



Universidad de Oviedo

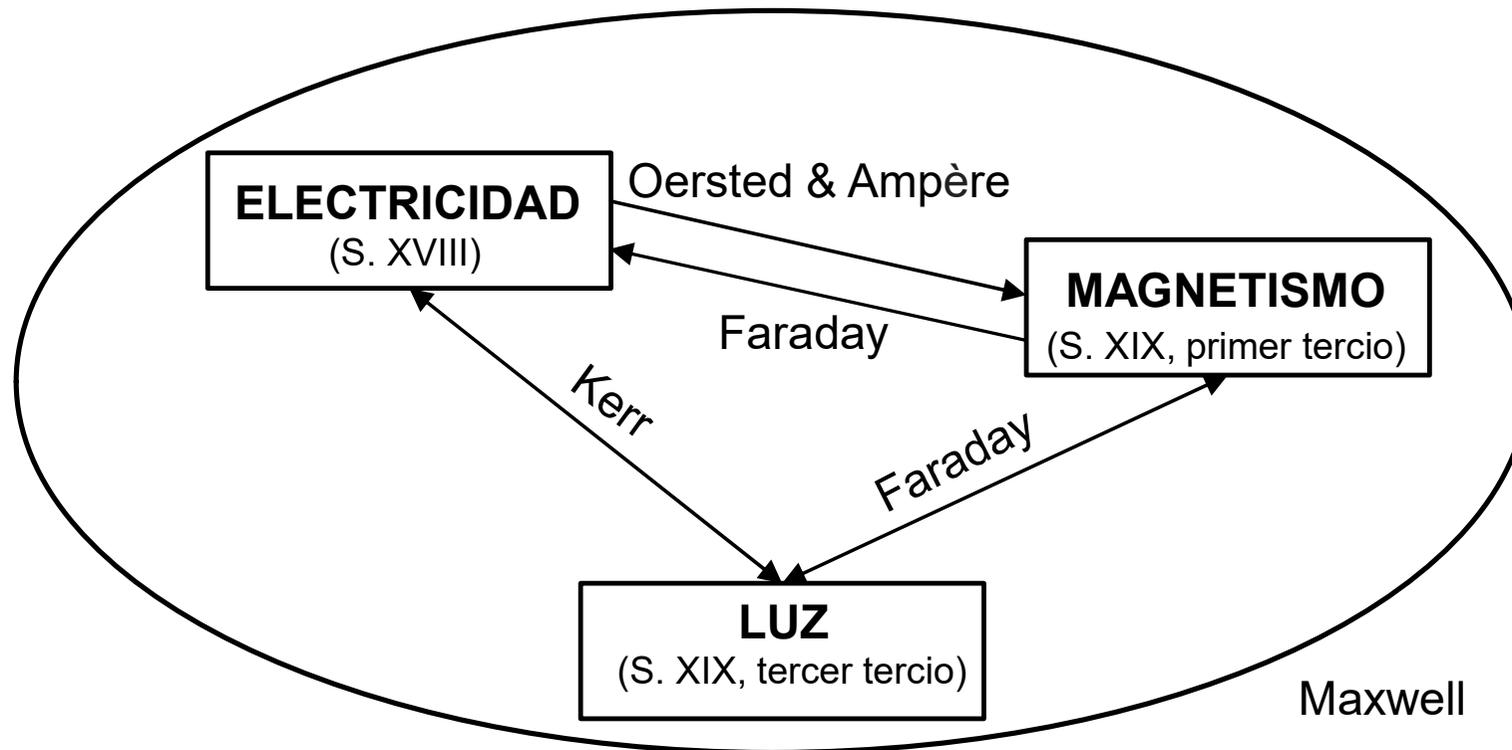
# NOCIONES HISTÓRICAS DEL ELECTROMAGNETISMO

Rafael Caballero Flores  
Dpto. Física. Facultad de Ciencias  
Universidad de Oviedo

<http://www.unioviedo.es/rafaelcaballero/>



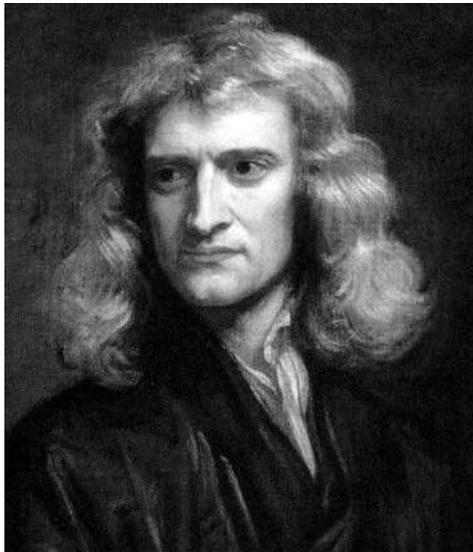
# ELECTROMAGNETISMO



**Electromagnetismo** es una combinación de dos palabras: **Electricidad**, que viene de la palabra griega “electrón”, que significa ámbar (resina vegetal fosilizada); y **Magnetismo**, que viene de “magnes”, que significa imán y deriva de Magnesia, región del Asia Menor donde se encontró el mineral de hierro, la magnetita, conocido como piedra imán.

# JAMES CLERK MAXWELL

**Isaac Newton**  
(1643-1727)



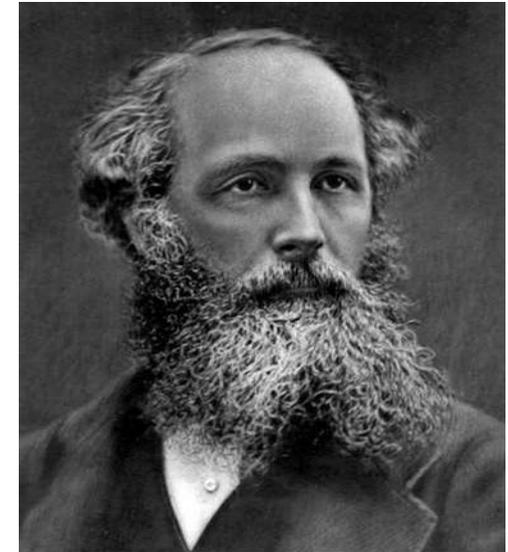
*Si he visto más lejos es porque me he sentado sobre los hombros de gigantes.*

**Albert Einstein**  
(1879-1955)

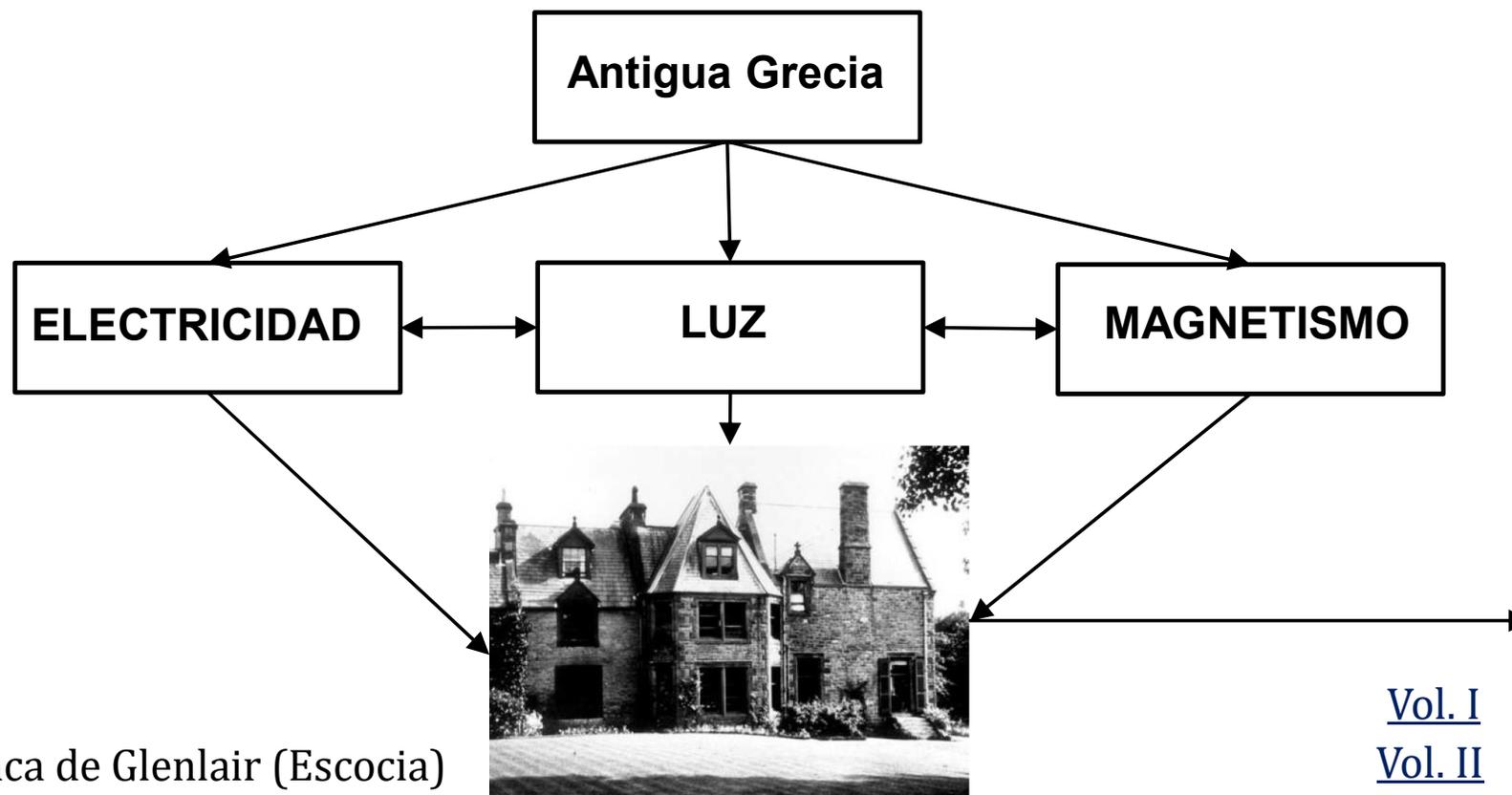


*Si he visto más lejos es porque me he sentado sobre los hombros de Maxwell.*

**Maxwell**  
(1831-1879)



# TRES CAMINOS QUE CONFLUYEN EN UNO: La síntesis electromagnética de Maxwell

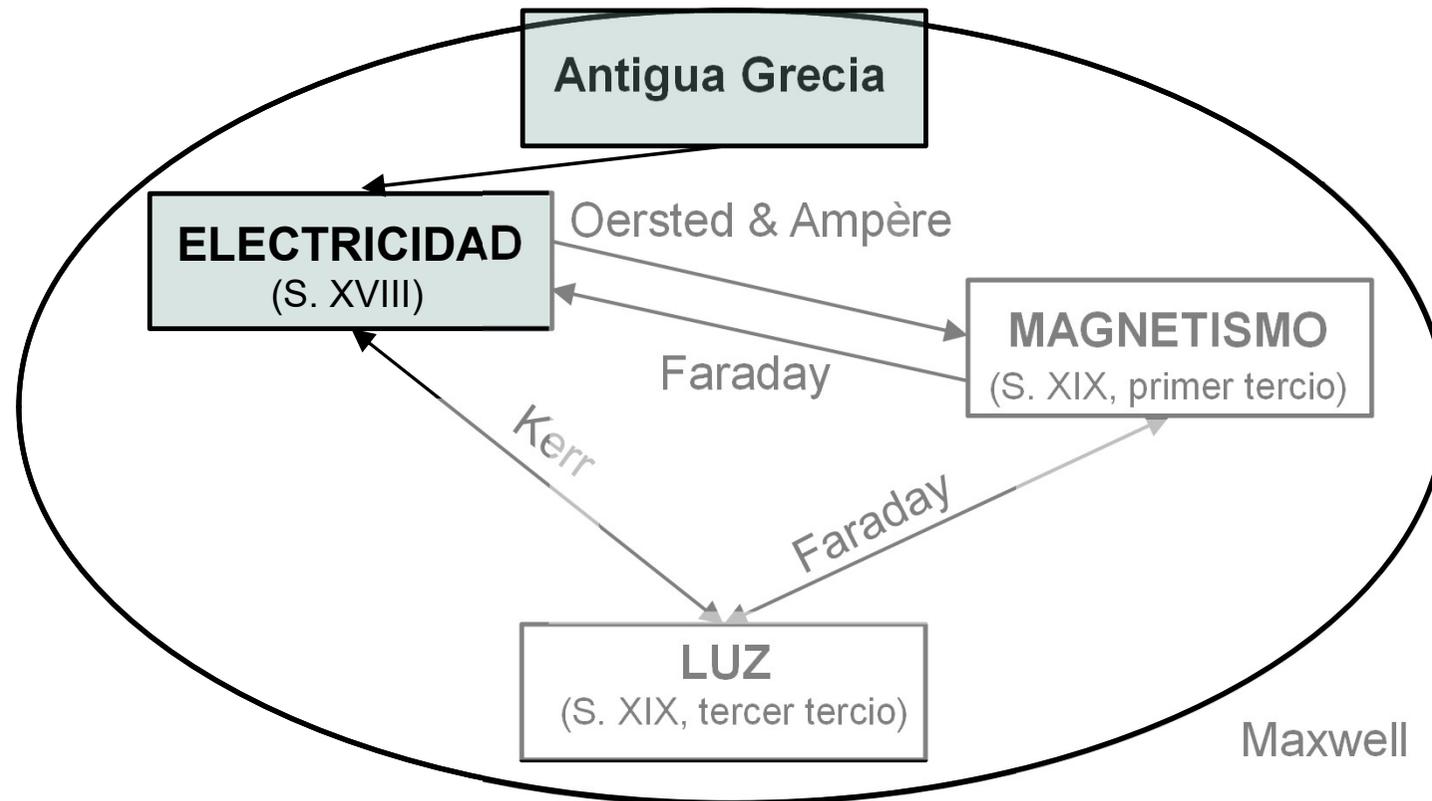


1865, finca de Glenlair (Escocia)

R. Caballero-Flores. Universidad de Oviedo

Física General II. Grado en Química

# ELECTRICIDAD



## ANTIGUA GRECIA

➤ **Tales de Mileto** (630 - 550 a.C.):

El ámbar, al ser frotado con lana, atrae objetos ligeros.

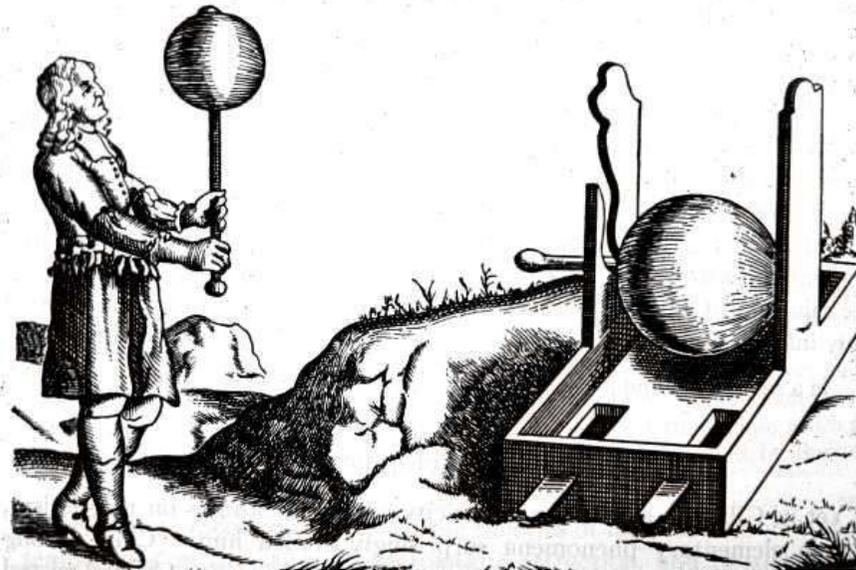
➤ **Teofrasto** (374 - 287 a.C.):

Se dio cuenta de que la turmalina, al calentarse, producía electricidad estática y atraía briznas de paja (**piroelectricidad**).

- **ELECTRICIDAD ESTÁTICA:** frotamiento
- **UN TIPO DE ELECTRICIDAD:** resinosa
- **FUERZA ELÉCTRICA:** atractiva

# OTTO VON GUERICKE (1602-1686)

En 1660 construye la primera máquina electrostática para producir descargas eléctricas.



Vio chispas mientras la frotaba.  
La electricidad puede fluir como  
el **calor**.

## OTTO VON GUERICKE: Más conocido por...



### **Hemisferios de Magdeburgo:**

16 caballos fueron incapaces de separar dos hemisferios acoplados en cuyo interior se había hecho el vacío (con una bomba de vacío que él mismo inventó).

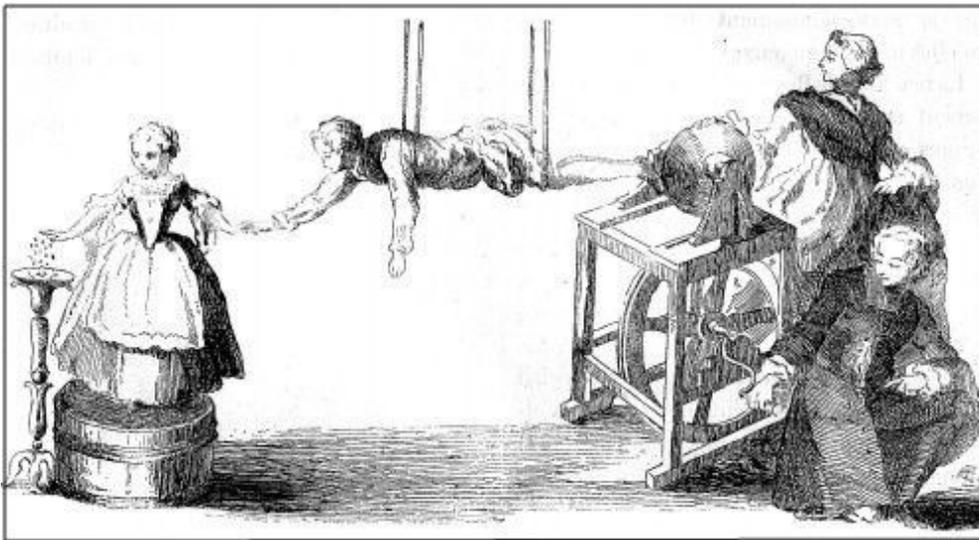
Fue alcalde de Magdeburgo y se ganaba la vida como mago.

# STEPHEN GRAY (1670-1736)

- La electricidad se transmite a través de un cuerpo a otro.
- Diferencia a los cuerpos **conductores** y **aislantes**.



Gray consigue transmitir la electricidad a través de un hilo metálico de 200 m de longitud.



Considera la electricidad, al igual que el calor, como un **fluido**. De hecho, todavía se habla de fluido eléctrico y se usa el término condensador.

**Condensador:** Cámara donde el vapor de una máquina térmica se condensa o convierte en líquido por acción de agua de refrigeración. Si antes decíamos “para guardar fluidos”, hoy decimos “para guardar cargas”

## CHARLES FRANCOIS DUFAY (1698-1739)



- Primero en identificar la existencia de dos tipos de electricidad:

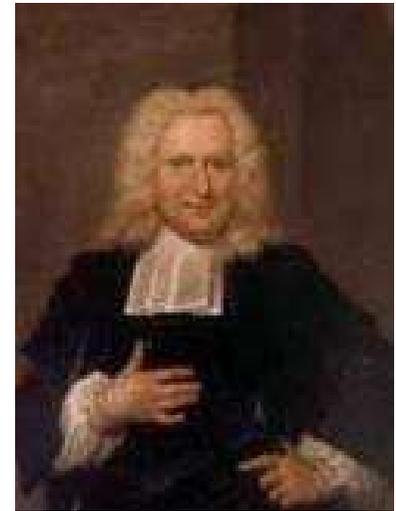
**Vítrea:** vidrio o mica frotados con seda.

