

# 10 Experimentos Científicos más Bellos de la Historia

Manuel Figueroa, *Estudiante, ITCR*, Esteban Leandro, *Estudiante, ITCR*

MC-7201 *Introducción a la Investigación*

*Instituto Tecnológico de Costa Rica*

{mfigueroacr, elc790}@gmail.com

**Index Terms**— $\text{\LaTeX}$ , Introducción a la investigación, Tarea Corta, Experimentos, Historia.

## I. ERATÓSTENES Y LA CIRCUNFERENCIA DE LA TIERRA



Figura 1. Eratóstenes. Una pintura de Bernardo Strozzi Tomado de Google Imágenes

### I-A. Contexto Histórico

Eratóstenes fue un académico de la antigua Grecia (276 a.C - 195 a.C) conocido por realizar la primera medición conocida de la Tierra. Eratóstenes parte de la suposición griega de que la tierra es esférica, y que en comparación con otros cuerpos celestes, esta era diminuta. Esto se explica en la obra *Acerca del cielo*, de Aristóteles y escrita un siglo antes de Eratóstenes. Entre los argumentos lógicos de la obra se mencionan entre otros hechos que los viajeros ven estrellas distintas si viajan al norte o al sur y que algunas estrellas visibles en lugares como Egipto o Chipre no son visibles en lugares más septentrionales. Eratóstenes nació al norte de África, y se educó en Atenas, fue un pensador influyente en muchas áreas y escribió *Geographica*, una obra de geografía conocida por ser la primera en utilizar el sistema de paralelos y meridianos conocido en la actualidad.

### I-B. El experimento

Eratóstenes buscaba obtener una medición más precisa y verificar o desmentir estimaciones anteriores del tamaño real de la Tierra. Aristóteles calculaba este tamaño en 400.000 estadios que es aproximadamente unos 64.000 kilómetros, algo lejos del valor real del diámetro de la Tierra (40.000

Km) Eratóstenes asumió que si la tierra era de hecho un cuerpo pequeño y esférico, entonces otros cuerpos como el Sol deberían de encontrarse muy lejos de manera que sus rayos deberían ser prácticamente paralelos en todos los puntos de la Tierra.

Utilizando este hecho como base de su experimento y conociendo por relatos que en la ciudad de Siena (Asuán, Egipto) durante el solsticio de verano el sol del mediodía se ubicaba justo por encima de la cabeza. De este modo no se proyectaba ninguna sombra en un objeto vertical.

Al mismo tiempo en Alejandría, ciudad ubicada al norte de Siena, se conocía que nunca se podía observar al sol directamente sobre la cabeza, razón por la cuál los objetos verticales siempre proyectaban una sombra.

Este hecho, sirvió a Eratóstenes para realizar los cálculos de medición de la circunferencia de la tierra con gran precisión. La simplicidad del experimento permite determinar dimensiones cósmicas midiendo unicamente la longitud de la sombra proyectada por un reloj solar en Alejandría, mientras que en Siena ocurría el solsticio y no se proyectaba sombra.

De manera similar al siguiente gráfico:

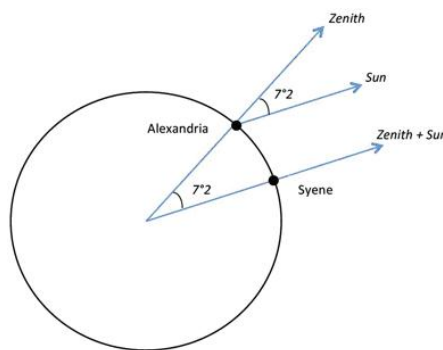


Figura 2. Cálculo realizado por Eratóstenes. Tomado de Google Imágenes

De acuerdo a la geometría Euclídea, los ángulos interiores de una línea que interseca dos líneas paralelas son iguales, por lo tanto el ángulo formado por el Zenith y el Sol, es igual al formado por los radios desde el centro de la tierra a Siena y Alejandría.

