

# 20-NATURALEZA DE LA LUZ Y LEYES DE ÓPTICA GEOMÉTRICA



Esta fotografía muestra un arco iris secundario con los colores invertidos. La aparición del arco iris depende de tres fenómenos ópticos: reflexión, refracción y dispersión



## Christiaan Huygens

Físico y astrónomo holandés (1629-1695). Es conocido por sus aportaciones a los campos de la óptica y la dinámica. Para él, la luz consistía en un tipo de movimiento vibratorio que se dispersa y produce la sensación de luz cuando incide en los ojos. Con base en esta teoría, dedujo las leyes de la reflexión y la refracción y explicó el fenómeno de doble refracción.

# NATURALEZA DE LA LUZ

Galileo y otros científicos intentaron (sin éxito) medir la rapidez de la luz.

Ole Roemer en 1676 obtuvo un valor de 214.000 km/s, Bradley en 1728: 301.000 km/s (métodos astronómicos ) y luego Fizeau en 1849: 315.000 km/s .

Hasta la época de Newton, la mayoría de los científicos, incluyéndolo, pensaban que la luz consistía en corrientes de partículas *emitidas por las fuentes luminosas* (**teoría corpuscular**). Explicaba la reflexión y la refracción.

Hacia fines del siglo XVII aparecen evidencias de las propiedades *ondulatorias de la luz* (**teoría ondulatoria**): 1678 Christian Huygens: demostró que una teoría de ondas de luz podría también explicar la reflexión y la refracción...

*A principios del siglo XIX, la evidencia de que la luz es una onda se había vuelto muy convincente.*

1801, Thomas Young demostró que, bajo condiciones apropiadas, los rayos de luz se interfieren unos con otros: comportamiento que no podía ser explicado en aquel tiempo por una teoría de partículas.

1847- Faraday supone a la luz como una “vibración electromagnética”

En 1873 James Clerk Maxwell predijo la existencia de ondas electromagnéticas y calculó su rapidez de propagación, que coincidía con el medido para la luz.

Esto junto con el trabajo experimental que inició en 1887 Hertz, demostró en forma concluyente que la luz en verdad es una onda electromagnética.



# NATURALEZA DE LA LUZ

Modelo ondulatorio y la teoría clásica del electromagnetismo explicaban la mayoría de las propiedades de la luz, no podían explicar otros experimentos posteriores, como el **efecto fotoeléctrico** (Hertz): cuando incide luz sobre una superficie metálica, a veces se expulsan electrones de la superficie.

Entre las dificultades que surgieron mostraban que la energía cinética de un electrón expulsado es independiente de la intensidad de la luz.

Einstein (1905) **teoría del efecto fotoeléctrico** aplicando modelo de acuerdo con el **concepto de Cuantización de Planck** (1900)

El modelo de cuantización supone que la energía de una onda luminosa está presente en “**partículas**” llamadas **fotones**; *por tanto, se dice que la energía está cuantizada. Según la teoría de Einstein*, la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética:  **$E = hf$**  donde la constante de proporcionalidad  **$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$**  es la **constante de Planck**.

*Estas propiedades aparentemente* contradictorias de onda y partícula se conciliaron a partir de 1930 con el desarrollo de la **electrodinámica cuántica**, una teoría integral que incluye *tanto las* **propiedades ondulatorias como las corpusculares**.

*La propagación de la luz se describe mejor con el* modelo ondulatorio, pero para comprender la emisión y la absorción se requiere un enfoque corpuscular.