**Resinosa:** ámbar, lacre y otras sustancias resinosas frotadas con lana.

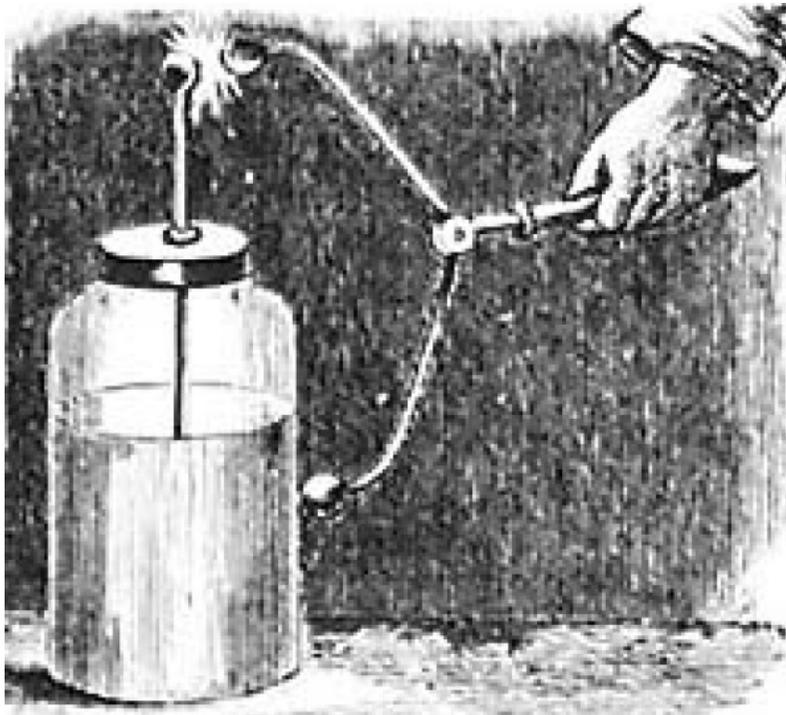
Considera la electricidad como **dos fluidos:** fluido vítreo y fluido resinoso.

**Fuerza eléctrica:** atractiva y repulsiva.

# PIETER VAN MUSSCHENBROECK (1692-1761)

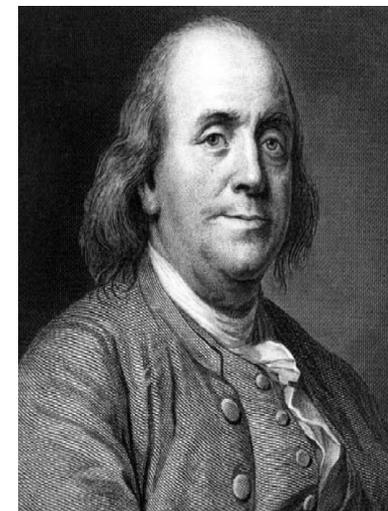


## Botella de Leyden

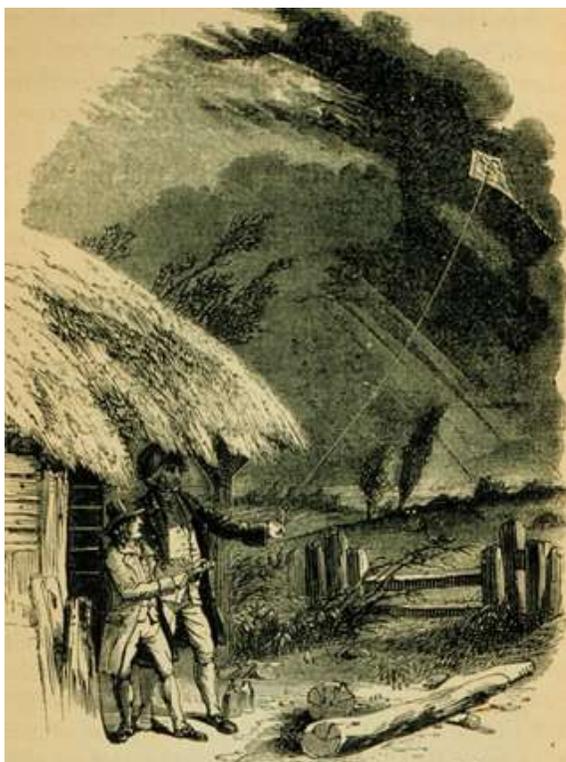


Crea el primer aparato para almacenar carga eléctrica llamado la Botella de Leyden (**condensador cilíndrico**), basado en un diseño de Ewald Jurgen von Kleist.

# BENJAMIN FRANKLIN (1706-1790)



## Inventó el pararrayos



Sólo existe un fluido eléctrico y no dos: el **vítreo**  
Dos estados de electrización:

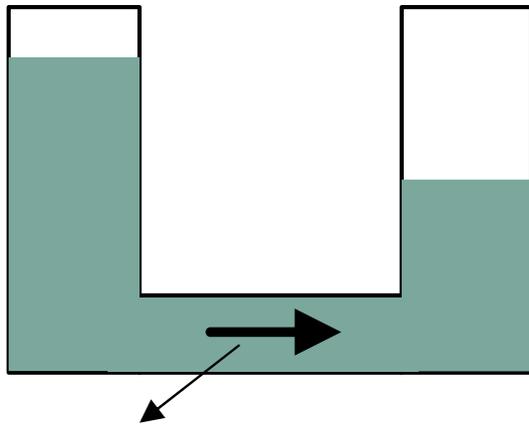
Vítreo (**exceso** de fluido, +)

Ámbar (**defecto** de fluido, -).

Franklin y su hijo experimentando con una cometa bajo una tormenta (1754). El rayo es una descarga eléctrica.

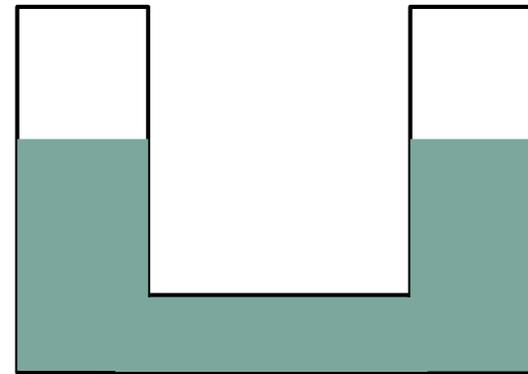
## BENJAMIN FRANKLIN: Sentido de la corriente

Estado inicial



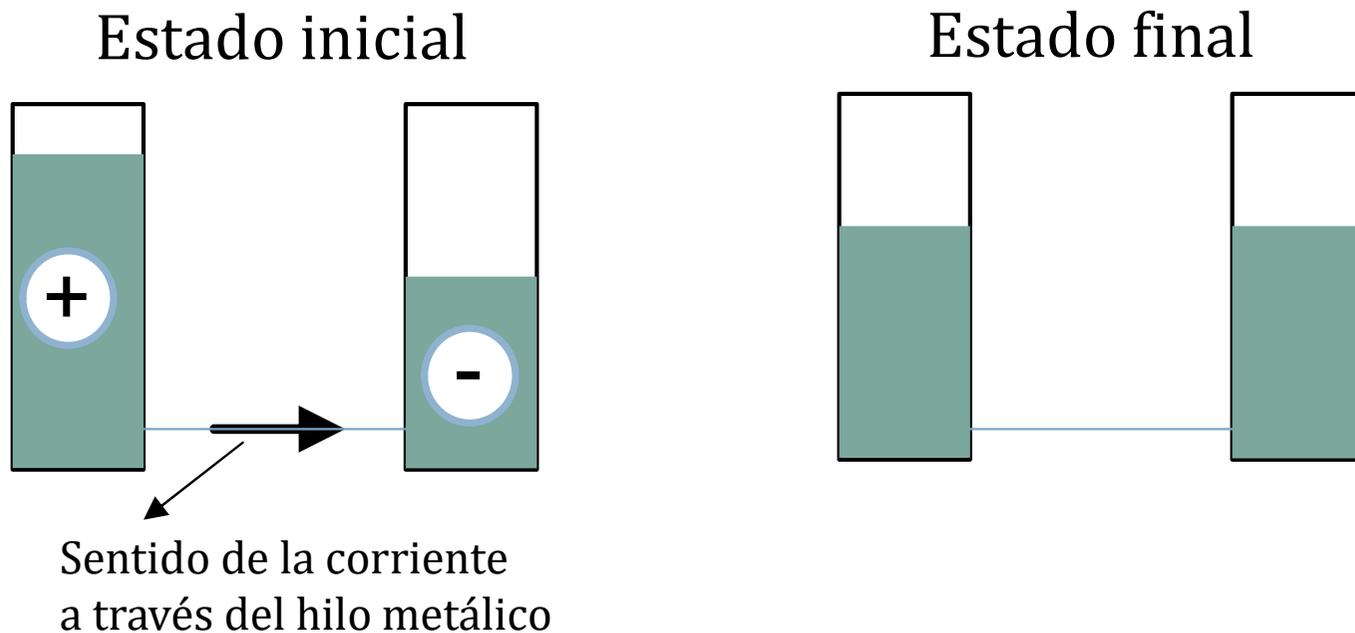
Sentido de la corriente

Estado final



Aparece una corriente transitoria de agua hasta que las alturas se igualen.

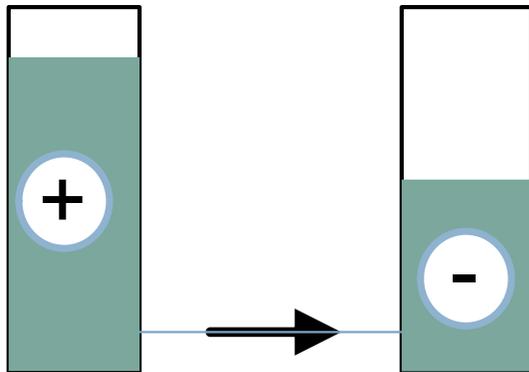
# BENJAMIN FRANKLIN: Sentido de la corriente



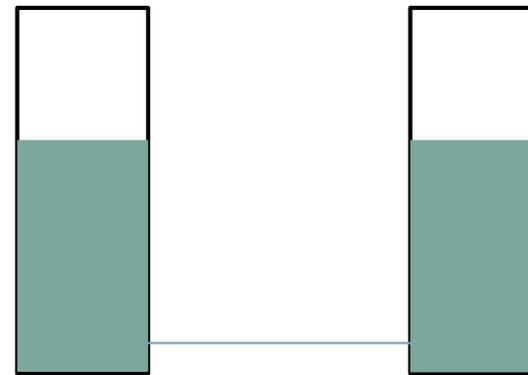
Aparece una corriente transitoria de electricidad del polo (+) al polo (-) hasta que “los fluidos” (cargas) se igualen.

# BENJAMIN FRANKLIN: Sentido de la corriente

Estado inicial

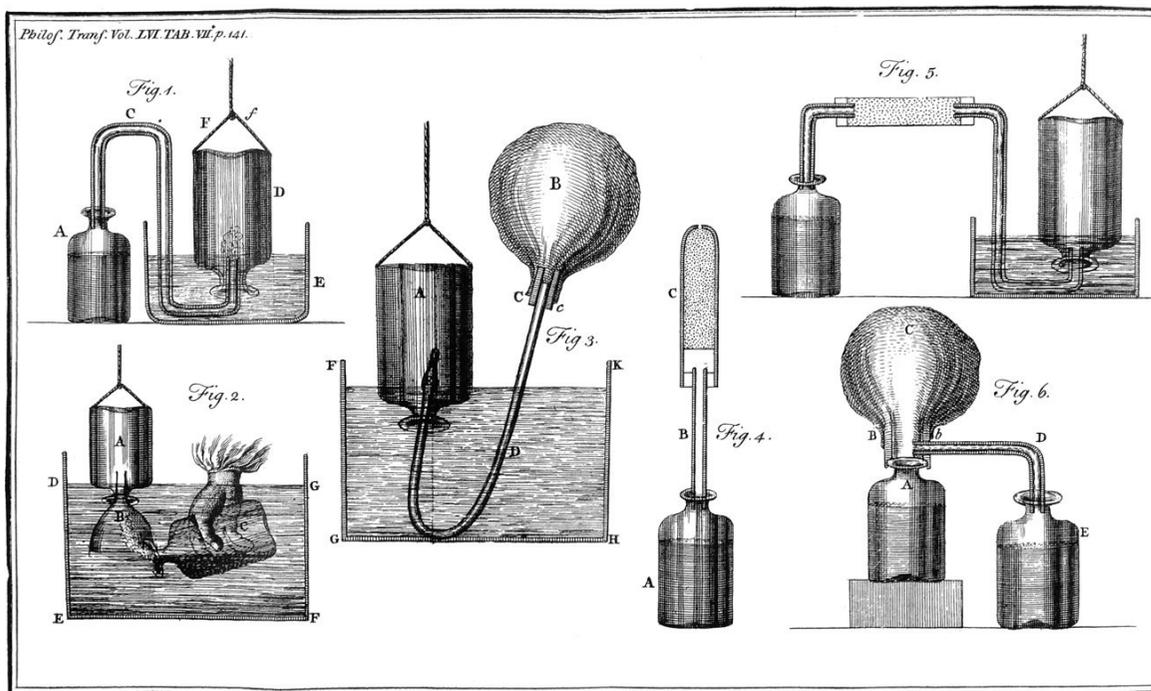


Estado final



Hoy sabemos que la corriente eléctrica es la circulación de electrones a través de un material conductor, que se mueven del polo (-) al polo (+) de la fuente de suministro. Sin embargo, en la época de Franklin no se conocía la existencia de los electrones, y, por analogía con los vasos comunicantes, pensó que lo que se movía era la carga positiva, del polo (+) al polo (-). Este sentido de la corriente se ha conservado ya que, aunque incorrecto, no afecta al estudio de la corriente eléctrica.

# HENRY CAVENDISH (1731-1810)

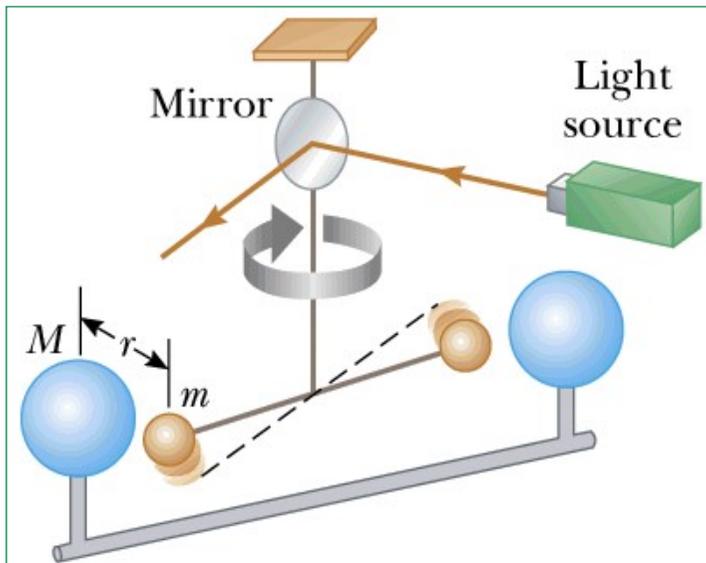


Ideó los conceptos de **carga eléctrica** y **resistencia eléctrica**.  
Medió de la **capacidad** de un condensador.

No publicaba sus trabajos por timidez (y porque era extremadamente rico).

Dejó 20 paquetes de manuscritos que publicó Maxwell en 1879.

## HENRY CAVENDISH: Más conocido por...



**Pesar el Universo:** Determinó el valor de la constante  $G$  usando la balanza de torsión inventada por Coulomb.

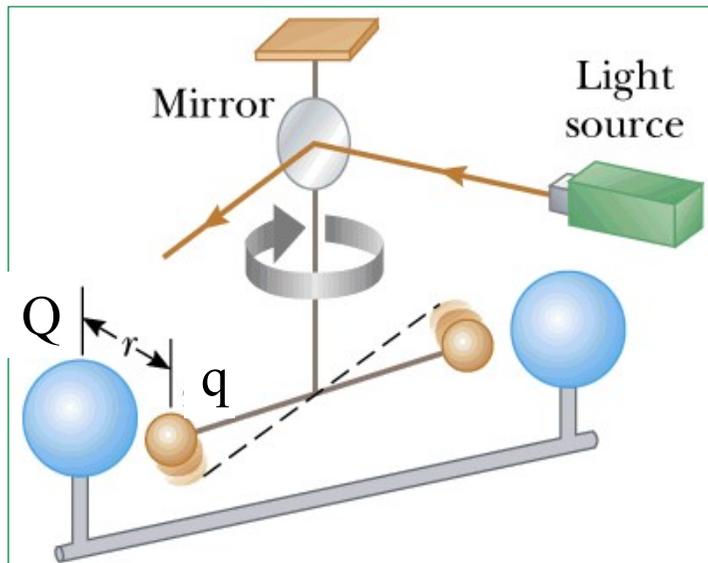
$$F = G \frac{M m}{r^2}$$

$$G = 6.67408(31) \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

# CHARLES AUGUSTIN COULOMB (1736-1806)



## Ley de Coulomb



En 1785 formula la ley de las fuerzas de atracción y repulsión entre cargas eléctricas:

$$F \propto \frac{Q q}{r^2}$$

## KARL FRIEDRICH GAUSS (1777-1855)

En 1835 formula (la publica en 1839) su famosa ley:  
El flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la cantidad de carga encerrada por la superficie.

La ley de Gauss para el campo magnético: El flujo del campo magnético a través de cualquier superficie cerrada es nulo.