Esto le sirvió para determinar la fracción de la circunferencia representada por la distancia ya conocida entre Siena y Alejandría que había sido determinada por los topógrafos reales del gobierno Egipcio, con esto logró determinar el tamaño de la circunferencia de la Tierra en unos 252 000 estadios, lo que es aproximadamente 40.200 Km una cifra bastante cercana a la aceptada en la actualidad de 40.075Km [1]

## II. HERSHEY - CHASE: FUNCIÓN GENÉTICA DEL ADN

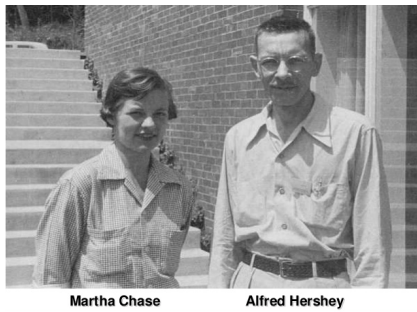


Figura 3. Alfred Hershey y Martha Chase Tomado de Google Imágenes

### II-A. Contexto Histórico

A principios del siglo XX se aceptaba que el material genético de las células era formado por proteínas. Esto principalmente a que se conocía que la estructura del ADN, por las investigaciones de Phoebus Levene en 1933, consistía de cuatro elementos llamados nucleótidos. Debido a esta limitación en la cantidad de bloques que formaban las estructuras de ADN se consideraba imposible que este sirviese como mecanismo para transferir información genética, como el color de piel, ojos, entre otros. Las proteínas, elementos también presentes en las células ofrecían un mayor factor de diversidad y podían combinarse de muchas más maneras. Por esta razón se creía que eran estas las encargadas de transmitir las características en cada generación.

En 1935, Oswald Avery realizó una serie de experimentos que mostraron que el ADN facilitaba un fenómeno genético en las bacterias, pudiendo demostrar que el factor de herencia que causaba transformaciones en las bacterias contenía ADN. Sin embargo, no se pudo descartar que otros componentes sin ADN estuviesen involucrados en dicha transformación. Por esta razón, muchos científicos seguían considerando a las proteínas como las encargadas de transmitir la herencia genética de las células.

### II-B. El experimento

En 1951, los científicos Alfred Hershey y Martha Chase iniciaron una serie de experimentos con el objetivo de desacreditar las afirmaciones de Avery. En sus experimentos se analizó como los bacteriófagos infectaban las bacterias. Descubrieron que cuando un fago infecta a una bacteria, inicialmente se pega al exterior de la bacteria y después inserta parte de su

contenido al interior de la bacteria, lo que le permite replicarse dentro de la misma y generar nuevos bacteriófagos que invadan a las células cercanas.

La técnica utilizada por Hershey y Chase consistía en usar etiquetas de isótopos radiactivos. Los elementos químicos pueden existir en diferentes formas estructurales denominadas isótopos, que pueden tener diferentes niveles de radiactividad que pueden ser detectados por los científicos y de esta manera determinar si las partes etiquetadas fueron transmitidas de los fagos a las bacterias.

Etiquetando la parte de proteínas del bacteriófago con isótopos de azufre y el ADN con fósforo radiactivo, y utilizando una licuadora común, descubrieron que las proteínas permitían al fago pegarse a la membrana superficial de la bacteria y lo que se inyectaba dentro del interior de la bacteria era de hecho el ADN del bacteriófago, y por lo tanto lo que permitía la replicación de nuevos bacteriófagos en el interior de la bacteria infectada.

Los resultados de medir la mezcla descubrieron que al licuar las bacterias infectadas se removía hasta el 80 % de las proteínas marcas y solamente cerca del 40 % del ADN marcado indicando que el material restante se había incorporado al interior de las células.

Con este experimento demostraron que Avery estaba en lo correcto y que el componente de la herencia genética es en realidad el ADN y no las proteínas como se creía.

Por esta serie de experimentos Hershey recibe el premio Nobel en 1969. [2]

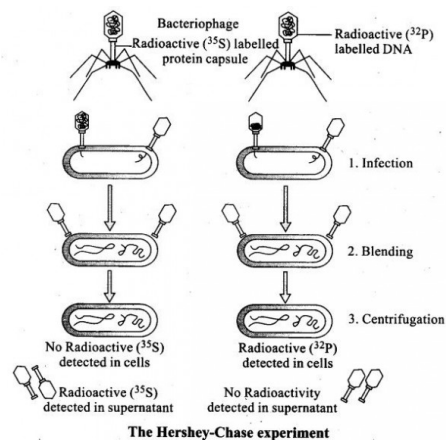


Figura 4. Experimento Hershey-Chase. Tomado de Google Imágenes

## III. LUIGI GALVANI: ELECTRICIDAD ANIMAL

### III-A. Contexto Histórico

A mediados del siglo XVIII, la electricidad era un tema importante y que acaparaba la atención de muchos científicos de la época, debatiendo si la electricidad era un vapor, un fluido o como Benjamín Franklin especulaba una serie de partículas.