**Doble naturaleza de la luz:** en algunos casos exhibe características de una onda y en otras de una partícula.

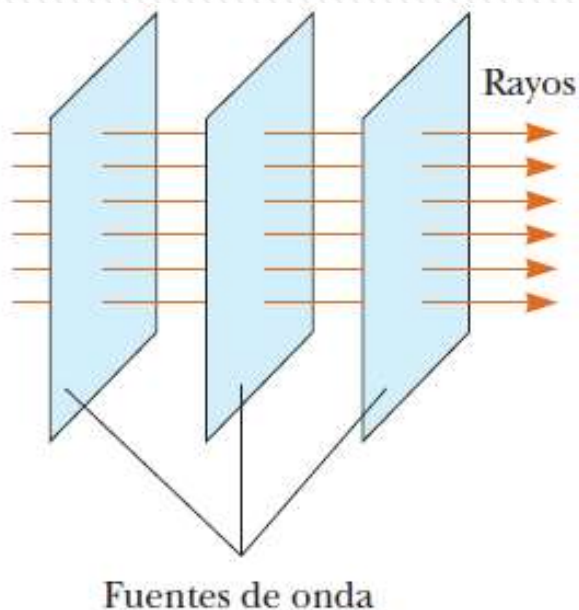
# APROXIMACIÓN DE UN RAYO EN ÓPTICA GEOMÉTRICA

Para describir las direcciones en las que se propaga la luz, a menudo conviene representar una onda luminosa por medio de **rayos**.

En la teoría corpuscular de la luz, los rayos son las trayectorias de las partículas, en el ondulatorio, es **una línea imaginaria a lo largo de la dirección de propagación de la onda**.

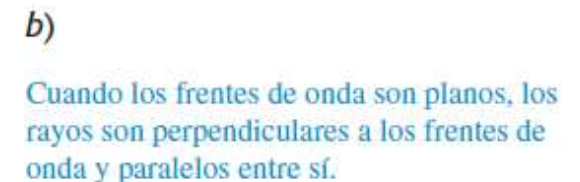
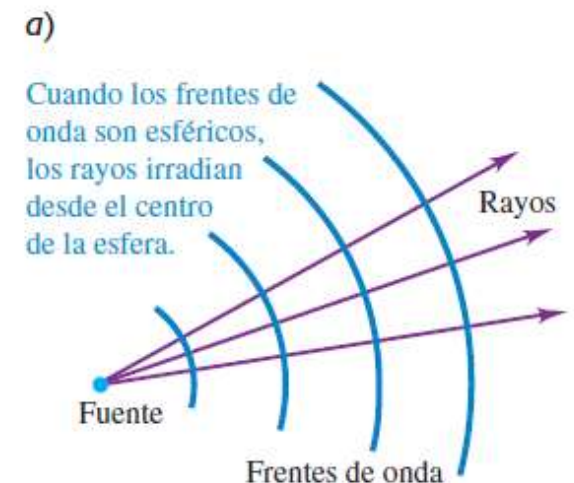
**Óptica geométrica:** modelo de propagación de la luz:

se desplaza en una dirección fija y en línea recta cuando pasa por un medio uniforme, y cambia su dirección cuando se encuentra con un medio diferente o si las propiedades ópticas del medio no son uniformes.



**Aproximación de un rayo:** los rayos de una onda determinada son líneas rectas perpendiculares a los frentes de onda, para una onda plana.

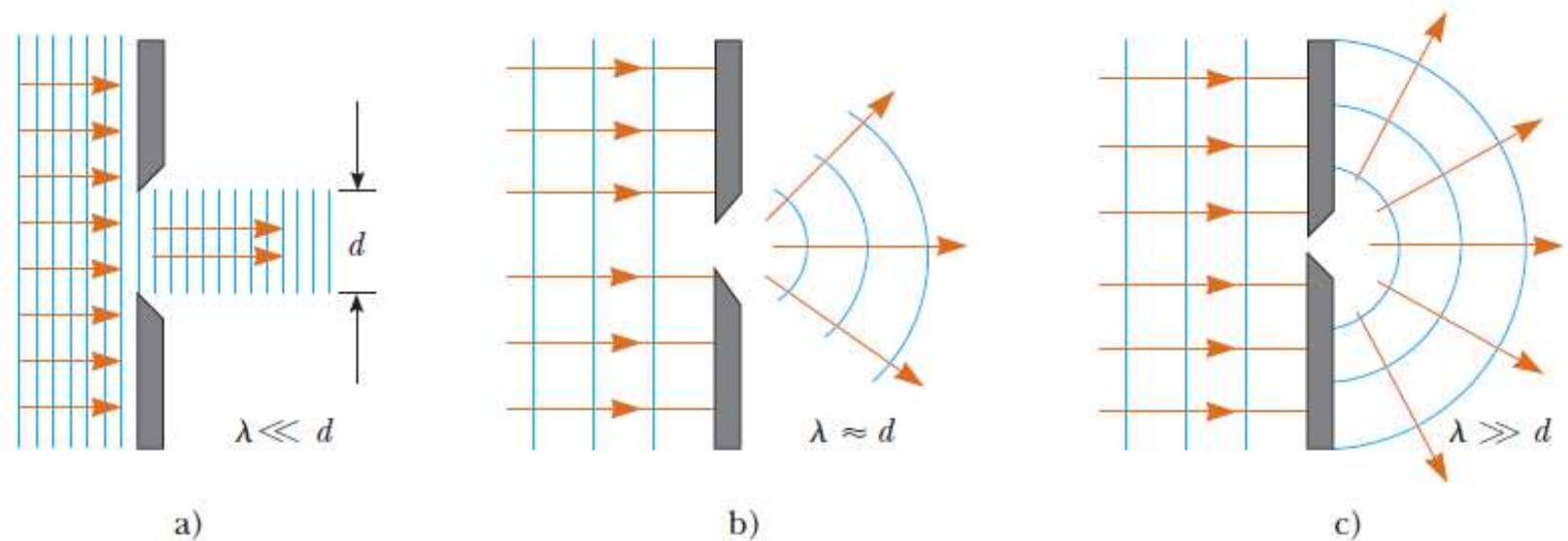
**$c = 2,99792458 \times 10^8$  m/s** (valor adoptado como exacto, define el metro) en el vacío para cualquier frecuencia.