Wilhelm Eduard Weber  
(1804-1891)

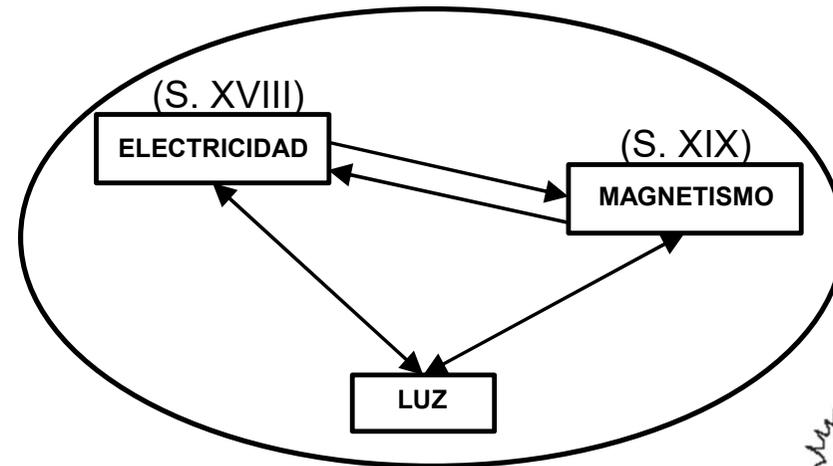
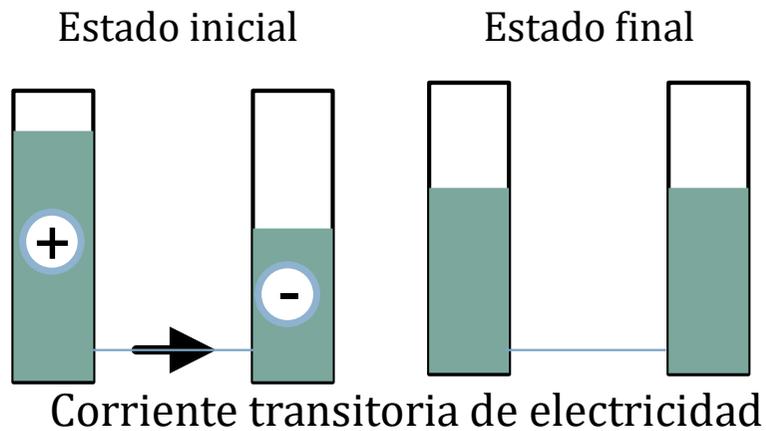
## SIMÉON DENIS POISSON (1781-1840)



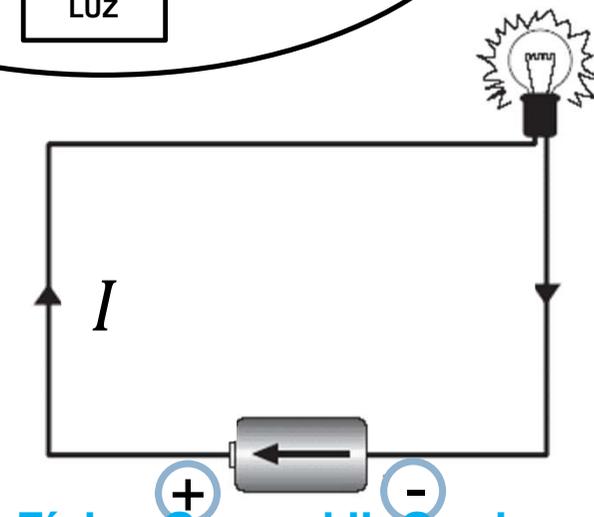
- Alumno de Pierre Simon de Laplace (1749-1827) y de Joseph Louis Lagrange (1736-1813). Fue más matemático que físico.
- Ideó el concepto de **potencial eléctrico** *a partir del potencial gravitatorio de Laplace.*

En 1811 estudió la distribución de la electricidad sobre la superficie de los conductores.

# RETRASO DEL MAGNETISMO



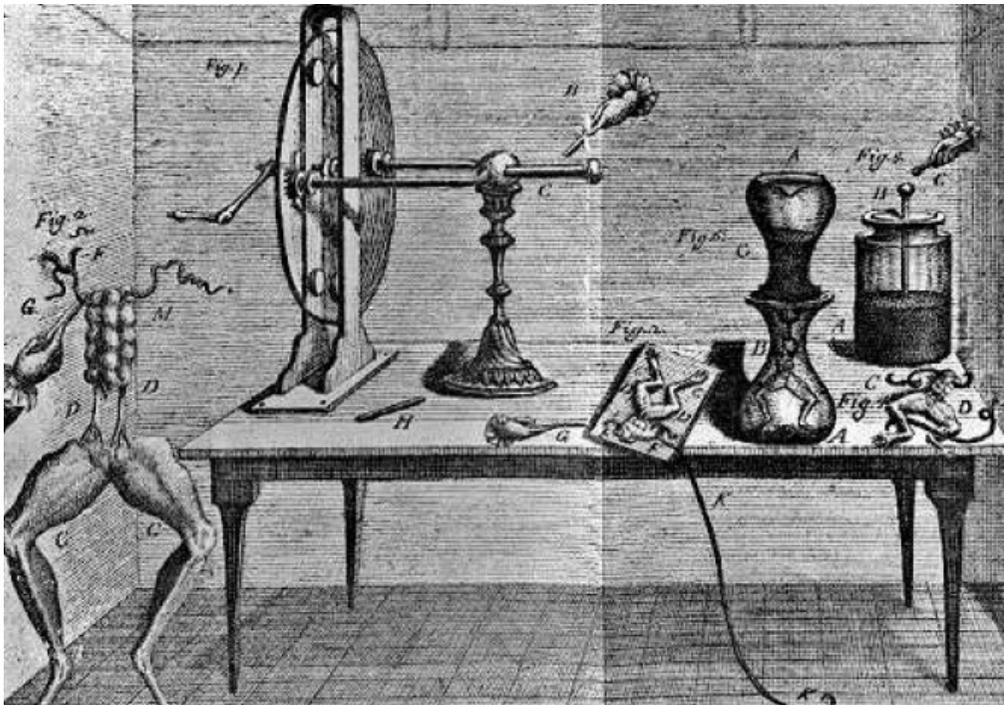
El desarrollo del magnetismo tuvo que esperar a la invención de una fuente de corriente eléctrica continua, la pila eléctrica de Volta.



# LUIGI GALVANI (1737-1798)



## Naturaleza eléctrica del impulso nervioso



Experimentos de Galvani con ancas de rana.

R. Caballero-Flores. Universidad de Oviedo

Trabajó con la máquina electrostática rotatoria de Otto von Guericke (izquierda) y la botella de Leyden (derecha).

Estudió el efecto de la electricidad sobre los animales.

Física General II. Grado en Química

# ALESSANDRO G. VOLTA (1745-1827)



**Inventó la pila en 1800\***

Galvani vio como al tocar el nervio y el músculo del anca de la rana con una horquilla de Fe y Cu, ésta se contraía. La llamó electricidad animal.

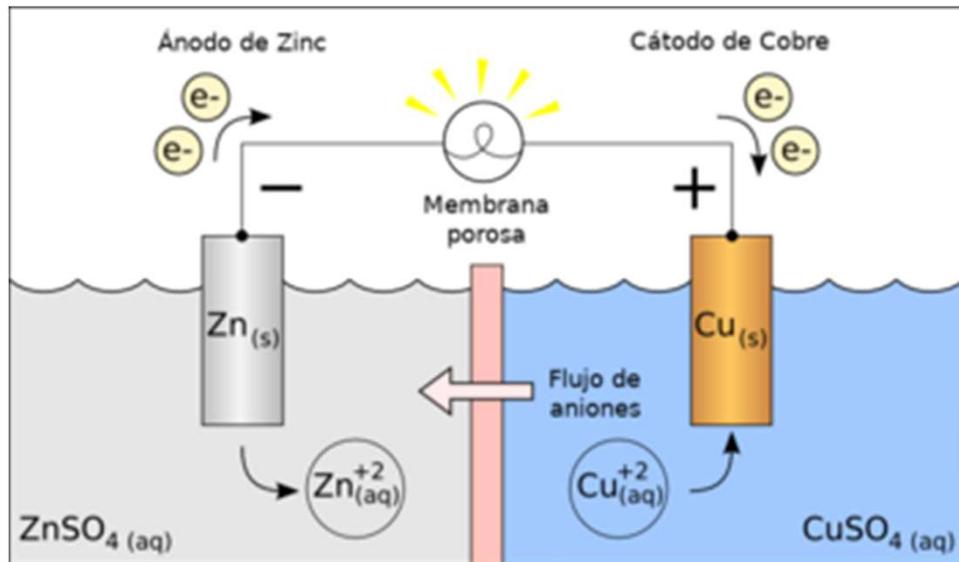
Volta interpretó que los dos metales juntos producían la corriente eléctrica al sumergirlos en una solución salina, y las ancas de rana sólo reaccionaban ante ella.



# HUMPHRY DAVY (1778-1829)



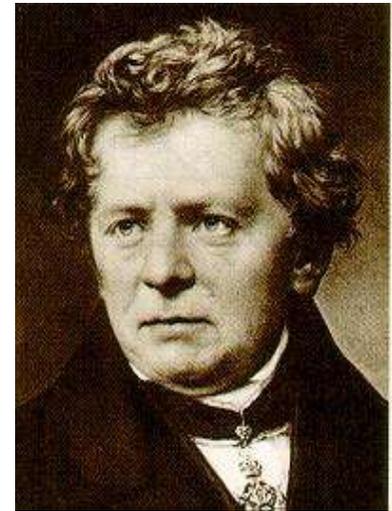
El proceso que genera la electricidad en la pila de Volta es un **proceso químico**.



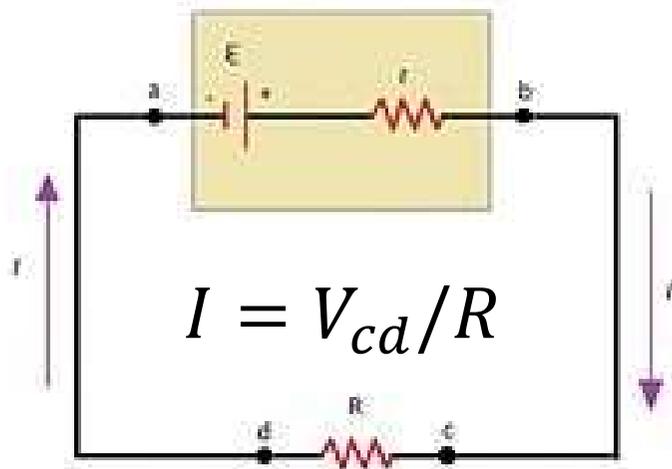
Es el precursor de la **electrolisis**.

Cuando le preguntaron cuál había sido su mayor descubrimiento, respondió: **Michael Faraday**. Salvó muchas vidas con la invención de la lámpara de los mineros.

## GEORGE SIMON OHM (1788-1854)



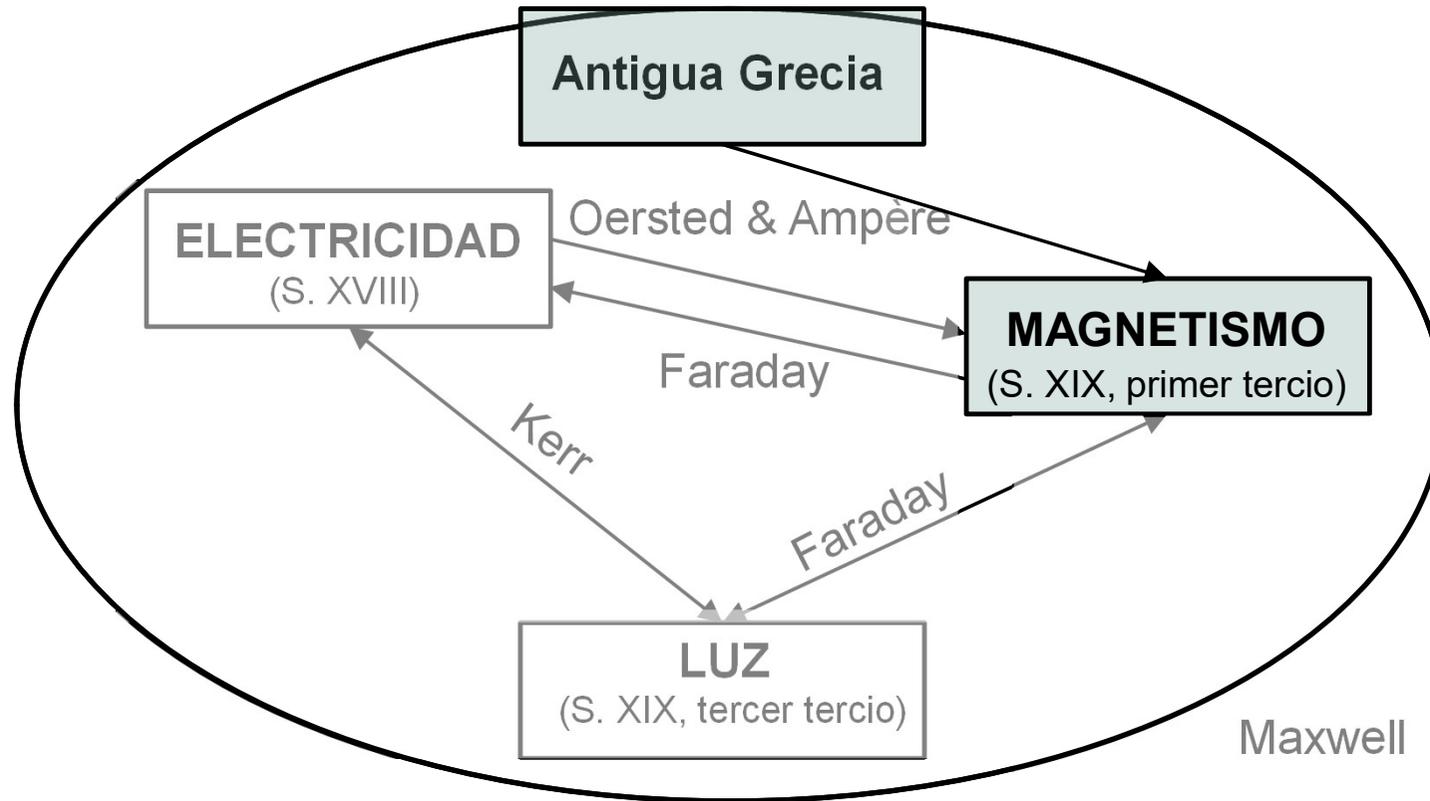
- Realizó una analogía física **calor-electricidad**. Ya se conocía la propagación del calor descrita por Jean-Baptiste J. Fourier (1768-1830).



En 1827 formula la ley que relaciona la diferencia de potencial, la intensidad de corriente y resistencia eléctrica:

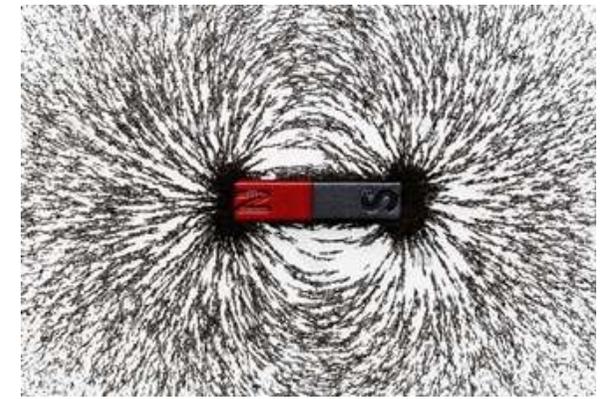
Su reconocimiento tuvo que esperar hasta 1845, cuando Gustav R. Kirchhoff (1824-1887), formuló las dos leyes de los circuitos que llevan su nombre.

# MAGNETISMO



**El auge del magnetismo tuvo que esperar hasta la invención de la pila de Volta en 1800**

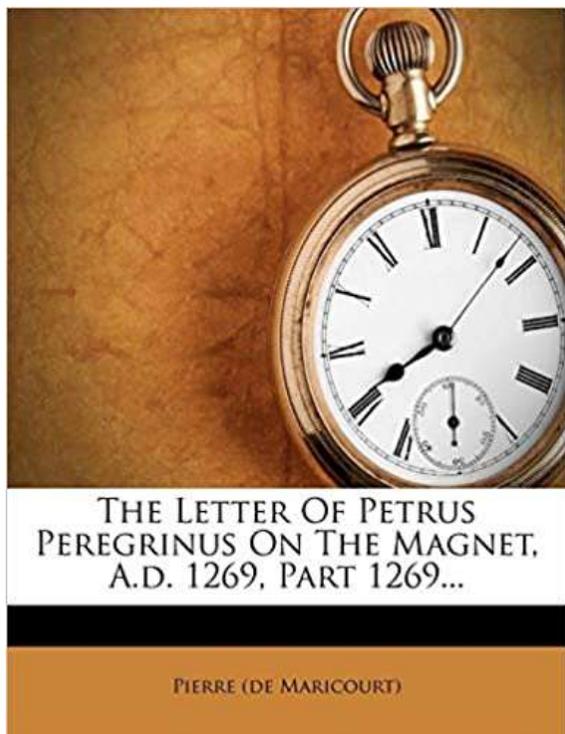
# ANTIGUA GRECIA



La magnetita atrae al hierro y le confiere propiedades magnéticas a éste.

El efecto de atracción es más pronunciado en unas zonas del imán: **polos magnéticos**.

## PIERRE PEREGRINUS DE MARICOURT (s. XIII)

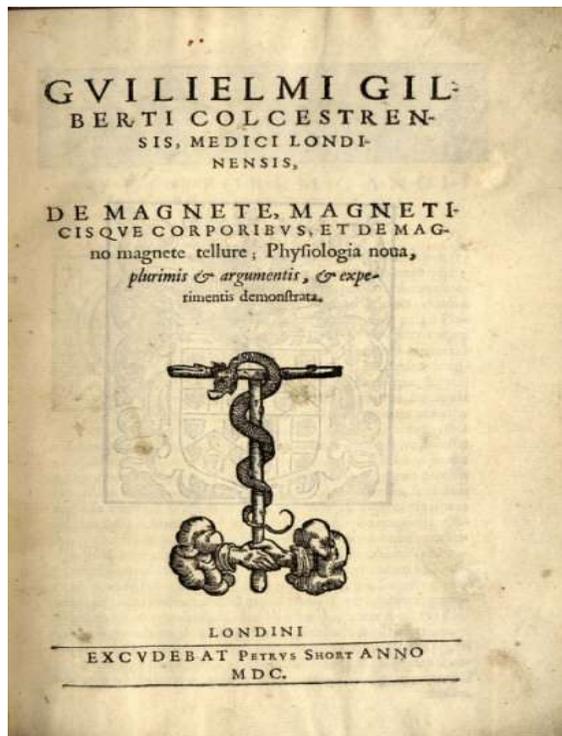


*Epístola de magnete*, carta que le escribe a un amigo, es el primer tratado del magnetismo.

Al colocar una aguja imantada, en distintas posiciones alrededor de un imán esférico (**esfera de Peregrinus**) que él mismo talló, observa que se orientan a lo largo de líneas cerradas que acaban en puntos diametrales: **polos del imán**.

Polos iguales se repelen - Polos distintos se atraen.