Figura 5. Luigi Galvani. Tomado de Google Imágenes

En Abril de 1786, Luigi Galvani un profesor de anatomía, estuvo experimentando con la estimulación de los nervios de las ranas mediante el uso de electricidad usando un generador o aplicando descargas desde una botella de Leyden.

### III-B. El experimento

Luigi Galvani creía que los movimientos musculares eran causados por una electricidad natural producida por los seres vivos y que aplicar electricidad de origen artificial tenía el mismo efecto.

Galvani tomó varias ranas y verificó que al cerrar un circuito conectando el nervio con el músculo utilizando algún conductor se producía una reacción que hacía que las patas de las ranas se movieran y sin ninguna fuente externa de energía era fácil pensar que la electricidad estaba almacenada en el interior del animal.

En 1971, publicó sus hallazgos en *Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion*, donde efectivamente Galvani proponía que los músculos de las ranas funcionaban como una botella de Lynden, almanecenando y liberando algún tipo de electricidad orgánica.

Uno de los grandes detractores de esta teoría fue Alessandro Volta, físico y químico Italiano. Volta aseguraba que el efecto de movimiento en los músculos era provocado por la electricidad provocada al utilizar dos metales conductores, lo que denominó electricidad bimetálica.

Galvani refutó estas afirmaciones demostrando que el mismo efecto podría lograrse usando el mismo metal o incluso carbón para realizar la conexión. Volta asumió que esto solamente era efecto de las impurezas del metal que aunque fuesen del mismo tipo igual generan alguna cantidad de electricidad bimetálica.

Finalmente Galvani optó por eliminar los metales y conductores de sus experimentos simplemente haciendolo con sus manos y provocando el mismo efecto, incluso haciendo el contacto directamente entre el nervio y el músculo sin ningún conductor involucrado, probando así que la electricidad no provenía de afuera si no dentro del animal mismo.

Volta y Galvani estaban en lo correcto, la electricidad puede ser producida por la reacción de distintos conductores inventando así las baterías. De igual manera los experimentos de Galvani probaron que en efecto el movimiento muscular es provocado por una reacción electroquímica y no por una éterea fuerza vital. [3]

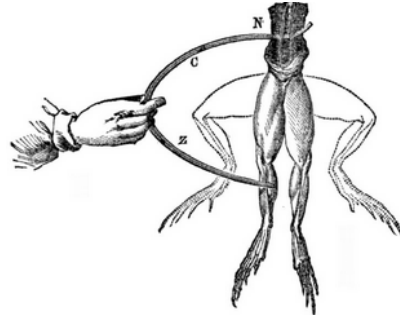


Figura 6. Experimentos de Galvani. Tomado de Google Imágenes

## IV. HENRY CAVENDISH: DENSIDAD DE LA TIERRA



Figura 7. Henry Cavendish. Tomado de Google Imágenes

### IV-A. Contexto Histórico

Henry Cavendish (1731-1810) fue un destacado físico y químico británico, nacido en el Reino de Cerdeña en Francia, y uno de los mayores científicos de la historia. Cavendish tuvo la suerte de obtener una gran herencia que le sirvió para financiar sus experimentos y se le reconoce también el haber determinado la composición química del agua.

### IV-B. El experimento

Uno de los mas famosos experimentos de Cavendish es el cálculo de la densidad terrestre, extraído directamente del interés de Cavendish en la ciencia Newtoniana. Sir Issac Newton

había propuesto que todos los objetos en la Tierra son atraídos por la fuerza de gravedad. Esta fuerza es proporcional al tamaño de la masa de los objetos y a la distancia entre ellos. Básicamente, esto implicaba que entre mayor la masa de un objeto más fuerte la fuerza de atracción de este. Sin embargo, Newton dejó como incógnitas la constante gravitacional y la masa terrestre. El encontrar cualquiera de estos valores permitía descubrir el otro mediante cálculos simples.

Como se conocía que la constante gravitacional es la misma para todos los objetos, el método más lógico de resolver la incógnita es midiendo la fuerza de atracción gravitacional entre dos objetos de masa conocida. Suena sencillo en teoría pero en la práctica los objetos de masa conocida son muy pequeños para que exista una fuerza de atracción gravitacional medible.

En la década de 1798 mediante el experimento de Cavendish, utilizando una balanza de torsión, se obtuvo la primera medida de la constante gravitacional de la Tierra, y consecuentemente la densidad del planeta Tierra con una precisión asombrosa para la época. El aparato construido por Cavendish, y colocado en un ambiente que eliminaba variables externas como el viento y la temperatura podía calcular la fuerza de atracción ejercida sobre dos bolas de plomo de igual masa, con un gran grado de exactitud.

