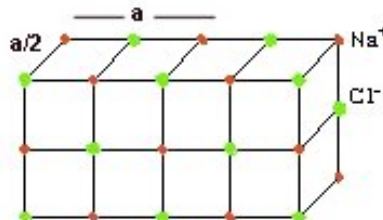
Difracción. En 1912 el alemán Max Von Laue encontró que al hacer incidir una haz de radiación de rayos X no monocromático sobre un cristal de sal común (NaCl) aparecía un patrón de difracción característico, que podía ser recogido en una placa fotográfica.

Este experimento permitió verificar dos cosas muy importantes, desconocidas hasta el momento:

1. La naturaleza ondulatoria de los rayos X, que habían sido descubiertos por Röntgen en 1895 sin que se lograra determinar de qué estaban compuestos.
2. La estructura periódica de los cristales, lo que hoy día se conoce como *estructura cristalina* de las sustancias sólidas.

Un *cristal* es un arreglo ordenado de átomos o moléculas, que se repite periódicamente en el espacio.

La *celda elemental* del cristal es la mínima unidad mediante la cual el cristal se puede construir por repetición tridimensional. En el NaCl la celda elemental es cúbica, de longitud $a = 5.62 \text{ \AA}$, y contiene iones alternos de Cl^- y Na^+ (cristal iónico).



La unión de los átomos que se encuentran en un mismo plano forma los llamados *planos cristalinos*. Cada cristal posee múltiples familias de planos cristalinos, con diferentes distancias interplanares.

Radiografías. Los rayos X de longitud de onda larga, mucho mayor que las distancias interplanares, no se difractan al incidir sobre la sustancia, pero tienen la propiedad de atravesar en mayor o menor grado los cuerpos opacos a la luz visible. De aquí que el uso más extendido de los rayos X haya sido como herramienta de diagnóstico médico.

La absorción de los rayos X será mayor allí donde la sustancia sea más densa (huesos) mientras que la radiación que incide sobre los tejidos blandos pasa con mucha mayor facilidad. Utilizando una placa fotográfica es posible obtener fotografías (*radiografías*) donde se observa perfectamente el contraste entre los huesos sombreados y los tejidos blandos. Como en el negativo fotográfico se invierte la coloración, los huesos se ven blancos y los tejidos blandos más oscuros.

Para obtener rayos X se utilizan tubos al vacío donde los electrones emitidos por un cátodo son frenados bruscamente en un ánodo. El frenaje brusco de los electrones produce la emisión de rayos X y calor. Regulando la velocidad de los electrones, la naturaleza del cátodo y utilizando filtros es posible obtener radiaciones de diferentes longitudes de onda.

En noviembre de 1895, Wilhelm Conrad Roentgen (1845 - 1923) trabajaba en su laboratorio de la universidad de Würzburg, en Alemania, estudiando los efectos de pasar una corriente eléctrica a través de un gas a presiones muy bajas.

Al llevar a cabo sus observaciones, notó que su dispositivo ocasionaba la fluorescencia de sales de platino cianuro de bario que se encontraban sobre su mesa de trabajo. Después de llevar a cabo una serie de experimentos cuidadosos, llegó a la conclusión de que había descubierto un nuevo tipo de radiación, a la que llamó "rayos X".

Al investigar la capacidad de penetración de estos nuevos rayos, Roentgen puso una placa fotográfica debajo de la mano de su mujer y registró así la primera "placa" de rayos X de la historia. En la figura adjunta se muestra esta primera foto, donde se ve claramente el anillo de boda de la Sra. Roentgen en el dedo anular. Roentgen fue galardonado en 1901 con el premio Nóbel de física.



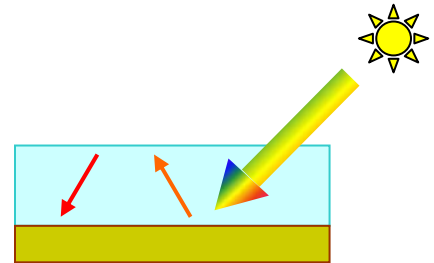
[inicio](#)

¿Cuál es el fundamento físico del “efecto invernadero”?

Efecto invernadero. Término aplicado al papel que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre.

La atmósfera es muy transparente a la radiación solar, que es absorbida por la superficie de la Tierra.