# WILLIAM GILBERT (1544-1603)

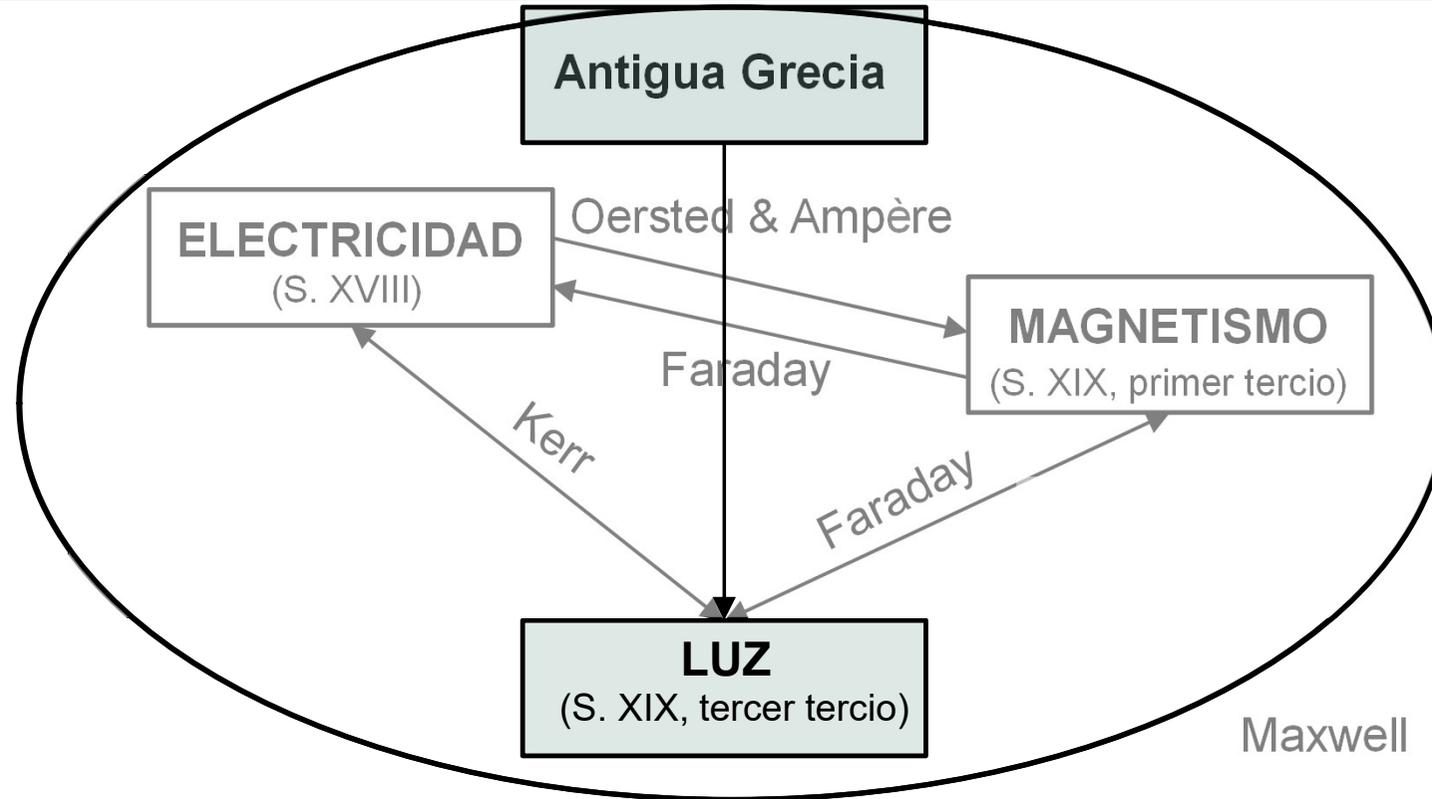


*De Magnete* (en 1600) primer tratado científico exhaustivo del magnetismo.

*La Tierra se comporta como un gran esfera de Peregrinus.* Habla de polo **norte** y polo **sur**.

Estudió, por orden de la Reina Isabel I, los imanes para mejorar la exactitud de las brújulas de navegación. Acuña el término de **electricidad**.

# LUZ



El auge de la teoría electromagnética de la luz comienza el 13 de septiembre de 1845, cuando Faraday demuestra que la terna LUZ-MAGNETISMO-ELECTRICIDAD es indivisible.

# ANTIGUA GRECIA

- Escuela Pitagórica
- Escuela (atomista) de Demócrito
- Escuela Platónica: Empédocles
- Aristóteles
- Euclides:

- El concepto de rayo.
- Rayo de luz emitido por el ojo.
- Propagación rectilínea.

## Bases de la Óptica Geométrica



Ojos de Fresnel



R. Caballero-Flores Univ. Oviedo

Física General

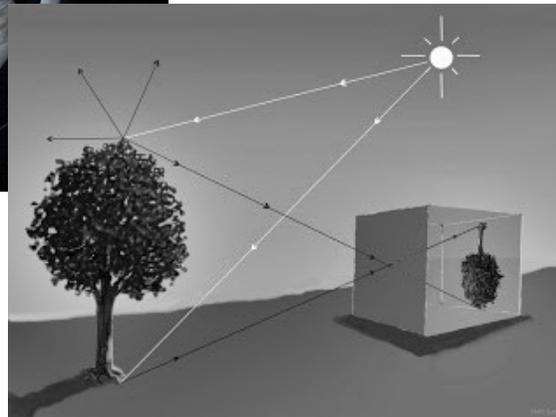
Portada del Libro de Óptica de Alhazen, que muestra cómo Arquímedes prendió fuego a las naves romanas que atacaban Siracusa en Sicilia, usando los rayos del Sol y espejos parabólicos

# EDAD MEDIA

Cámara oscura de la Torre Tavira, Cádiz

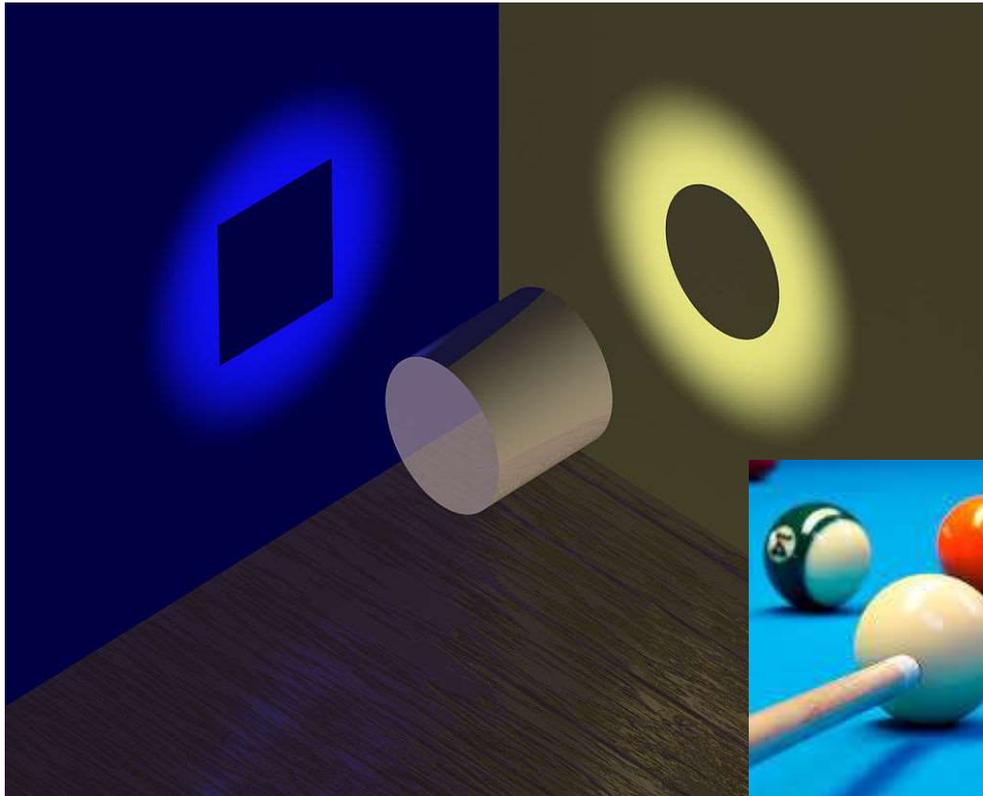


**Alhazen** (965-1040) Se le considera el padre de la Óptica y creador del método científico.



**Inventó la cámara oscura**

# NATURALEZA DE LA LUZ

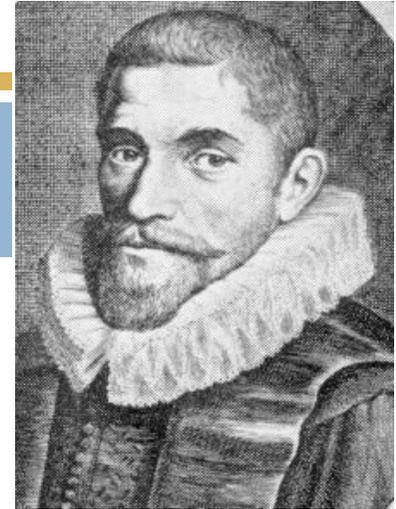


**Proyección del cilindro:  
¿Es un rectángulo o es un círculo?**

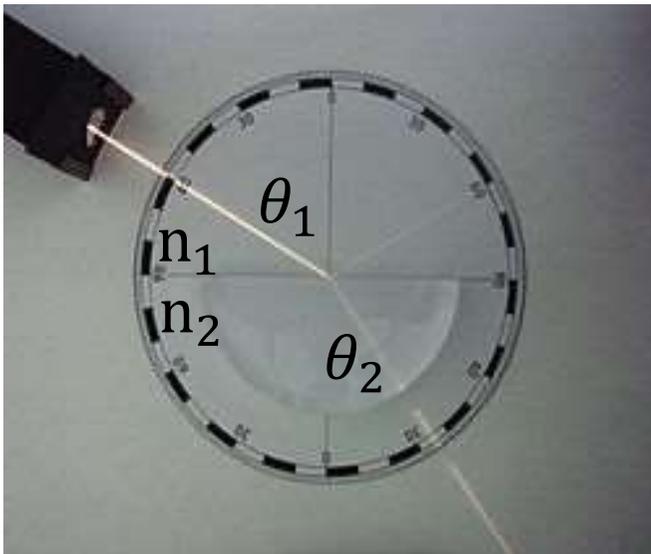
**Manifestación de la luz:  
¿Es una partícula o es una onda?**



# WILLEBRORD SNELL VAN ROYEN (1580-1626)



## Ley de Snell



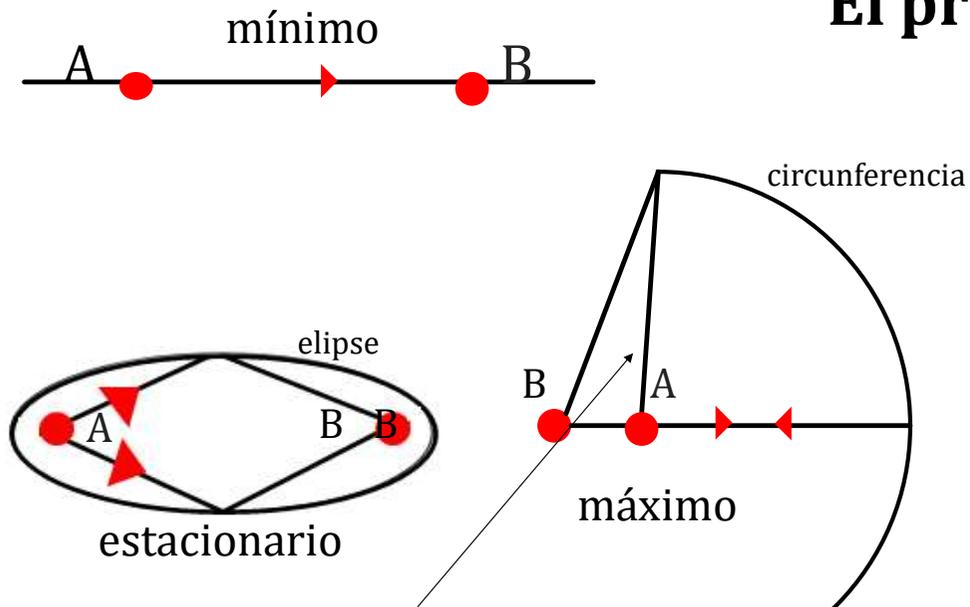
En 1621 descubre la ley de la refracción que lleva su nombre, publicada por Descartes (1596-1650) en 1637.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

# PIERRE DE FERMAT (1601-1665)



## El principio de Fermat



La trayectoria no marcada no cumple la ley de la reflexión

En 1662 Fermat establece que la trayectoria seguida por la luz para ir de un punto A a otro B (separados una distancia  $l$  en un medio de índice de refracción  $n$ ), es aquella que hace extremal el camino óptico  $L = nl$  (mínimo, estacionario o máximo)

# PIERRE DE FERMAT: Más conocido por...

## Teorema de Fermat

Si  $n$  es un número entero mayor o igual que 3, entonces no existen números enteros positivos  $x$ ,  $y$  y  $z$ , tales que se cumpla la igualdad:

$$x^n + y^n = z^n$$

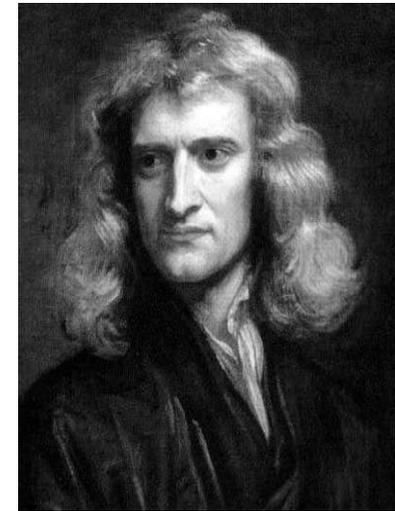
$$n = 1 \rightarrow 1^1 + 2^1 = 3^1$$

$$n = 2 \rightarrow 3^2 + 4^2 = 5^2$$

Pierre de Fermat

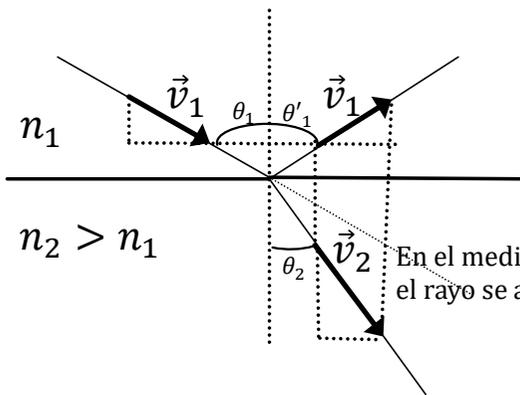
Fermat lo demostró en 1637 pero se quedó sin papel y no pudo publicarlo. 358 años después, lo demostró Andrew John Wiles y recibió el Premio Fermat en 1995, y el Premio Abel en 2016 (Nobel de las Matemáticas).

# ISAAC NEWTON: Teoría corpuscular



**Reflexión:** choques elásticos  $\rightarrow \theta_1 = \theta'_1$

**Refracción:** Por razonamientos de simetría



En el medio más denso,  
el rayo se acerca a la normal

$$\left. \begin{aligned} \text{sen}\theta_1 &= \frac{v_{1t}}{v_1} \\ \text{sen}\theta_2 &= \frac{v_{2t}}{v_2} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} \stackrel{v_{1t}=v_{2t}}{=} \frac{v_2}{v_1} \stackrel{\theta_1 > \theta_2}{\rightarrow} \boxed{v_2 > v_1}$$

Al pasar la luz de un medio a otro, su velocidad es mayor en el medio con mayor índice de refracción.



**Partícula**

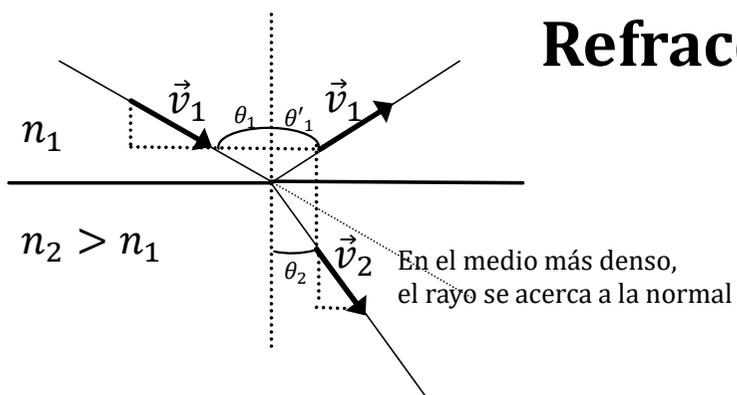
# CHRISTIAN HUYGENS (1629-1695), ROBERT HOOKE (1635-1703): Teoría ondulatoria



Huygens

**Reflexión:**  $n_1 = n_2 \rightarrow \theta_1 = \theta'_1$

**Refracción:**  $n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$



$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \stackrel{\theta_1 > \theta_2}{=} \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \boxed{v_2 < v_1}$$

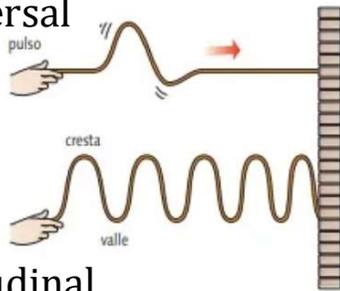


Al pasar la luz de un medio a otro, su velocidad es mayor en el medio con ~~mayor~~ menor índice de refracción.

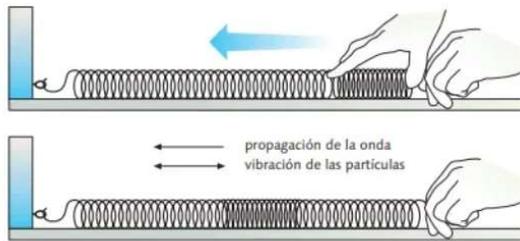
No se pudo medir la velocidad de la luz en distintos medios, lo que hubiera resuelto el problema, hasta 1862 por Jean Bernard Foucault (1819-1868),

# ONDAS MECÁNICAS: ÉTER

Transversal



Longitudinal



Sol

Tiempo del recorrido de la luz entre el Sol y la Tierra:

$$t = 150\,000\,000 \text{ km} / 300\,000 \text{ km/s} = 500 \text{ s} = 8 \text{ min } 20 \text{ s}$$

150 000 000 km

Tierra

La luz se transmite a través de un fluido perfectamente elástico: ÉTER



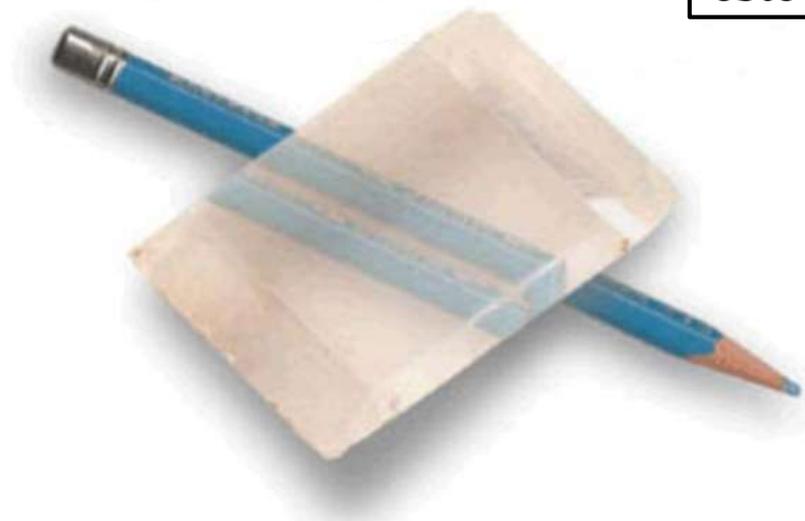
Hooke

La luz es una onda mecánica longitudinal

## ERASMUS BARTHOLIN (1625-1698)

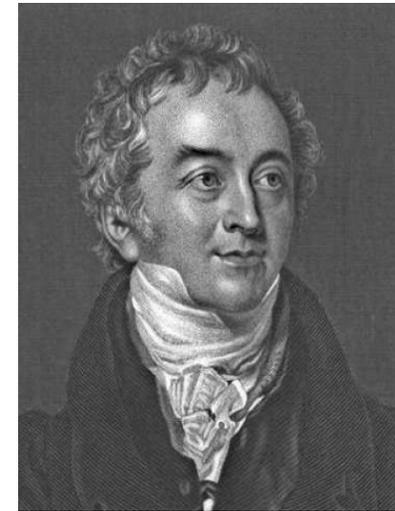


La teoría corpuscular no podía explicar este fenómeno

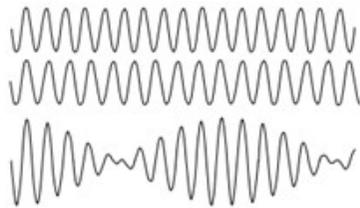


En 1669 descubre la **birrefringencia (doble refracción)** es una propiedad óptica que consiste en desdoblar un rayo de luz incidente en dos refractados. Es como si el material, por ejemplo la calcita o espato de Islandia, tuviera dos índices de refracción  $n$  distintos.