Utilizando este equipo Cavendish determinó que la densidad promedio terrestre era de aproximadamente 5,5 veces la del agua y estimó la masa terrestre en  $6,6 \times 10^{21}$  toneladas muy cercano al valor aceptado en la actualidad de  $5,97 \times 10^{24}$  kilogramos. [4]

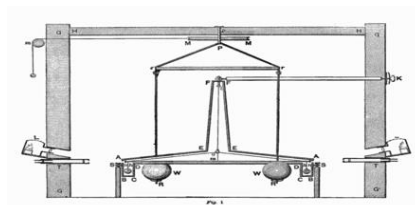


Figura 8. Balanza de torsión de Henry Cavendish. Tomado de Google Imágenes

## V. THOMAS YOUNG: LA NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

### V-A. Contexto Histórico

Thomas Young nació el 13 de junio de 1773 en Milverton, Inglaterra. Fue un niño prodigio, a los dos años ya leía y a los seis había leído dos veces la Biblia de principio a fin. Conocía una docena de lenguas incluidas el latín y el griego antiguo. Estudió Medicina, sin mucho éxito como médico, parte debido a su poca habilidad para reconfortar a los pacientes. Con veintiocho años abandonó la práctica médica para unirse a la Royal Institution de Londres.

Fue uno de los primeros en descifrar jeroglíficos egipcios y desempeñó un papel esencial en la decodificación de la piedra de Rosetta. También es célebre por su experimento de

la doble rendija que mostraba la naturaleza ondulatoria de la luz.

Young estudió la visión y el ojo humano, propuso la teoría tricromática de la visión confirmada ciento cincuenta años después. Investigó sobre el sonido, la audición y la voz humana y fue entonces cuando se preguntó si el sonido y la luz no tendrían la misma naturaleza ondulatoria.



Figura 9. Thomas Young Davis. Tomado de Google Imágenes

### V-B. El experimento

Su contribución fundamental al campo de la luz es el experimento de la doble rendija, considerado no sólo como uno de los experimentos más bellos de la física, sino también el experimento favorito con luz. Con este experimento Young desafió las teorías de Isaac Newton y demostró que la luz es una onda, que probaba que la luz sufre el fenómeno de las interferencias que es propio de las ondas. Entre 1801 y 1803 presentó una serie de conferencias en la Royal Society subrayando la teoría ondulatoria de la luz y añadiendo a la misma un nuevo concepto fundamental, el principio de interferencia.

El experimento de la doble rendija es simple y permitió a Thomas Young demostrar de forma convincente y por primera vez la naturaleza ondulatoria de la luz. Cuando las ondas provenientes de dos rendijas estrechas se superponen sobre una pantalla colocada a cierta distancia paralela a la línea que conecta estas rendijas, aparece en la pantalla un patrón de franjas claras y oscuras espaciadas regularmente (patrón de interferencia).

Esta es la primera prueba clara de que la luz más luz puede dar lugar a oscuridad. En la interferencia tiene lugar una redistribución espacial de la intensidad luminosa sin que se viole la conservación de la energía.

Este fenómeno se conoce como interferencia y con este experimento se corroboraron las ideas intuitivas de Huygens respecto al carácter ondulatorio de la luz. Thomas Young esperaba este resultado pues creía firmemente en la teoría ondulatoria de la luz y su juicio éste había sido el más importante de sus muchos logros científicos.



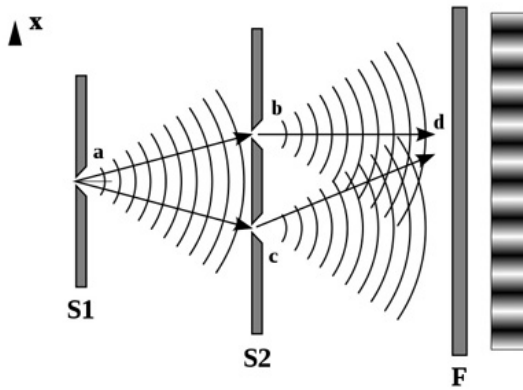


Figura 10. Ondas de Luz. Tomado de Google Imágenes

El 12 de noviembre 1801 presentó ante la Royal Society la Bakerian Lecture titulada "On the Theory of Light and Colours" (Sobre la Teoría de la Luz y los Colores) y el 24 de noviembre de 1803 también la Bakerian Lecture "Experiments and Calculations relative to Physical Optics" (Experimentos y cálculos relativos a la óptica física).