# APROXIMACIÓN DE UN RAYO EN ÓPTICA GEOMÉTRICA

Comportamiento de la onda al encontrar barrera con abertura circular (d) según tamaño relativo con  $\lambda$ .

**Óptica geométrica:** aproximación del rayo y suposición de que  $\lambda \ll d$ . Muy buena aproximación para estudio de espejos, lentes, prismas e instrumentos ópticos asociados, por ejemplo telescopios, cámaras y anteojos.



Onda plana de longitud  $\lambda$  incide sobre barrera en la que hay una abertura de diámetro  $d$ .

a) Cuando  $\lambda \ll d$ , los rayos siguen en una trayectoria en línea recta, y la aproximación de rayo continúa siendo válida. Existen sombras nítidas.

b) Cuando  $\lambda \approx d$ , los rayos se extienden después de pasar por la abertura (**difracción**), sin “respetar” una trayectoria rectilínea..

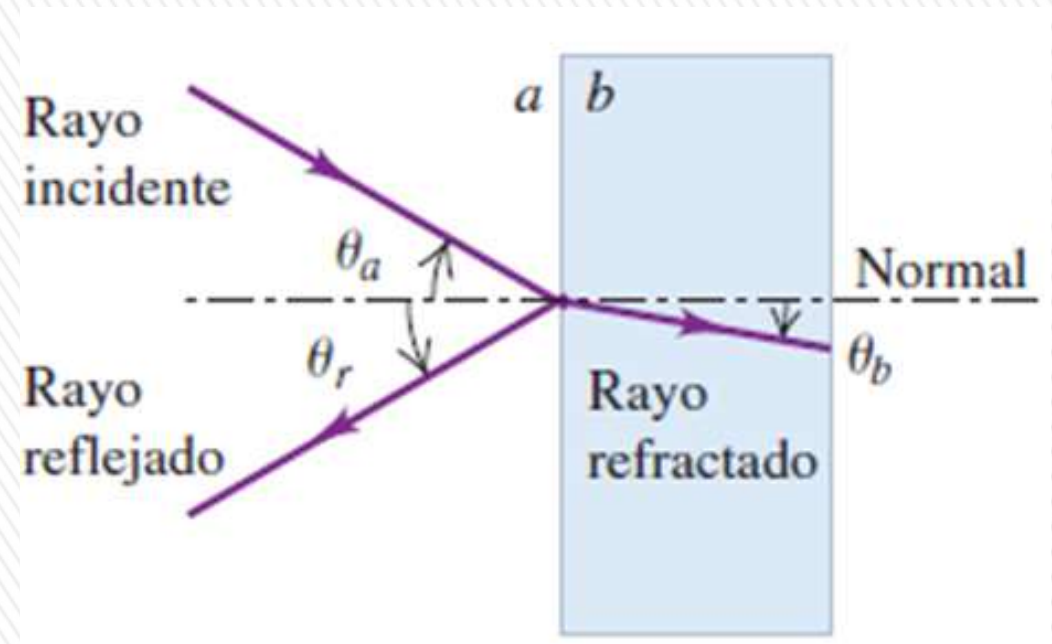
c) Cuando  $\lambda \gg d$ , la abertura se comporta como fuente puntual que emite ondas esféricas.

# REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Usamos modelo de la luz basado en *rayos para analizar* la propagación de la luz y su **reflexión y refracción**.

Cuando la luz incide en una interfase lisa que separa dos materiales transparentes (aire-vidrio, o agua-vidrio), en general se *refleja parcialmente y también se refracta (se transmite) parcialmente hacia el segundo material*.

Direcciones de todos los rayos incidente, reflejado y refractado (transmitido) en interfase lisa entre dos materiales ópticos se describen a través de los ángulos que forman con la *normal (perpendicular) a la superficie en el punto de incidencia*.

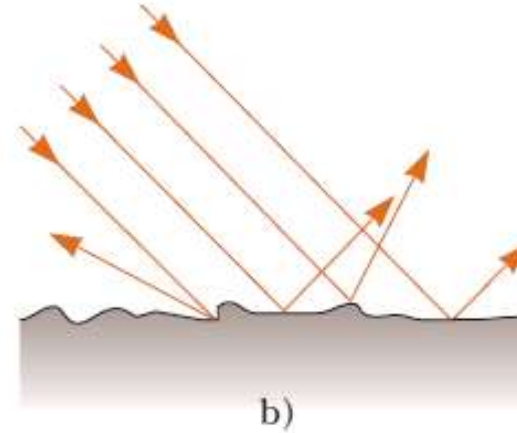
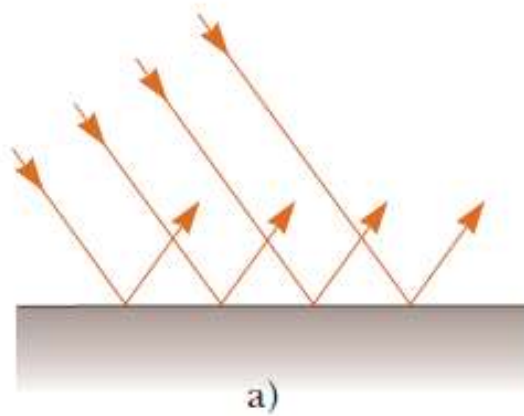


**Reflexión especular:** incidencia sobre superficie lisa (espejo) y los rayos reflejados son paralelos entre sí.

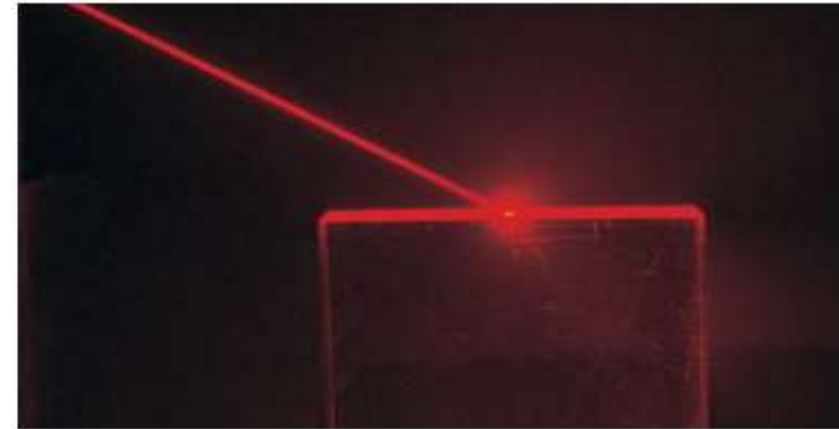
**Reflexión difusa:** si la superficie reflectora es rugosa, la superficie refleja los rayos no como un conjunto paralelo sino en varias direcciones.

Una superficie se comporta como superficie lisa mientras las variaciones de superficie son mucho menores que la longitud de onda de la luz incidente.

# REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN



Cortesía de Henry Leap y Jim Lehman.



a) reflexión especular, todos los rayos reflejados son paralelos entre sí, y  
b) reflexión difusa, los rayos reflejados viajan en direcciones aleatorias.  
c) y d) Fotografías de reflexión especular y difusa con luz láser.