# THOMAS YOUNG (1773-1829)

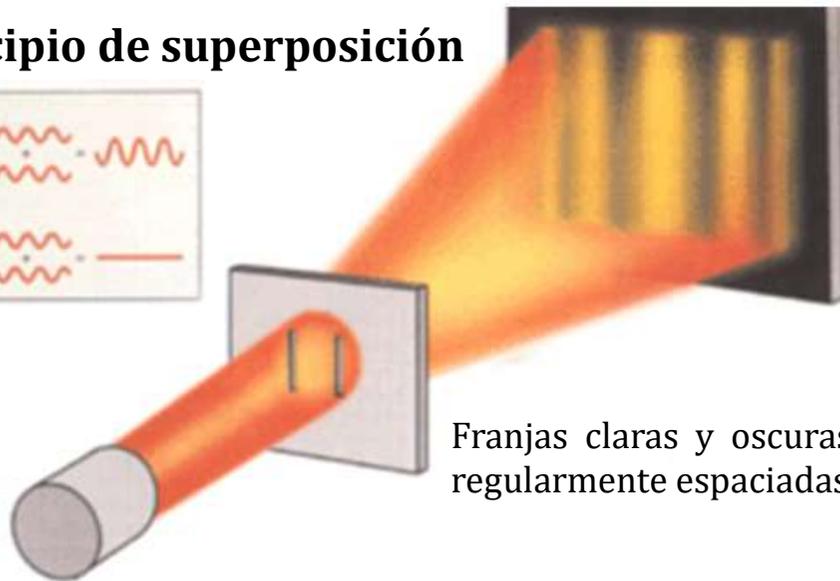
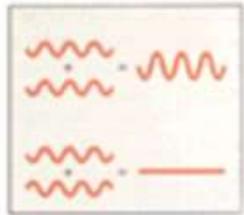


El sonido “se suma” y “se resta”



Variación periódica de intensidad sonora

Principio de superposición

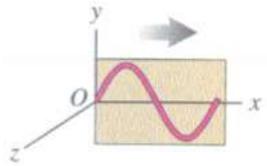


Franjas claras y oscuras regularmente espaciadas

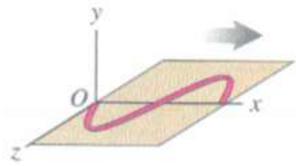
**El experimento de la doble rendija** (1800\*), uno de los experimentos más bellos de la Física

**Fenómeno de interferencia**

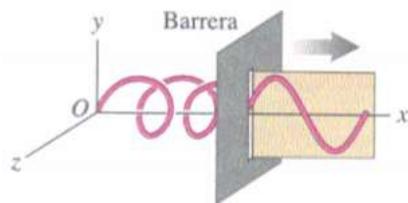
# ÉTIENNE LOUIS MALUS (1775-1812)



En 1808 descubre la **polarización en la luz**.



Observó que la luz procedente de la reflexión en una ventana del palacio de Luxemburgo no producía birrefringencia en la calcita, y que al girar el cristal, la intensidad de la luz disminuía.



Polarización en una cuerda

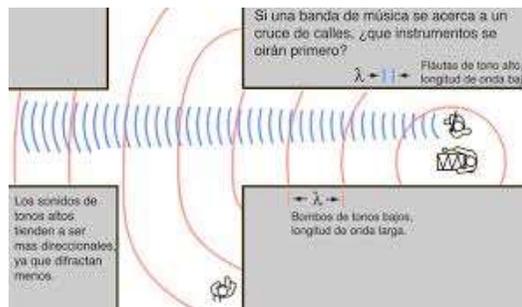
**El sonido NO  
es una onda  
polarizada**

## Fenómeno de polarización

# AUGUSTIN JEAN FRESNEL (1778-1827)



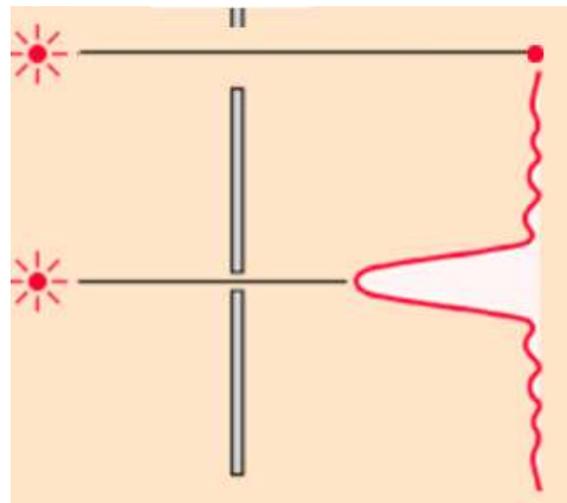
El sonido dobla la esquina



La luz también dobla la esquina

La **difracción**, descubierta por **Francesco Maria Grimaldi** (1618-1663), es un fenómeno por el que todas las ondas modifican su trayectoria al incidir sobre un obstáculo de dimensiones parecidas a su longitud de onda.

**Fenómeno de difracción**



# AUGUSTIN JEAN FRESNEL: Teoría ondulatoria de la luz

Newton

La luz está formada por partículas

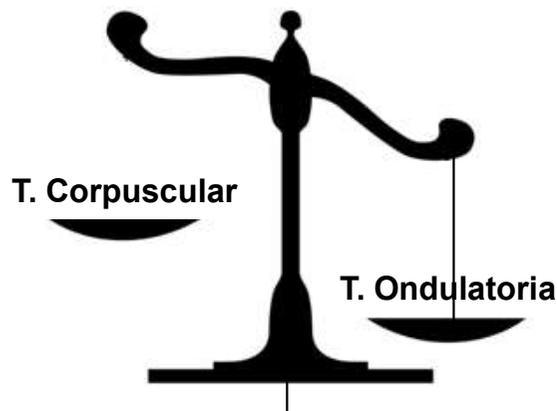
Huygens y Hooke

La luz es una onda mecánica longitudinal  
El éter es un fluido perfectamente elástico

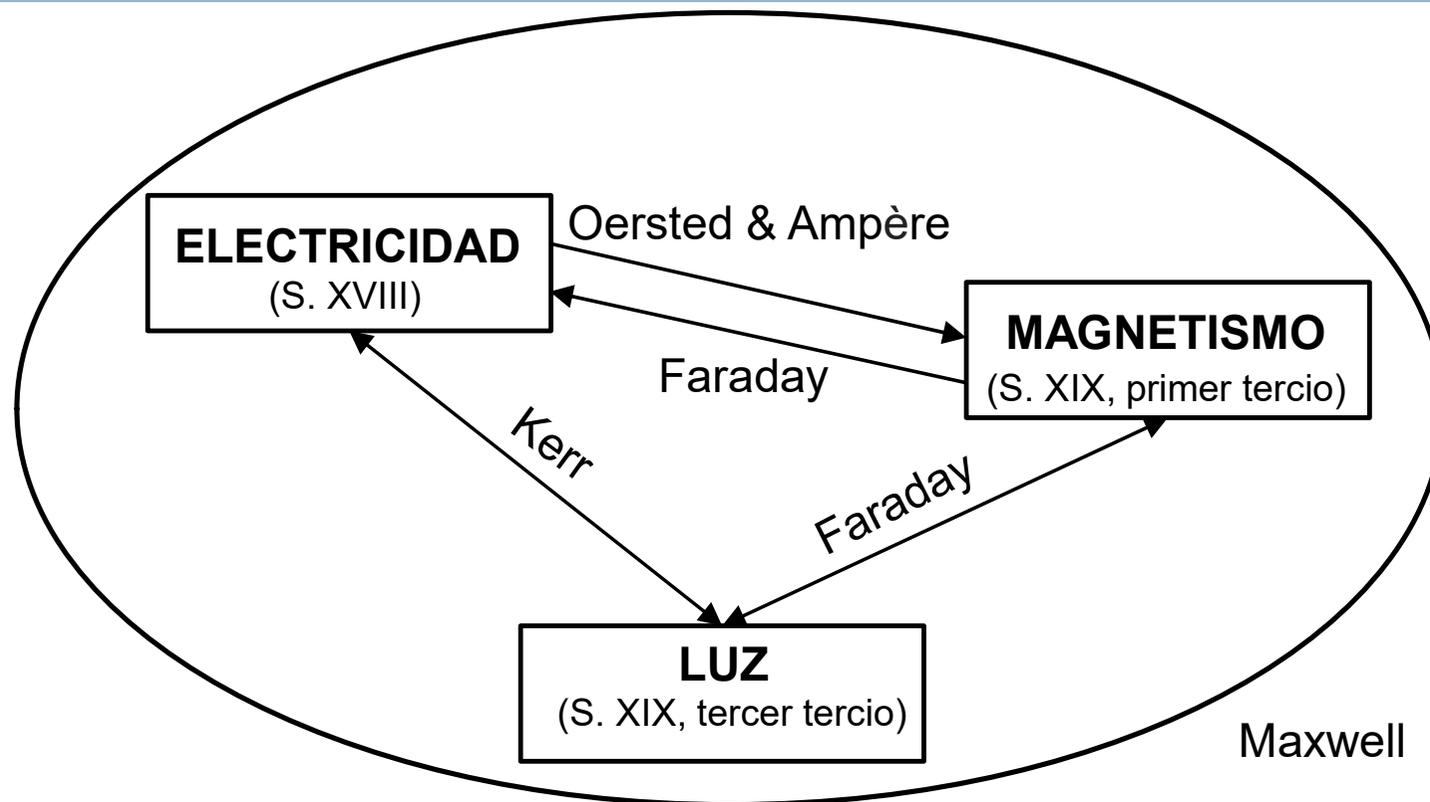


Fresnel

La luz es una onda mecánica transversal  
El éter es un sólido incompresible



# ELECTROMAGNETISMO

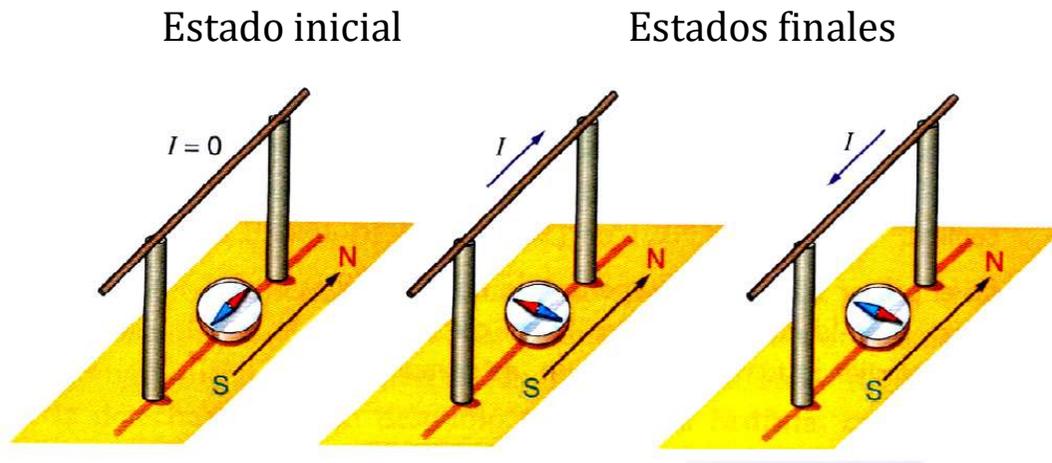


Con la pila de Volta en 1800, comienza el desarrollo del electromagnetismo.

# HANS CHRISTIAN OERSTED (1777-1851)



## La electricidad produce magnetismo



Estaba convencido de la unidad de todas las fuerzas.

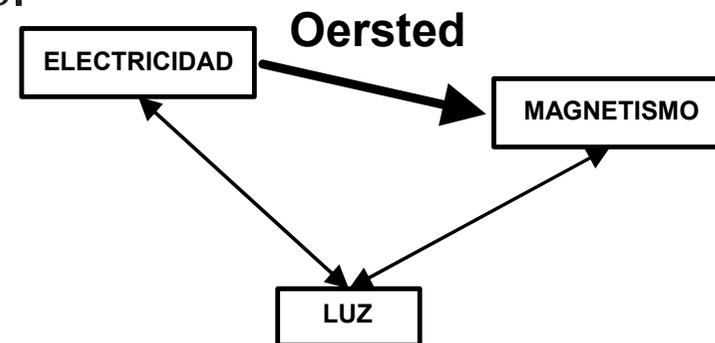
En 1820 descubre que el paso de una corriente eléctrica desviaba una aguja imantada (brújula).

# HANS CHRISTIAN OERSTED: Un gran profesor



Acuñó el termino de **electromagnetismo**.

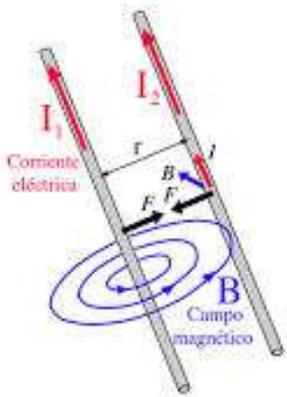
Desde 1936 la Asociación Americana de Profesores de Física otorga la **Medalla Oersted** al mejor profesor Física en EE.UU.



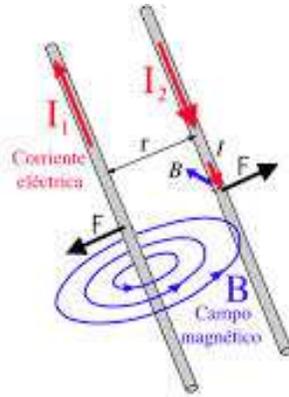
# ANDRÉ-MARIE AMPÈRE (1775-1836)



Una corriente eléctrica produce efectos magnético sobre otra corriente



Atractiva



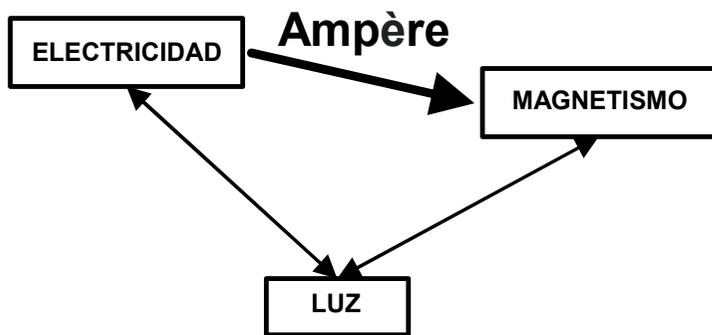
Repulsiva

Afirmó que el magnetismo es una manifestación del movimiento de las cargas eléctricas.

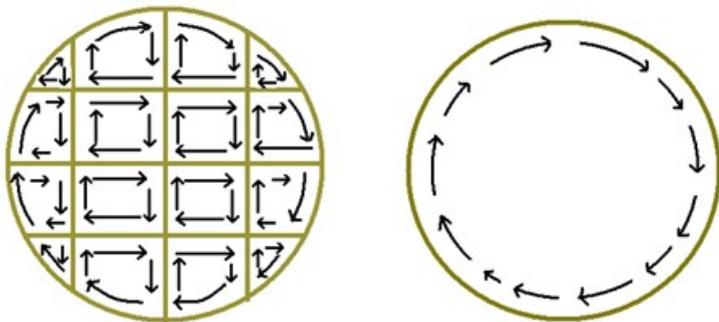
No existen cargas magnéticas aisladas.

Acuñó el término de **electrodinámica**.

# ANDRÉ-MARIE AMPÈRE: Corrientes amperianas

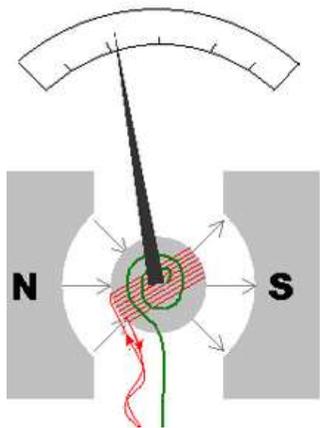
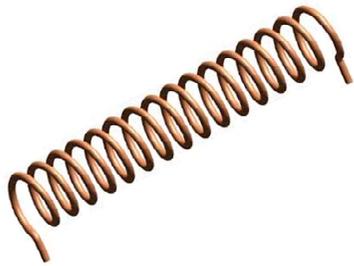


“Fue un gran físico, y casi un gran químico: casi descubre el cloro, casi descubre el yodo y casi descubre la ley de Avogadro, que él mismo enunció tres años después sin conocerla”.



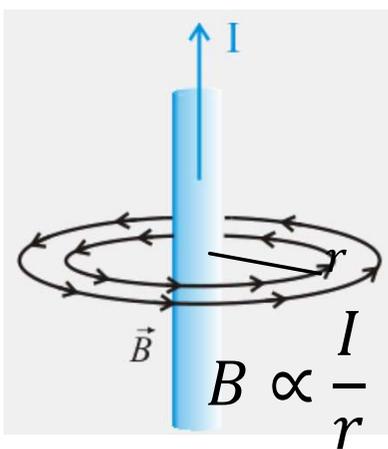
Ideó el concepto de “**corrientes amperianas**” para explicar el magnetismo natural.

# ANDRÉ-MARIE AMPÈRE: El Newton de la electricidad



- En 1822 inventa el solenoide y estudia la interacción mutua entre parejas de solenoides. Inventó también el galvanómetro usados en los multímetros, llamado así en honor a Galvani,
- Llega a la conclusión de que el comportamiento de un solenoide es análogo al de un imán recto.
- En 1822 casi descubre la inducción electromagnética. En 1831 le escribe una carta a Faraday para felicitarle por su hallazgo. Maxwell dijo de él que era “el Newton de la electricidad”.

# JEAN-BAPTISTE BIOT (1774-1862) FELIX SAVART (1791-1841)



Un conductor rectilíneo por el que circula una intensidad  $I$ , crea un campo magnético  $\mathbf{B}$  a su alrededor directamente proporcional a la intensidad, e inversamente proporcional a la distancia al hilo,  $r$ .

Esta ley está implícita en la ley de Ampère.