En esta última presentaba la demostración experimental de la ley general de la interferencia de la luz y una inferencia argumentativa sobre la naturaleza de la luz, concluyendo que la luz era una onda. Como todas las ondas conocidas necesitaban un medio material para su propagación, como sucede con las ondas sonoras o las ondas en el agua.

Young consideró que la luz se propagaba en un medio, el éter luminífero, concluyendo que «A luminiferous Ether pervades of Universe, rare and elastic in high degree» (Un éter luminífero impregna todo el Universo, raro y elástico en alto grado) y afirmó de forma contundente que «Radiant light consists in Undulations of the luminiferous Ether» (la luz radiante consiste en ondulaciones del éter luminífero).

Asimismo señaló que la sensación de los diferentes colores depende de la distinta frecuencia de las vibraciones de la luz que excita la retina.

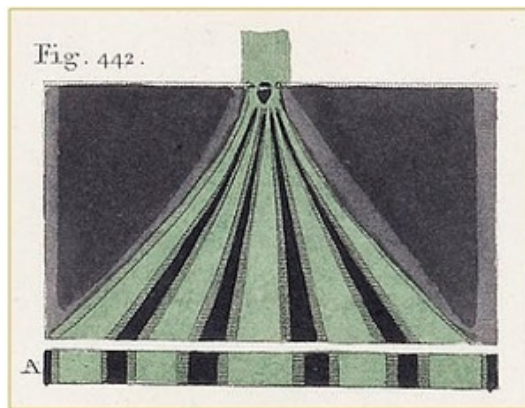


Figura 11. Diagrama interferencial observado por Young. Tomado de Google Imágenes

El experimento de las dos rendijas pone de manifiesto el proceso de interferencia óptica, nombre con que Thomas Young designó los procesos constructivos y destructivos de la composición de ondas y con el que también es conocido desde entonces.

En el año 1803 casi nadie aceptó de forma inmediata las ideas de Young sobre la naturaleza de la luz. Young publicó en 1807 su magnus opus, "A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts", consistente en dos volúmenes con más de mil quinientas páginas y que fue descrito por el físico Joseph Larmor (1857-1942) como el más grande y el más original de todos los cursos publicados.

Gracias a las contribuciones realizadas por Augustin Fresnel, la teoría ondulatoria de la luz –que Young demostró en su famoso experimento– fue finalmente aceptada.

## VI. JEAN LÉON FOUCAULT: PÉNDULO DE FOUCAULT

### VI-A. Contexto Histórico

Jean Léon Foucault nació en Francia el 18 de septiembre de 1819. Considerado como el fundador de la moderna técnica de construcción de los grandes telescopios, trabajó en la determinación de la velocidad de la luz. Obtuvo importantes distinciones y condecoraciones en el campo de la investigación científica. Fue un físico destacado, entre otras cosas, por su famoso péndulo.

Su experimento más famoso empezó en 1850, cuando observó que un péndulo permanecía oscilando en el mismo plano mientras se hacía rotar el aparato. Foucault usó entonces el péndulo para demostrar la rotación de la Tierra.



Figura 12. Jean Léon Foucault. Tomado de Google Imágenes

Un péndulo es algo que cuelga de un punto fijo, que cuando se suelta gira hacia abajo por la fuerza de gravedad, y luego hacia arriba por la inercia. La gravedad es una fuerza que atrae los objetos hacia el suelo, mientras que la inercia es la tendencia de un cuerpo en movimiento para continuar su movimiento a menos que actúe sobre él otra fuerza.

Los péndulos son muy útiles para la ciencia, ya que sirven no sólo para medir la rotación de la Tierra, sino también para medir la aceleración debido a la gravedad, algo importante para determinar la forma de la Tierra y la distribución de los materiales dentro de ella.

#### VI-B. El experimento

Enunció una ecuación en la que se relacionaba el período de rotación del plano con la latitud de la Tierra, en una exhibición pública, suspendió una esfera de hierro de 28 kilogramos de un cable de acero de 67 metros, desde la cúpula del Panteón en París, cuyo comportamiento vino a corroborar sus cálculos.

Si se observa un péndulo, de pie y fijo a la Tierra, luego de este realizar varias oscilaciones se verá un pequeño desplazamiento del punto donde el péndulo alcanza su máxima apertura, se observará un pequeño giro del plano de oscilación del péndulo.