Gran parte de esta radiación se vuelve a emitir hacia el espacio exterior, con su máximo en la región infrarroja y con una distribución acorde a la del espectro de radiación del cuerpo negro a la temperatura ambiente. El balance entre la radiación absorbida y la emitida determina la temperatura de la superficie del planeta.



Parte de la radiación emitida es reflejada de vuelta por gases como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los halocarbonos y el ozono, presentes en la atmósfera. Cuando la concentración de estos gases aumenta, la fracción reflejada también aumenta, causando un calentamiento adicional de la superficie terrestre.

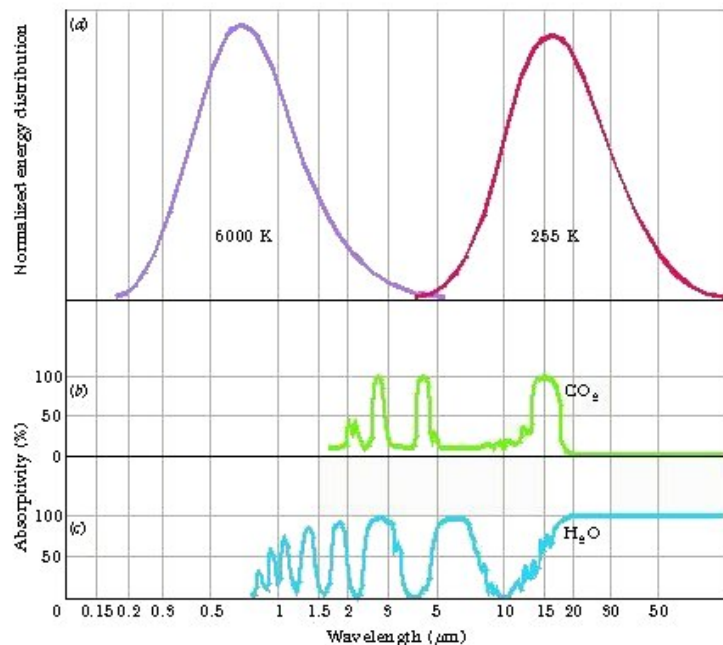
Este efecto es la base de las teorías relacionadas con el calentamiento global, ya que el contenido en dióxido de carbono de la atmósfera ha venido aumentando un 0.4% cada año como consecuencia del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. La destrucción de bosques tropicales por el método de cortar y quemar también ha sido un factor relevante que ha influido en el ciclo del carbono.

La concentración de otros gases que contribuyen al efecto invernadero, como el metano y los clorofluorocarbonos, está aumentando todavía más rápido.

El resultado neto de estos incrementos, si no se toman medidas, podría ser un aumento global de la temperatura de la superficie terrestre, estimado en 2 a 6 °C en los próximos 100 años. Un calentamiento de esta magnitud alteraría el clima en todo el mundo, afectaría a las cosechas y haría que el nivel del mar subiera significativamente, afectando a muchos millones de personas.

En la figura siguiente, el espectro en la parte superior izquierda representa la radiación solar incidente, considerando al sol como un cuerpo negro (T en la superficie 6000 K), con su máximo en el infrarrojo (IR) cercano. El espectro visible se encuentra en la región $\lambda < 0.7 \mu\text{m}$.

La curva a la derecha representa la radiación emitida por la Tierra a la temperatura media en la superficie (255 K, unos 18 °C) con su máximo en el IR mucho más lejano ($\approx 15 \mu\text{m}$). Para que se mantenga el equilibrio y la temperatura promedio en la superficie del planeta no varíe, la radiancia total (el área bajo la curva) debe ser la misma en ambos casos.



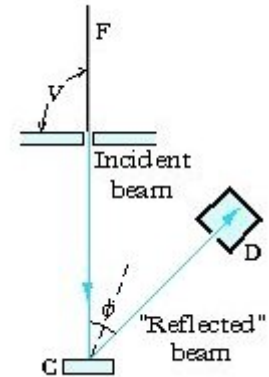
En la parte inferior aparecen los espectros de absorción del vapor de agua y del CO_2 en la atmósfera, en la misma escala de longitudes de onda. Note que el intervalo de frecuencias de la radiación solar coincide poco con la región de absorción del agua y muy poco con la del CO_2 , mientras que la coincidencia es mucho mayor para la radiación emitida por la superficie terrestre. En este último caso se absorbe una fracción más significativa de la radiación, que es afectada visiblemente por la concentración de CO_2 en la atmósfera.