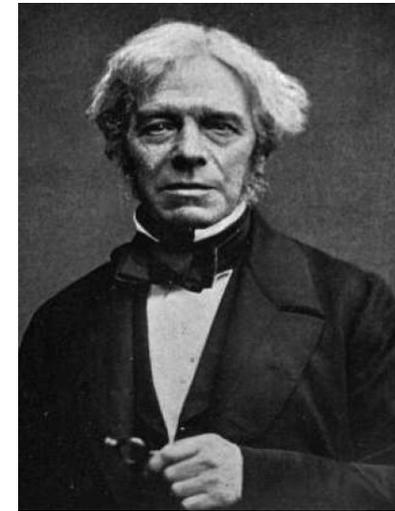


Biot

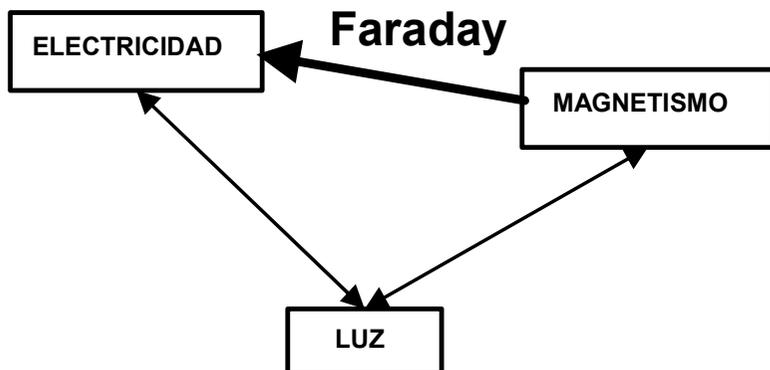
Savart



# MICHAEL FARADAY (1791-1867)



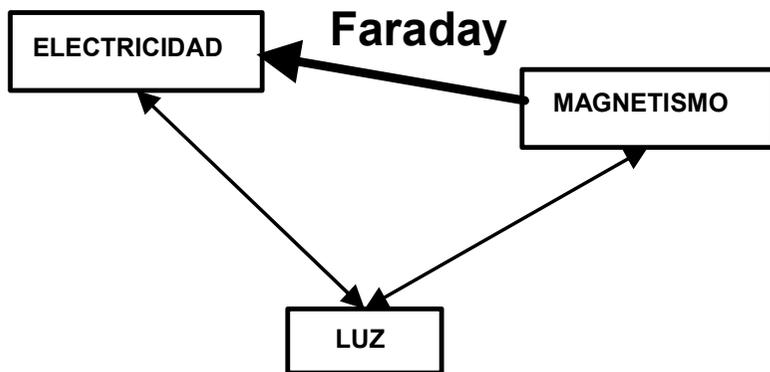
## El magnetismo produce electricidad



El descubrimiento de la **inducción electromagnética** en 1831 marcó un hito decisivo en el progreso, no sólo de la ciencia, sino de la sociedad.

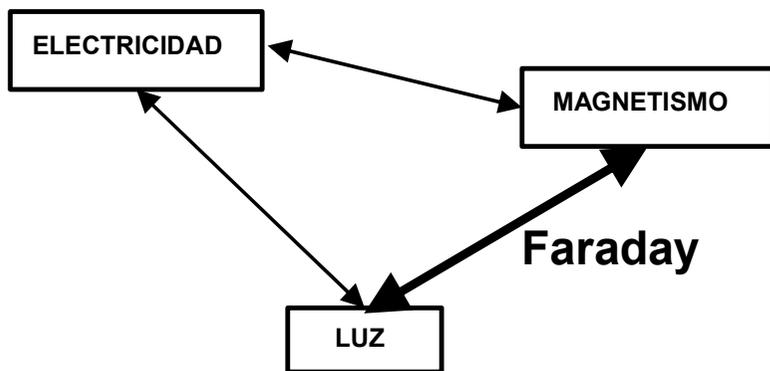
# MICHAEL FARADAY: La inducción electromagnética

La corriente eléctrica aparece en la bobina cuando ésta se desplaza a lo largo del imán (izquierda). La corriente también aparece cuando el imán se introduce en la bobina y se desplaza por ésta (derecha).



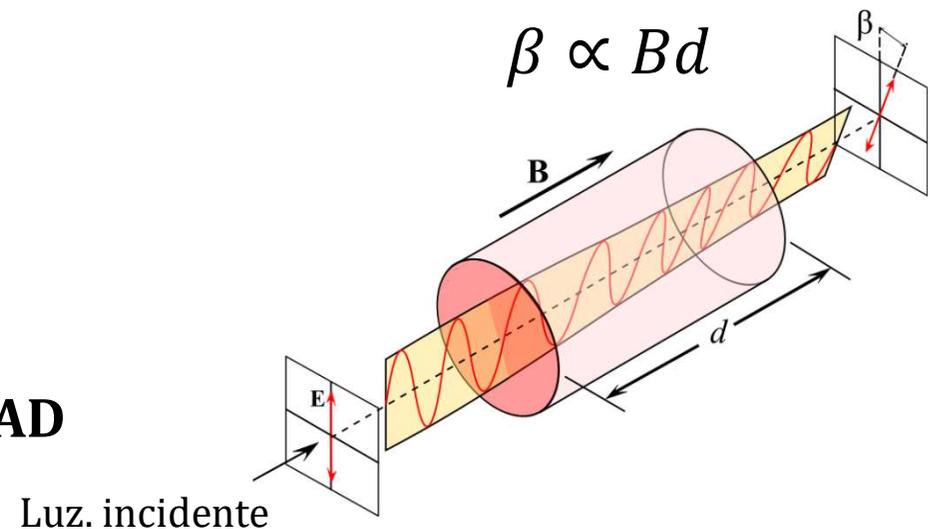
# MICHAEL FARADAY: Efecto Faraday

Efecto Faraday o efecto magneto-óptico (1845): si un haz de luz polarizado linealmente atraviesa un material en el seno de un campo magnético  $\mathbf{B}$  en la dirección de propagación de la luz, se observa un giro de ángulo  $\beta$  en el plano de polarización de la luz.



**La terna LUZ-MAGNETISMO-ELECTRICIDAD es indivisible**

R. Caballero-Flores. Universidad de Oviedo



Luz. incidente

Física General II. Grado en Química

# MICHAEL FARADAY: Un gran inventor



Faraday (derecha) en su laboratorio con Davy

Explicó la electrolisis en términos de fuerzas eléctricas. Inventó la dinamo, el generador eléctrico y el transformador.

Su formación matemática era muy elemental.

Introdujo los conceptos de líneas de campo, líneas de fuerza y campo magnético. Con él se abandona la teoría de los fluidos.

Acuñó los términos de ánodo, cátodo, anión y catión.

Las leyes de la electricidad y el magnetismo le deben a Faraday más que a nadie.

# MICHAEL FARADAY: Un gran divulgador

Fue un gran divulgador de la ciencia: desde 1825 “Charlas vespertinas de los viernes” y las *Christmas lectures* de la *Royal Institution*.



Bang on! The surprising real science of fireworks (m

[More information](#)

Join professional pyrotechnician Matthew Tosh as he lifts the lid on the serious science behind the effects that wow audiences all over the world.

Sunday 13 September

Friday Evening Discourses 2020



The science of beer

Friday 02 October

[More information](#)

Join Natalya Watson for a talk and guided tasting through the science of beer. Beer samples will be provided during the evening.

Mathematician Dr Hannah Fry presents the 2019 CHRISTMAS LECTURES – Secrets and lies: The hidden power of maths. Broadcast on BBC 4 at 8pm on 26, 27 and 28 December.



*Christmas lectures 2019*

## JOSEPH HENRY (1797-1878)



- Se le considera co-descubridor independiente de la inducción electromagnética. Faraday presentó su trabajo en noviembre de 1831, y Henry poco después, en julio de 1832.

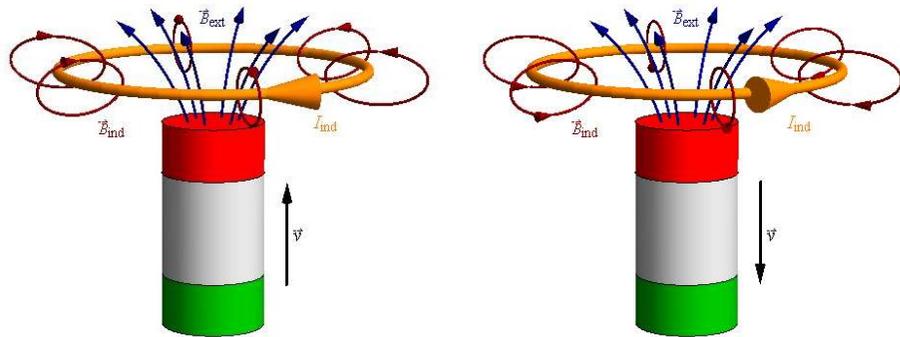
**La ley de Faraday también se conoce como ley de Faraday-Henry**

Descubrió el fenómeno de la **autoinducción**, y en su honor se denominó Henrio (símbolo H) a la unidad de inductancia

# HEINRICH LENZ (1804-1865)



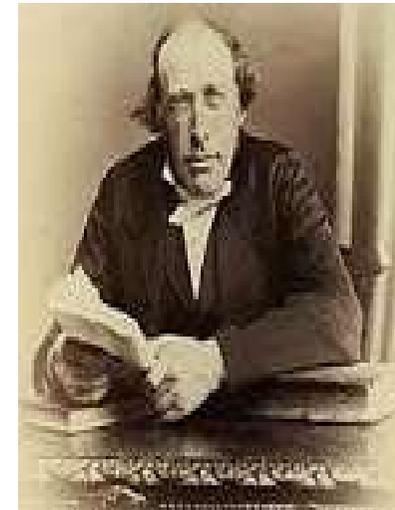
## Ley de Lenz



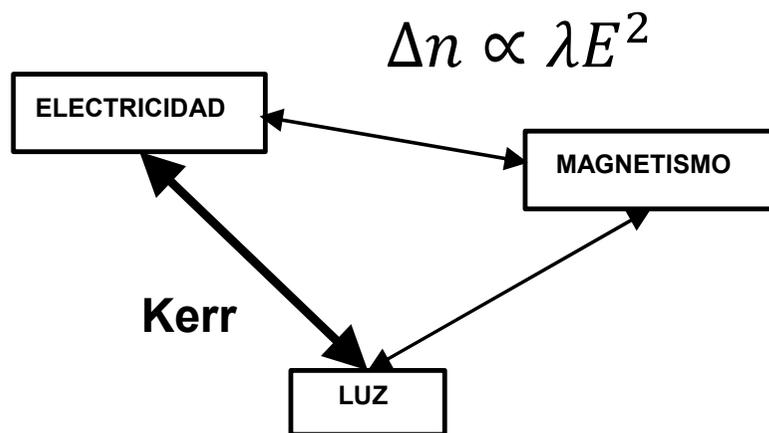
*El sentido de la corriente inducida es tal que el campo que produce se opone a la variación del flujo del campo aplicado*

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

# JOHN KERR (1824-1907)



## Efecto Kerr

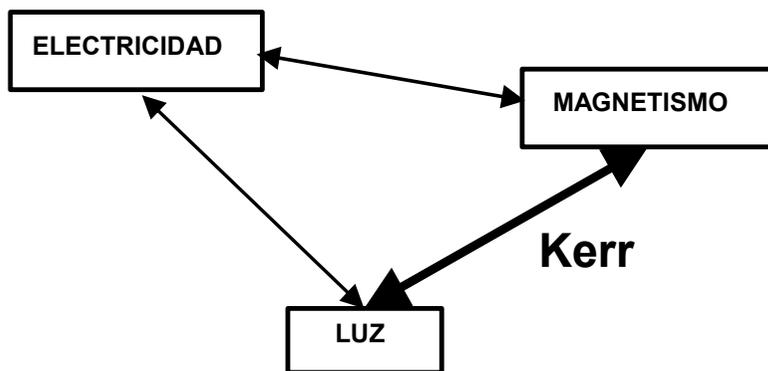


Efecto Kerr electro-óptico (1875): Un material isótropo se vuelve birrefringente cuando se le aplica un campo eléctrico **E** normal a la dirección de la luz.

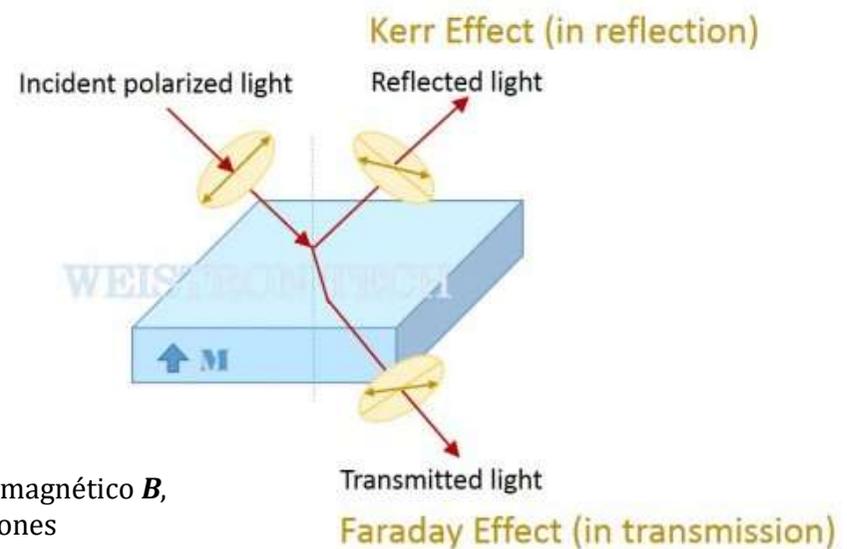
$\lambda$  es la longitud de onda de la onda incidente

# JOHN KERR: Efecto Kerr magneto-óptico (MOKE)

Efecto Kerr magneto-óptico: si un haz de luz polarizado linealmente se refleja en un material en el seno de un campo magnético  $\mathbf{B}$ , se observa un giro de ángulo en el plano de polarización de la luz.



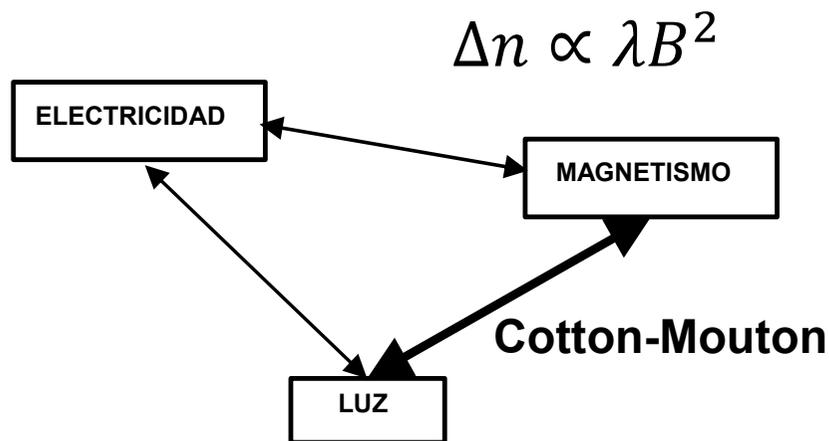
$M$  es la imanación del material en el seno del campo magnético  $B$ , que puede aplicarse en cualquiera de las tres direcciones



# EFEECTO COTTON-MOUTON



Cotton

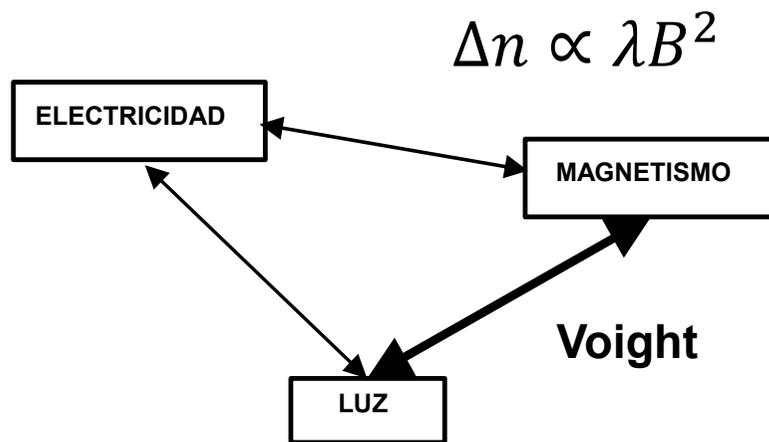


Efecto Cotton-Mouton (1907): Un líquido se vuelve birrefringente cuando se le aplica un campo magnético  $\mathbf{B}$  normal a la dirección de la luz.. Es el análogo magnético del efecto Kerr electro-óptico.

**Aimé Auguste Cotton** (1869-1951)

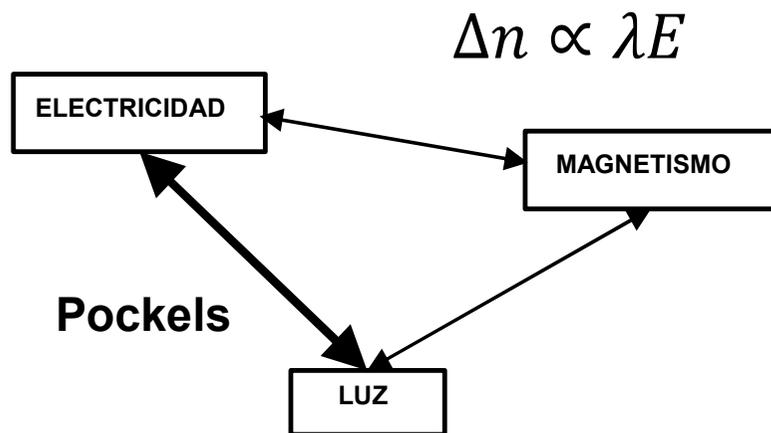
**Henri Mouton** (1869-1935).

# EFEECTO VOIGHT



Efecto Voight: Es análogo al efecto Cotton-Mouton, pero en vez de tratarse de un líquido, se trata de un vapor y, por tanto, es más débil. **Woldemar Voight** (1880-1919).

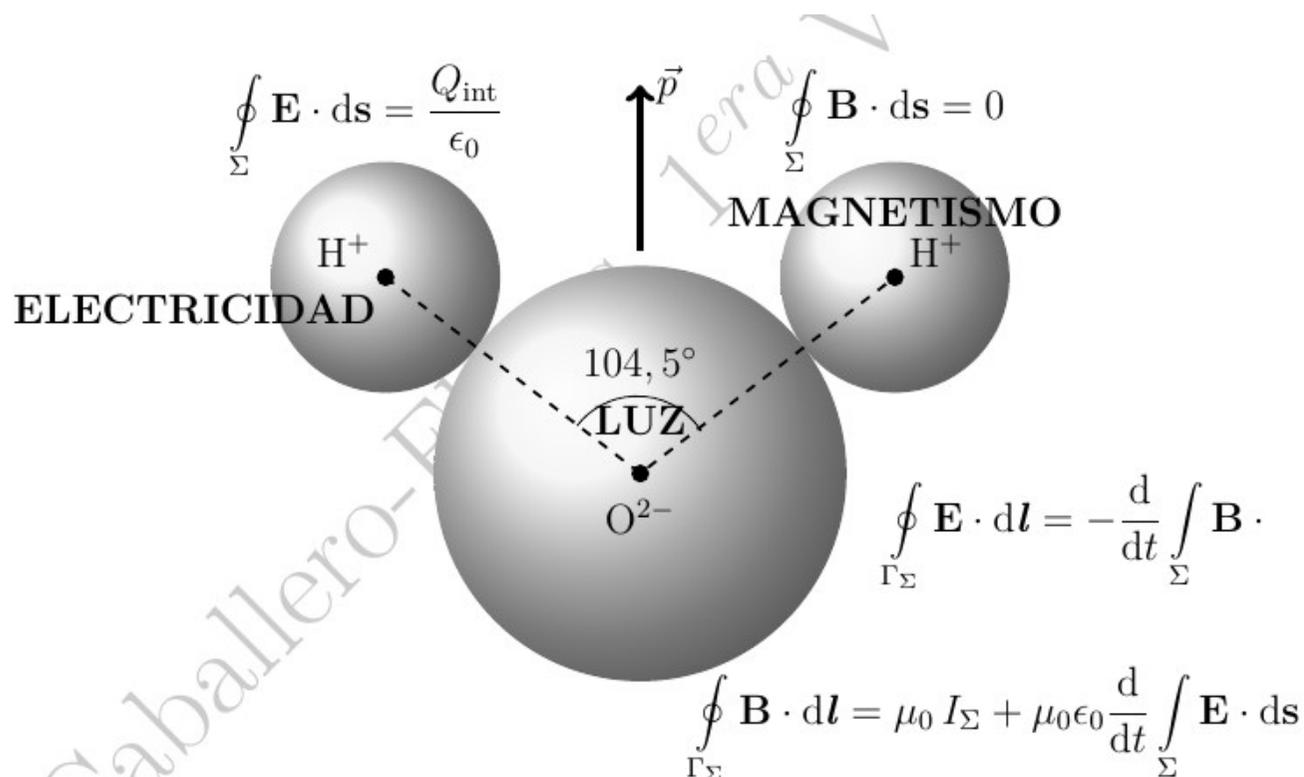
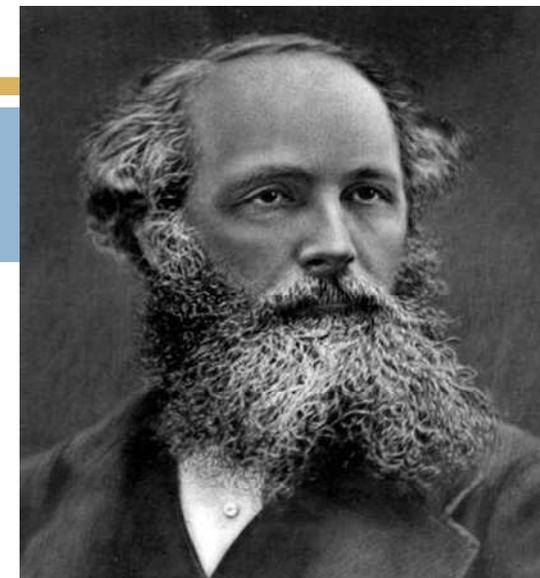
# EFEECTO POCKELS



Efecto Pockels (1893): Es un efecto electróptico en el que la birrefringencia es proporcional a  $\mathbf{E}$ . Se da en cristales desprovistos de centro de simetría.