Si nuestro planeta Tierra estuviera inmóvil en el espacio, se podría observar que el plano de oscilación del péndulo no cambia. Esta es la argumentación que usó Foucault para mostrar que su experimento finalmente demostraba la rotación de la Tierra.

Considerando primero un péndulo oscilando justo en el polo Norte. Dado que el eje de rotación de la Tierra pasa por los polos, el piso rota en sentido antihorario, con respecto a las estrellas lejanas. Como el plano de oscilación del péndulo no cambia con respecto a esas estrellas, un observador fijo al suelo, verá el plano de oscilación del péndulo dar una vuelta completa en el sentido horario en ese mismo tiempo.

Por su parte, el observador fijo a la Tierra, en el polo Sur, observará que el plano de oscilación del péndulo dará una vuelta completa en el mismo tiempo pero en sentido antihorario.



Figura 13. Péndulo de Foucault. Tomado de Google Imágenes

¿Qué sucede si se realiza el experimento justo en un punto de la línea del Ecuador?

A diferencia, de lo que ocurre en los polos, en el Ecuador el eje de rotación de la Tierra es paralelo al suelo y por lo tanto el suelo no gira con respecto al eje. De esta manera el observador fijo al suelo ve al péndulo oscilar siempre en el mismo plano. Usando un péndulo sobre la Línea del Ecuador no se puede detectar la rotación de la Tierra.

Ahora considerando un lugar entre el polo Sur y el Ecuador, por ejemplo alguna ubicación en Argentina. La base del péndulo, en el suelo, no es paralela ni perpendicular al eje de rotación de la Tierra, por lo tanto el suelo rotará, pero de manera más lenta que en los polos. Así, el observador fijo en la Tierra verá que el plano de oscilación del péndulo gira en sentido antihorario (porque está en el hemisferio Sur), pero tardará más tiempo en dar una vuelta completa.

La descripción matemática del movimiento del péndulo en cualquier latitud es un tanto compleja. Con ella se encuentra la fórmula que determina el tiempo (en horas) que tarda el péndulo en efectuar un giro completo. Esta es:

$$T = 24/\sin(A), \quad (1)$$

en que A es la latitud donde se encuentra el péndulo. Para la latitud de Valdivia, T resulta ser aproximadamente 36 horas, de manera que el plano de oscilación gira unos 10 grados por hora.

### VII. ISAAC NEWTON: DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ



Figura 14. Isaac Newton. Tomado de Google Imágenes

#### VII-A. Contexto Histórico

Isaac Newton fue un físico y matemático inglés de los siglos XVII y XVIII (nació el 4 de enero de 1643 y murió el 31 de marzo de 1727 a los 84 años).

A los 12 años comenzó a cursar sus estudios elementales en la escuela primaria de Grantham. En 1661, a los 18 años de edad, ingresó en el Trinity College de la Universidad de Cambridge para estudiar matemáticas bajo la tutela de Isaac Barrow.

Tras su graduación, Newton acabaría dedicándose por completo al estudio de las matemáticas y la filosofía natural realizando descubrimientos trascendentales en el campo del cálculo (con el desarrollo del cálculo integral y diferencial, entre otros hallazgos), la física (describiendo las leyes que

explican el movimiento de los cuerpos macroscópicos) y la óptica (con su teoría de los colores).

En aquella época dominaba la idea de Descartes de que la luz estaba compuesta por pequeños corpúsculos. Los colores eran la mezcla de luz y oscuridad, en distintas proporciones.

Antes que Newton, Descartes ya intentó descomponer la luz, pero sólo logró obtener los colores rojo y azul.



Figura 15. René Descartes. Tomado de Google Imágenes

René Descartes se educó en el colegio jesuita de La Flèche (1604-1612), por entonces uno de los más prestigiosos de Europa, donde gozó de un cierto trato de favor en atención a su delicada salud. Los estudios que en tal centro llevó a cabo tuvieron una importancia decisiva en su formación intelectual; conocida la turbulenta juventud de Descartes, sin duda en La Flèche debió cimentarse la base de su cultura.

### VII-B. El experimento

Newton empleó un par de prismas de vidrio que, por entonces, eran populares como juguetes infantiles. Así que fue un experimento muy barato. Preparó una estancia en total oscuridad. Sólo a través de un agujero en la ventana entraba un rayo de luz solar.

Colocó el prisma delante del rayo de luz, de modo que lo atravesara y reflejara la luz en la pared opuesta, a 7 metros de distancia. En la pared aparecían los colores del arco iris de forma alargada, uno sobre otro.