[inicio](#)

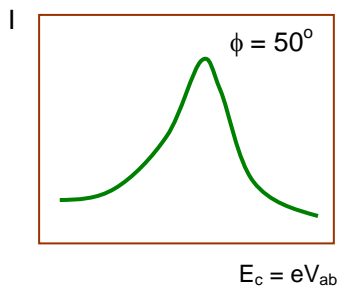
¿Es posible lograr que una partícula se comporte como una onda?

En 1924 el francés Louis de Broglie sugirió que como el universo estaba formado por ondas y partículas, y se sabía que las ondas tenían propiedades de partícula, se debía investigar si las partículas, en determinadas condiciones, también podían comportarse como ondas. Basándose en estas ideas, los norteamericanos Davisson y Germer "bombardearon" un monocristal de níquel con un haz de electrones, tratando de encontrar un patrón similar al patrón de difracción que se obtiene cuando se utilizan rayos x.

El esquema del experimento se muestra en la figura adjunta. El filamento F al rojo (emisor de electrones) estaba sometido a una diferencia de potencial para acelerar los electrones emitidos. Regulando esta diferencia de potencial es posible controlar la velocidad de los electrones. Los electrones incidían en el cristal C, y los que eran reflejados se recogían en un detector adecuado D, que podía colocarse en diferentes posiciones angulares respecto al haz incidente.



Se pudo comprobar que sólo para determinados valores de ϕ aparecía un máximo del haz reflejado (ver figura), y que el valor de ese máximo variaba en dependencia del valor del potencial V_{ab} y de la correspondiente cantidad de movimiento $p = mv$ de los electrones.



Fue posible interpretar estos resultados cualitativa y cuantitativamente asumiendo que el haz de electrones tiene una longitud de onda asociada, dada por

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

y que ocurre un fenómeno de difracción de los electrones en el cristal. La longitud de onda calculada, $\lambda \approx 1 \text{ \AA}$, era del orden del valor de las distancias interatómicas del material ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

Este experimento fue sólo la primera evidencia de que un haz de partículas puede comportarse, en determinadas condiciones, con propiedades ondulatorias. Las propiedades ondulatorias de las partículas se utilizan actualmente en forma cotidiana. Un ejemplo es el microscopio electrónico, donde un haz de electrones se enfoca para formar una imagen de una muestra con mucha mayor aumento y resolución que en los microscopios ordinarios.

La razón por la que un microscopio electrónico es capaz de lograr mayores aumentos tiene que ver con el tamaño de la longitud de onda utilizada para iluminar el objeto y con la difracción. Un microscopio convencional utiliza luz visible para funcionar, cuya longitud de onda se encuentra alrededor de los 5000 \AA ($0.5 \mu\text{m}$). La longitud de onda asociada a un haz de electrones puede llegar a ser unas 100 000 veces menor ($\lambda = 0.005 \text{ nm}$).

Una condición para que haya difracción es que la longitud de onda sea del orden de las dimensiones del objeto. Por ejemplo, en el caso de la difracción por una abertura de radio a , para que ocurra la difracción debe cumplirse que $\lambda \approx a$. Por tanto, cuando en un microscopio óptico iluminado por luz natural las dimensiones de un objeto están cercanas a los $0.5 \mu\text{m}$ o menores, sólo podrá observarse el patrón de difracción del objeto, cualquiera que sea el aumento de las lentes del microscopio.

En un microscopio electrónico los electrones atraviesan la muestra (o se reflejan en ella) y se hacen incidir en una pantalla fluorescente donde se observa la imagen. El enfoque correcto del haz se controla mediante lentes eléctricas y magnéticas. Como la longitud de onda asociada a los electrones se puede regular hasta valores de $\lambda = 0.005 \text{ nm}$, los fenómenos de difracción sólo comenzarán a manifestarse en objetos muy pequeños. Resulta así posible obtener fotos muy precisas de objetos extremadamente pequeños, incluso de átomos.

La figura de la izquierda muestra la fotografía de un bacteriófago T4, un virus que solo ataca a las bacterias. A la derecha aparece la imagen de una muestra cristalina muy fina que contiene átomos de cobre, cloro y nitrógeno, tomada con un microscopio electrónico de alta resolución. Los átomos de cobre se distinguen perfectamente en el centro de las “rosetas” formadas por 16 átomos de cloro. Los átomos de nitrógeno ocupan posiciones intermedias. En el centro se ha sustituido una molécula por su esquema para facilitar la visualización.

[inicio](#)