**Friedrich Carl Alwin Pockels (1865–1913).**

# JAMES CLERK MAXWELL (1831-1879)

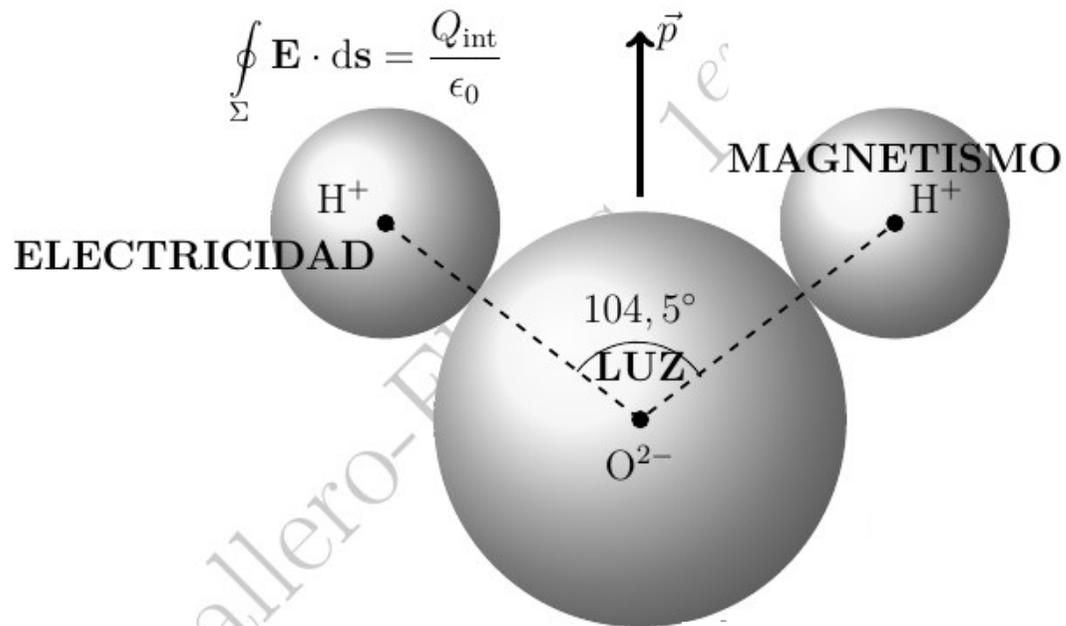


## Física General II

Curso: 2020-21

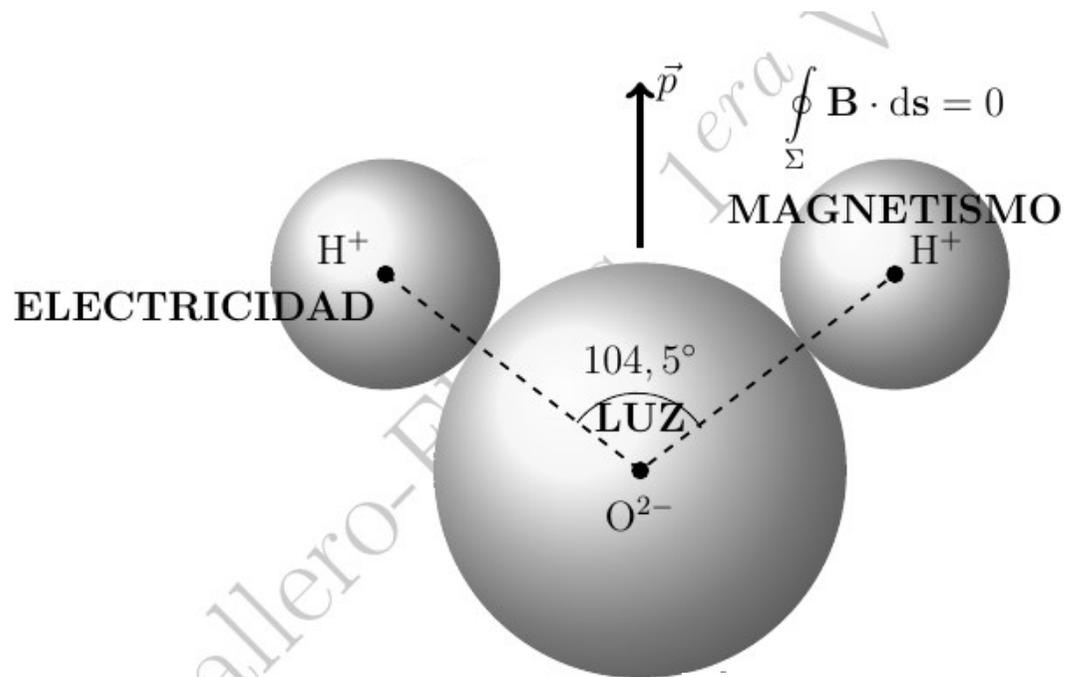
Portada de las notas de clase de FG II en el Grado en Química de la Univ. de Oviedo

# JAMES CLERK MAXWELL: Leyes de Maxwell



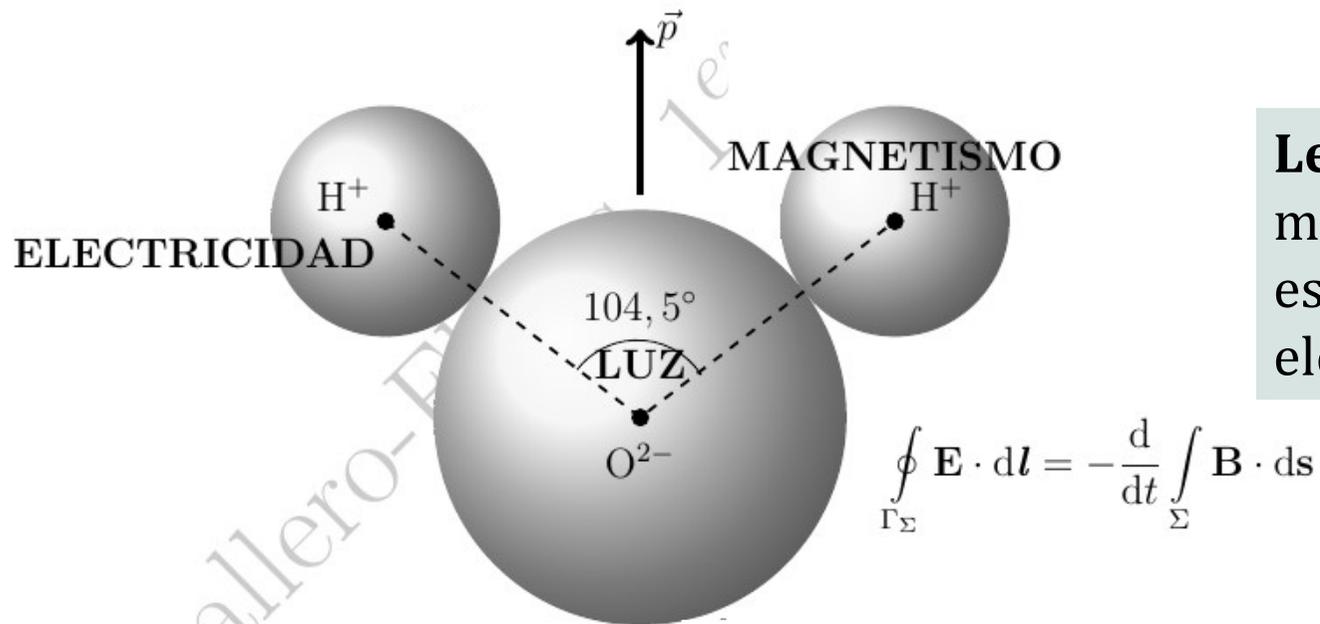
**Ley de Gauss:** Las cargas eléctricas crean campos eléctricos

# JAMES CLERK MAXWELL: Leyes de Maxwell



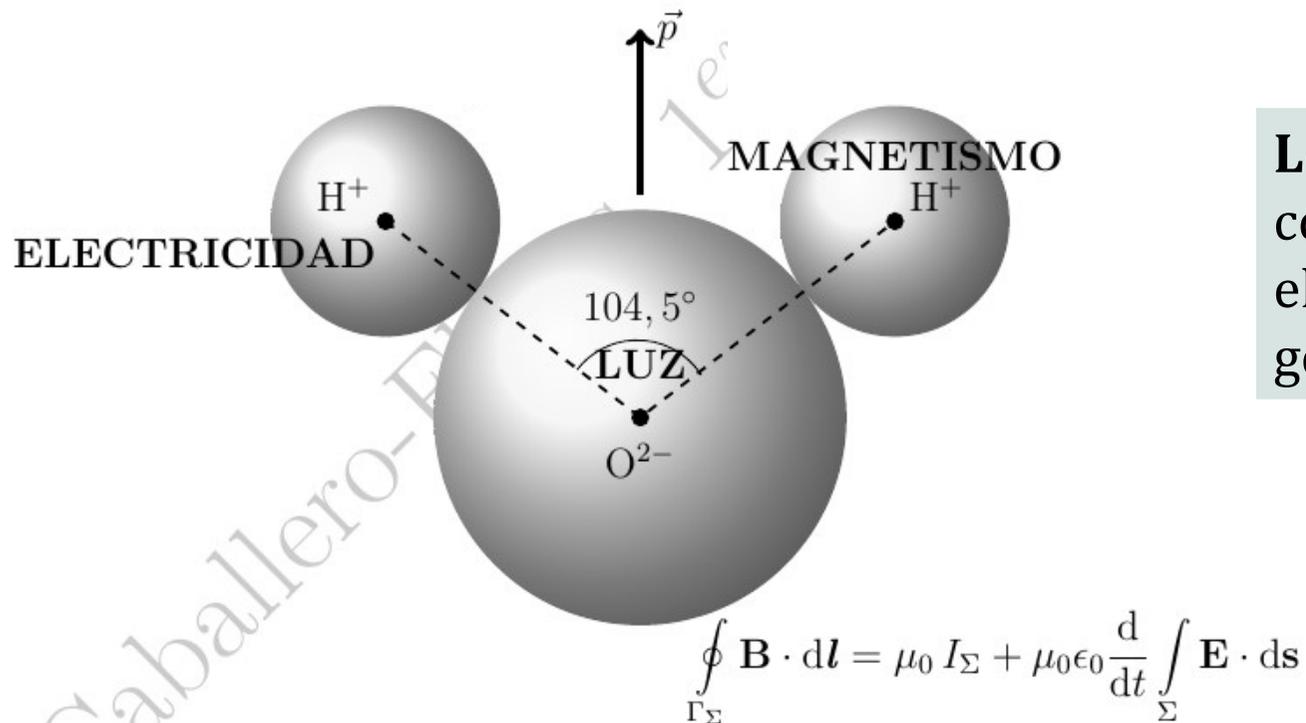
**Ley de Gauss magnética:** No existen cargas magnéticas

# JAMES CLERK MAXWELL: Leyes de Maxwell



**Ley de Faraday:** Un campo magnético variable en el tiempo es capaz de producir un campo eléctrico

# JAMES CLERK MAXWELL: Leyes de Maxwell



**Ley de Ampère-Maxwell:** Una corriente eléctrica o un campo eléctrico variable en el tiempo generan campos magnéticos

# JAMES CLERK MAXWELL: Su obra

Casa de Maxwell



En 1873 publica su gran obra, *Tratado de Electricidad y Magnetismo*, texto cumbre de la Física comparable al libro de Newton de 1687, *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*.

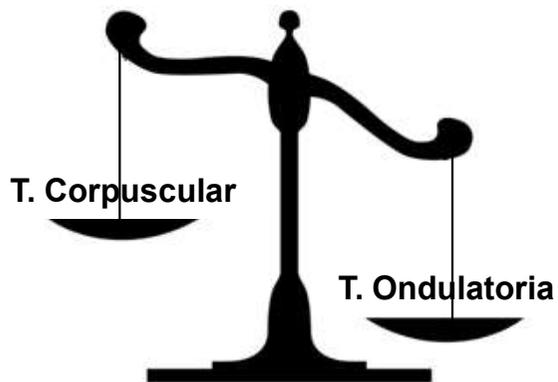
Predijo la existencia de las **ondas electromagnéticas**, y que la luz es un tipo de estas ondas.

*Maxwell escribió su libro en finca de Glenlair porque decía que en el trabajo tenía “muchos papeleos”, y Newton en la suya de Woolsthorpe -con 22 años, recién graduado- porque en Inglaterra se ordenó el confinamiento durante la gran peste de Londres (1665-66).*

# JAMES CLERK MAXWELL: Teoría ondulatoria de la luz

Newton

La luz está formada por partículas



La luz es una onda mecánica longitudinal  
El éter es un fluido perfectamente elástico

Huygens y Hooke

Fresnel

La luz es una onda mecánica transversal  
El éter es un sólido incompresible

Maxwell

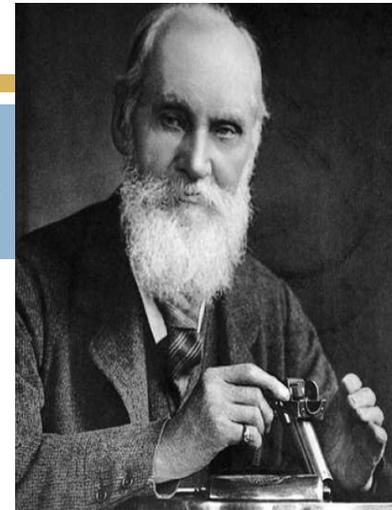
La luz es una onda electromagnética. No es necesario la existencia del éter. La luz se propaga en el vacío a la velocidad  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ , igual que la medida experimentalmente por Foucault.

$\epsilon_0$  constante dieléctrica, y  $\mu_0$  permeabilidad magnética del vacío

## JAMES CLERK MAXWELL: Su vida

- Publica su primer artículo a los 15 años sobre la geometría de curvas cónicas.
- Fue *Second Wrangler* en el *Mathematical Tripos* de 1854 (*Senior Wrangler*: Edward Routh), seguramente por enfermar en 1853 debido a la exigencia del *Tripos* y a la feroz competición académica.
- En 1854 se presenta al premio Smith y consigue el primer premio compartido con Routh.
- En 1856-57 se presenta al premio Adams y lo consigue por delante de Routh, quien lo consiguió en 1877.
- En 1879 publica los veinte paquetes sobre electricidad de Henry Cavendish.
- Le encantaba contar chistes.

# WILLIAM THOMSON, LORD KELVIN (1824-1907)



RSEF 39,3 (20115)

Gran amigo de Maxwell

No. 1546 Fee, £1 1s.  
University of Glasgow.—MATRICULATION ALBUM.  
NATIO LOUDONIANA. Session 1899-1900.  
This Schedule to be filled up by Students born within any of the Scottish Counties of Linlithgow, Midlothian, Haddington, Dumfriesshire, Peebles, Selkirk, Roxburgh, Wigtown, Kirkcubright, Berwick; or in England, Ireland, or Foreign Countries.

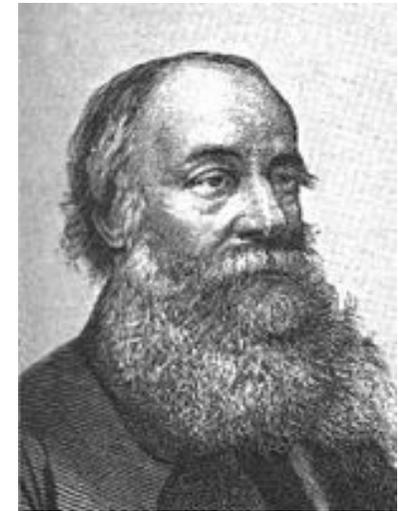
Name in Full, *Kelvin*  
Age at last Birthday, *75*  
Birthplace—(Town or Parish, and County; if not in Scotland, write the Country also), *Belfast Co. Antrim*  
Father's Christian Name, *James*  
Father's Occupation, *Professor of Mathematics in Belfast & Glasgow*  
Is Father Alive? *No*  
Branch of Study (L., Arts, Science, Medicine, Law, or Theology), *Physics & Mathematics*  
Classes for this Session, viz., *Not yet determined*  
Number of Sessions previously attended at this University, *5 or 6 or 7 as Student* viz., as Classes in the Faculty of *Arts*  
Present Address, *Netherhall Largo Ayrshire*  
Home Address, \_\_\_\_\_

DECLARATION to be signed by the Student before entering his Name in the Album.  
I hereby declare that I will faithfully attend the Class or Classes in which I shall register during the present session.  
Signature, *Kelvin*

Fue el primero en utilizar el término “energía”. Pensaba que la energía era el nexo de toda la Física y, en particular, que la electricidad, la luz y el magnetismo eran energía.

La energía electromagnética y el éter eran tan reales como la vida misma. Desarrolló la escala de temperatura Kelvin.

# JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889)



**Herederero de una próspera cerveceria en Manchester, prefirió la ciencia a los negocios.**

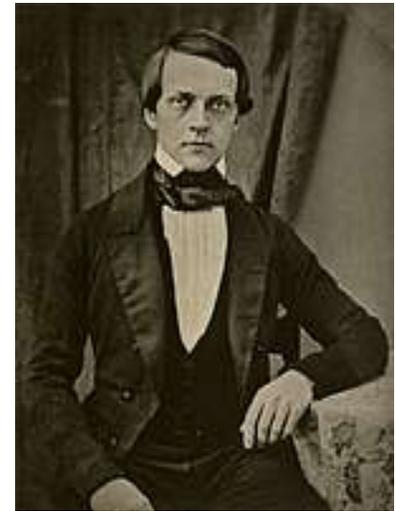
Demuestra que los circuitos eléctricos cumplen la ley de conservación de la energía, y que la electricidad es una forma de energía.