Cabían dos posibilidades. O bien el prisma daba color a la luz, o la luz era la mezcla de todos los colores y el prisma se limitaba a descomponerla. Para comprobarlo, utilizó el segundo prisma. Tras la luz descompuesta en colores colocó otra pantalla con un agujero, a unos 3 metros.

Por este agujero fue haciendo pasar los colores de uno en uno. De modo que, detrás de la pantalla, sólo podía verse el color elegido. Por ejemplo, el rojo. Una vez aislado un color, lo hacía pasar a través del segundo prisma y lo reflejaba en otra pared.

Comprobó que ahora sólo cambiaba el ángulo, pero no el color. Es decir, si habíamos aislado el rojo, al atravesar el segundo prisma seguía saliendo rojo. Y así con todos los colores.

Dedujo que los colores del arco iris eran colores puros, mientras que la luz blanca era la mezcla de todos ellos. El prisma no añadía ninguna cualidad a la luz, sino que la

descomponía. Al proyectar los colores y juntarlos de nuevo, la luz volvía a ser blanca.

El experimento causó sensación en la Royal Society. Newton logró descomponer la luz solar, pero siguió sin saber por qué. Entonces aún no se conocía la naturaleza ondulatoria de la luz.



Figura 16. Prisma de Luz, Isaac Newton. Tomado de Google Imágenes

Para sus experimentos, Newton usó prismas triangulares de cristal. La luz penetra por una de las caras del prisma y se refracta hasta descomponerse en diferentes colores, debido a que el grado de separación varía en función de la longitud de onda de cada color.

Los prismas actúan de este modo gracias a que la luz cambia de velocidad cuando pasa del aire al cristal del prisma.



Figura 17. Arcoiris, luz prisma. Tomado de Google Imágenes

Es el mismo proceso que forma el arco iris. Las gotas de agua actúan como el prisma. La luz solar se refleja en la cara interna de las gotas de lluvia y se descompone en colores.

Una curiosidad: Newton estableció que la luz blanca se descomponía en siete colores. Podría haber dicho seis u otra cifra (¿alguien sabe qué clase de color es el añil?). Se debe al peso de la tradición griega en nuestra cultura europea, donde el número siete es fundamental.

De ahí que se repita tanto, incluso en los cuentos infantiles de tradición europea. Es la misma razón que llevó a Pitágoras a fijar en siete las notas musicales.



## VIII. ROBERT ANDREWS MILLIKAN: GOTA DE ACEITE Y ELECTRONES



Figura 18. Robert Andrews Millikan. Tomado de Google Imágenes

### VIII-A. Contexto Histórico

Robert Andrews Millikan nació en Morrison (Illinois), estudió en las universidades de Columbia, Berlín y Gottingen. Se incorporó al cuerpo de docente de la Universidad de Chicago en 1896, en 1910 fue profesor de Física. Abandonó la universidad en 1921 al convertirse en director del laboratorio Norman Bridge de Física en el Instituto de Tecnología de California.

En 1907 inició una serie de trabajos destinados a medir la carga del electrón, estudiando el efecto de los campos eléctrico y gravitatorio sobre una gota de agua (1909) y de aceite (1912), y deduciendo de sus observaciones el primer valor preciso de la constante "e".

Obtuvo además la primera determinación fotoeléctrica del cuanto de luz, verificando la ecuación fotoeléctrica de Einstein (1916), y evaluó la constante "h" de Planck.

Recibió por todo ello numerosos reconocimientos, entre los que destaca el premio Nobel de Física en 1923. Realizó además estudios sobre la absorción de los rayos X, el movimiento browniano de los gases, el espectro ultravioleta y, en los últimos años de su vida, investigó la naturaleza de los rayos cósmicos, precisando la variación estacional de su intensidad con la altitud.

### VIII-B. El experimento

La carga eléctrica elemental es una de las constantes fundamentales de la física, por lo que su determinación precisa resulta vital para esta ciencia. En su experimento, Millikan medía la fuerza eléctrica sobre una pequeña gota cargada debida a un campo eléctrico creado entre dos electrodos cuando la gota se encontraba en el campo gravitatorio.

Conociendo el campo eléctrico, era posible llevar a cabo la determinación de la carga acumulada sobre la gota.

En un principio, se creyó que la carga eléctrica debía de ser continua. Uno de los que sostenían esta opinión era Thomas Alva Edison. Sin embargo, tras el trabajo de Millikan, se convenció de lo contrario.