**Efecto Joule:** si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando así la temperatura del mismo.



<http://www.centennialbulb.org/photos.htm>

# HERMANN VON HELMHOLTZ (1821-1894)



**Teorema de Helmholtz**, si conocemos cómo varía un campo vectorial (cómo varían sus líneas de campo), podemos determinar éste.



**Bobinas de Helmholtz**

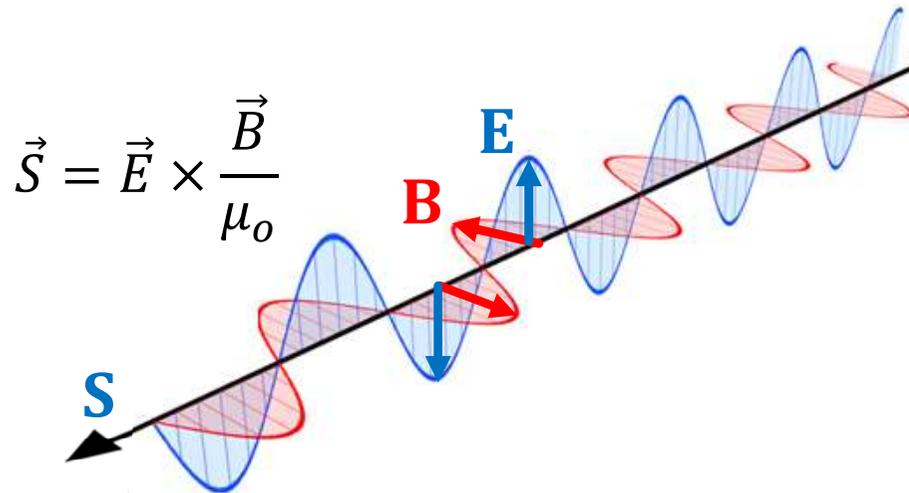
- Al igual que Thomson y Juole, estudió los aspectos energéticos de los campos electromagnéticos. Definió la energía electrostática y acuñó el término de **energía libre** (hoy función de Helmholtz).

Tuvo dos discípulos brillantes: Hertz y Planck.

# HEINRICH HERTZ (1857-1894)



$\vec{S}$  es el vector de Poynting definido por **John Henry Poynting** (1852-1914).

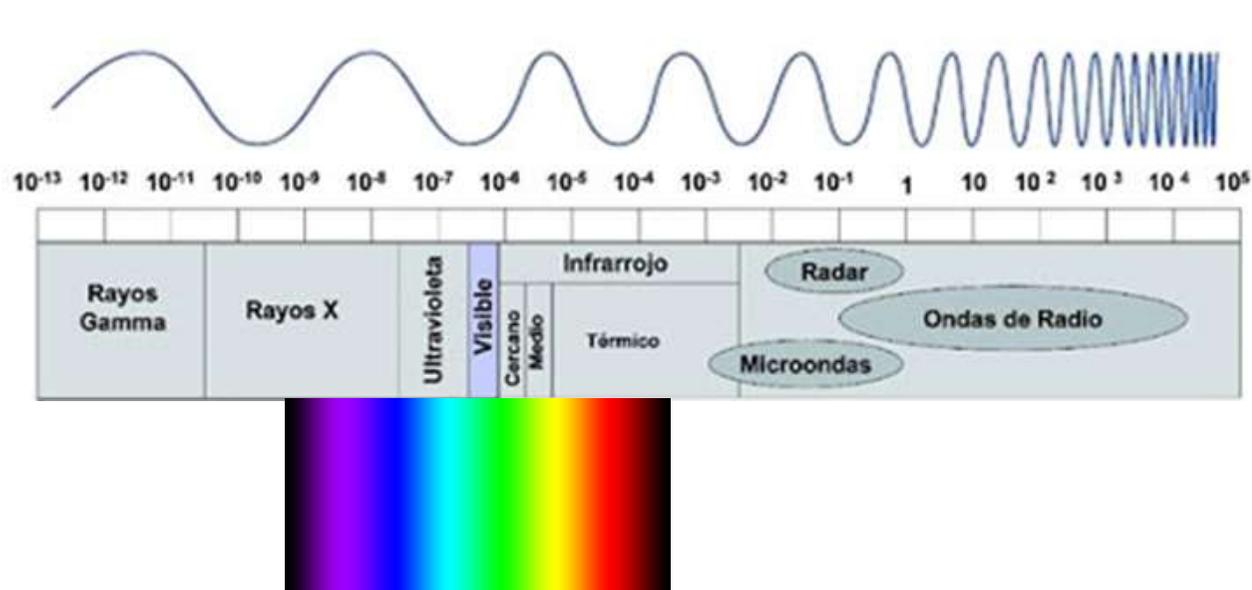


Su muerte a los 36 años posiblemente privó a la humanidad de otros grandes descubrimientos.

En 1887 descubre el **efecto fotoeléctrico**.

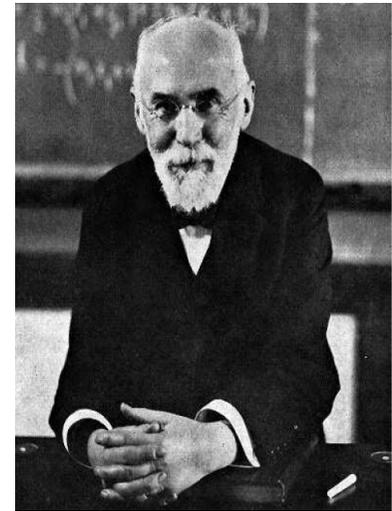
En 1888 produce por primera vez en el laboratorio las **ondas electromagnéticas**, lo que supuso una sólida confirmación de la teoría de Maxwell.

# HEINRICH HERTZ: Espectro de las OEM

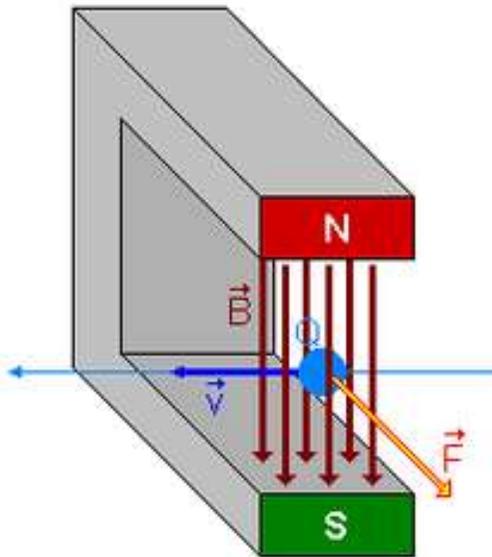


	$\lambda$ (nm)
rojo	618-780
naranja	581-618
amarillo	570-581
verde	497-570
cian	476-497
azul	427-476
violeta	380-427

# HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853-1928)



## Fuerza de Lorentz



Un campo EM ejerce una fuerza sobre una carga en movimiento (fuerza de Lorentz), suma de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética.

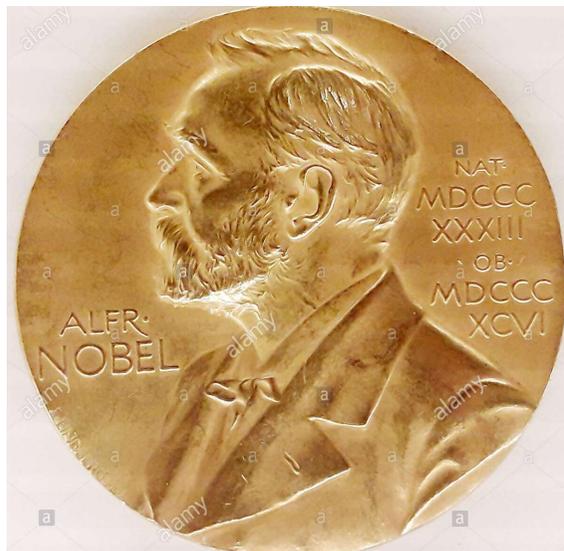
Explicó la reflexión y la refracción de la luz en términos de la teoría de Maxwell.

En 1892 propuso la existencia de partículas con carga eléctrica positiva y negativa, introduciendo así el carácter corpuscular de la electricidad. Premio Nobel de Física en 1902.

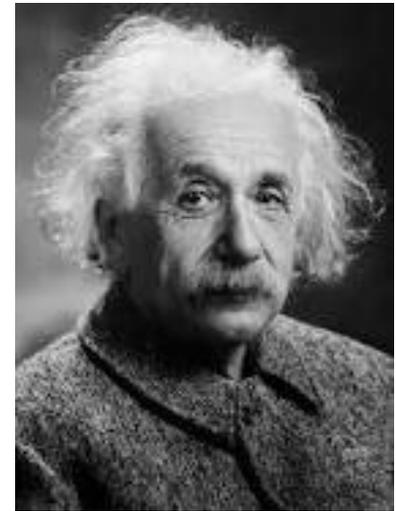
George J. Stoney (1826-1911) en 1874 llamó **electrones** a las cargas negativas.

# JOSEPH JOHN THOMSON (1856-1940) GEORGE PAGET THOMSON (1892-1975)

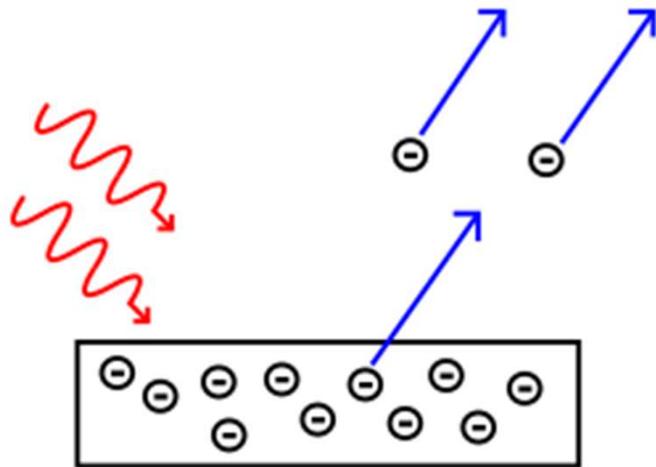
- **PADRE:** Premio Nobel de Física en 1906 por descubrir en 1897 que el electrón es una partícula.
- **HIJO:** Premio Nobel de Física en 1937 por descubrir en 1929 que el electrón es una onda.



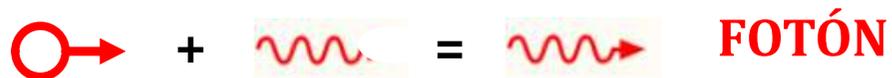
# ALBERT EINSTEIN (1879-1955)



La luz se comporta como una partícula



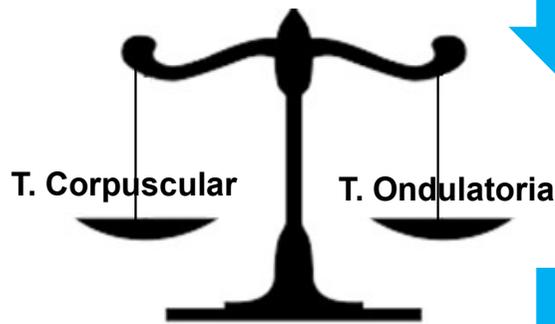
- Premio Nobel de Física en 1921 por explicar el efecto fotoeléctrico en 1905.
- El **efecto fotoeléctrico**: emisión de electrones de los metales bajo la acción de la luz.



# ALBERT EINSTEIN: Teoría ondulatoria-corpúscular de la luz

La luz está formada por partículas

Newton



Einstein

Newton tenía razón: La luz está formada por partículas

La luz es una onda mecánica longitudinal  
El éter es un fluido perfectamente elástico

Huygens y Hooke

Fresnel

La luz es una onda mecánica transversal  
El éter es un sólido incompresible

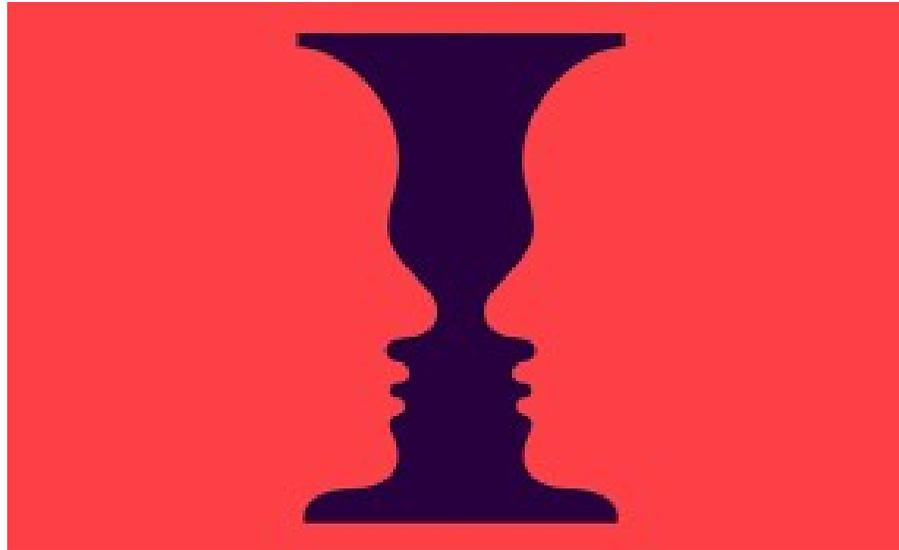
Maxwell

La luz es una OEM. No es necesario la existencia del éter. La luz se propaga en el vacío a la velocidad  $C$

Principio de complementariedad

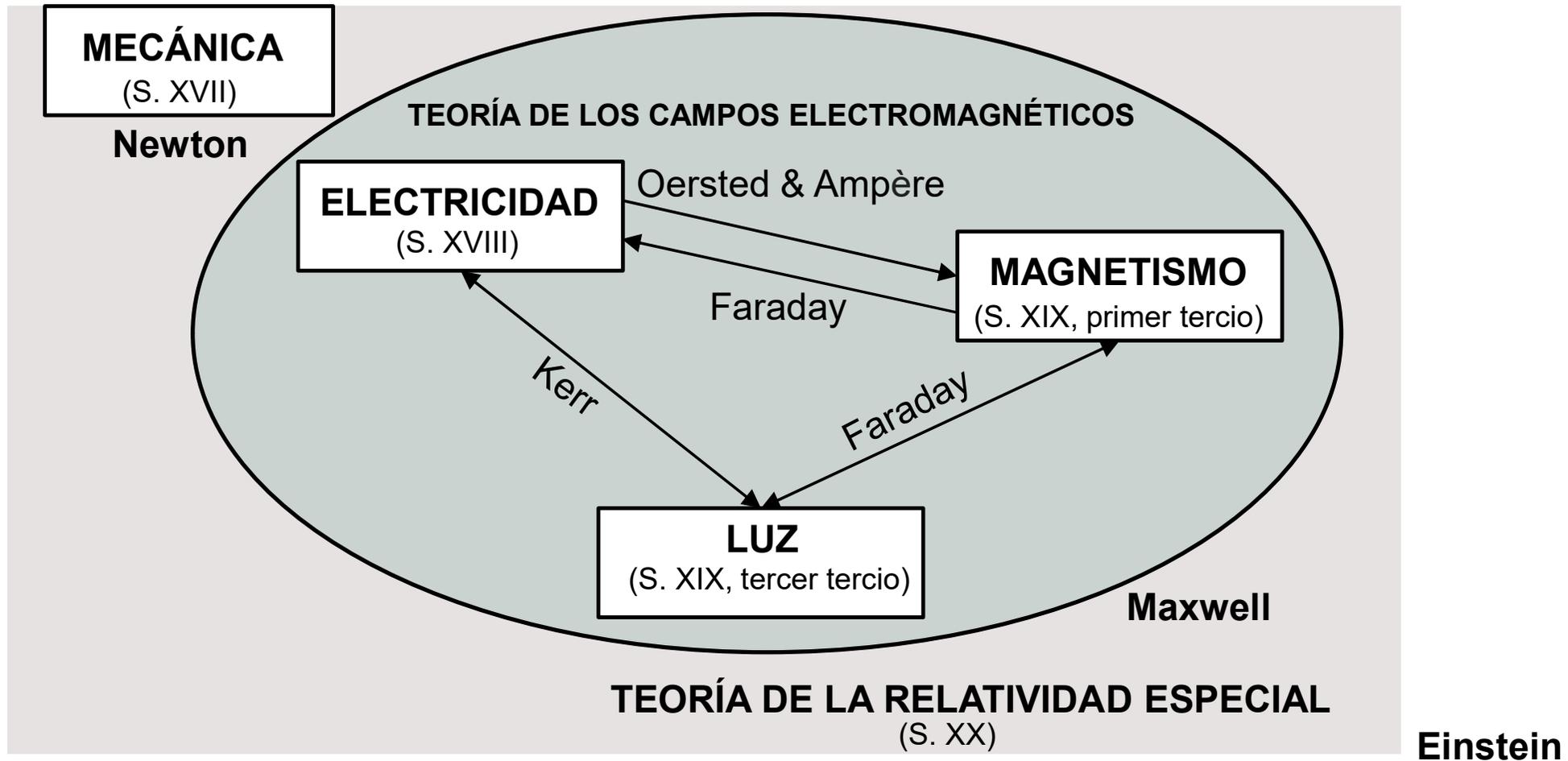
# PRINCIPIO DE COMPLEMENTARIEDAD

¿Qué ve, la imagen de una copa o la imagen de dos caras?



O una copa, o dos caras, pero no las dos imágenes a la vez.

# NEWTON, EINSTEIN y MAXWELL



# BIBLIOGRAFÍA

- Este documento está basado, esencialmente, en el excelente artículo de **Augusto Beléndez**: *La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 2, 2601 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172008000200012>, y en la videoconferencia que impartió el Día Internacional de la Luz [https://www.youtube.com/watch?v=LB\\_5jK64bH0&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=LB_5jK64bH0&feature=youtu.be)
- La viñeta de la inducción electromagnética de Faraday ha sido tomada de:  
<https://es.slideshare.net/jaival/e-l-e-c-t-r-i-c-i-d-a-d-y-m-a-g-n-e-t-i-s-m-o-97-2003>.
- La figura del experimento de Oersted ha sido tomada de la página personal de [Javier Sánchez](#).
- La figura del efecto MOKE ha sido tomada de: <https://www.weistron.com/moke-in-science/>
- Las figuras de las ondas mecánicas han sido tomadas de:  
<https://cursoparalaunam.com/5-l-caracterizacion-de-ondas-mecanicas>
- La figura del experimento de Young ha sido tomada de: <https://teresaversyp.com/articulos/experimentos-fisica-cuantica/>
- La figura de la diapositiva de Malus ha sido tomada de: <http://www3.uah.es/mars/FFII/Polarizacion.pdf>
- La figura de la ley de Faraday ha sido tomada de: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley\\_de\\_Faraday\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_(GIE))
- Las figuras de la diapositiva de Gray ha sido tomada de:  
<http://histoires-de-sciences.over-blog.fr/2018/04/history-of-electricity.the-discovery-of-conductors-and-insulators-by-gray-dufay-and-franklin.html>
- La figura de la ley de Ohm ha sido tomada de: <https://sites.google.com/site/electronica8ieensma/ley-de-ohm>
- Todas las demás figuras han sido tomadas de Wikipedia.



**Bienvenidos al curso de Física General II  
del Grado en Química de la Universidad  
de Oviedo**