Utilizando un atomizador formaba gotas de aceite, algunas de las cuales caían por un pequeño agujero en una región de campo eléctrico uniforme creado por dos placas paralelas cargadas.

Mediante un microscopio se podía observar una determinada gota y conocer su masa midiendo la velocidad límite de caída. Gracias a la irradiación con rayos X se cargaba la gota, y ajustando el campo eléctrico se conseguía que permaneciera en reposo, en equilibrio estático, cuando la fuerza eléctrica era igual y opuesta a la gravitatoria.

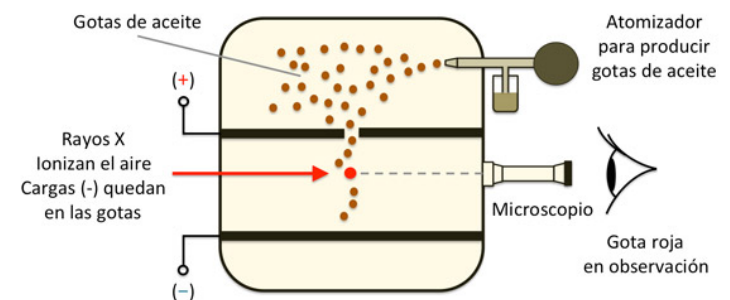


Figura 19. Esquema del aparato utilizado por Millikan para medir la carga del electrón. Tomado de Google Imágenes

Una vez seleccionada la gota, se apaga el campo eléctrico; esta cae lentamente alcanzando rápidamente una velocidad terminal. Cuando esto sucede, significa que la fuerza de arrastre es igual y opuesta a la fuerza de la gravedad; así pues, igualando la ecuación de la fuerza de arrastre (que contiene la viscosidad, el radio de la gota supuesta esférica y la velocidad terminal) y la ecuación del peso de la gota (que contiene las densidades del gas y el aceite, la constante gravitatoria y el radio al cubo), se puede extraer el radio de la gota.

En este momento se vuelve a activar el campo eléctrico. Evidentemente, ajustarlo de manera que la gota quede en equilibrio sin moverse es muy complicado. Por ello, se aumentaba de manera que la gota comience a subir: en la nueva ecuación, el peso (hacia abajo) más la fuerza de arrastre (hacia abajo) son iguales a la fuerza del campo eléctrico (hacia arriba).

De nuevo, alcanza otra velocidad terminal que introducida en la ecuación anterior, junto con el radio averiguado antes, proporciona la carga eléctrica de la gota.

Millikan, haciendo una tarea larga y tediosa que implicó un conjunto de investigaciones colaterales, repitió el experimento numerosas veces y concluyó que los resultados obtenidos podían ser explicados si existía una carga elemental única (cuyo valor determinó) y las cargas identificadas eran múltiplos enteros de este número.



## IX. GALILEO GALILEI: CAIDA DE LOS CUERPOS, PLANO INCLINADO



Figura 20. Galileo Galilei. Tomado de Google Imágenes

La revolución científica del Renacimiento tuvo su arranque en el heliocentrismo de Copérnico y su culminación, un siglo después, en la mecánica de Newton. Su más eximio representante, sin embargo, fue el científico italiano Galileo Galilei.

En el campo de la física, Galileo formuló las primeras leyes sobre el movimiento; en el de la astronomía, confirmó la teoría copernicana con sus observaciones telescópicas. Pero ninguna de estas valiosas aportaciones tendría tan trascendentes consecuencias como la introducción de la metodología experimental, logro que le ha valido la consideración de padre de la ciencia moderna.

### IX-A. Contexto Histórico

En el siglo XVII, Galileo Galilei presenta los principios del movimiento uniforme y uniformemente acelerado. Su definición acerca de estos tipos de movimiento es la siguiente:

- Movimiento uniforme: movimiento en el cual a intervalos iguales de tiempo corresponden iguales distancias recorridas.
- Movimiento uniformemente acelerado: movimiento en el cual variaciones iguales de velocidad ocurren en iguales intervalos de tiempo. Esto es, si el movimiento es uniforme el desplazamiento está dado por,

$$x = vt, \quad (2)$$

donde  $t = t_2 - t_1$ ,  $v$  es la velocidad del móvil y  $x = x_2 - x_1 = x_2(t_2) - x_1(t_1)$ .

Para el movimiento uniformemente acelerado

$$v = v_0 + a * t \quad (3)$$

donde  $v_0$  es la velocidad inicial y  $a$  la aceleración. Para este tipo de movimiento, principios matemáticos simples permiten determinar que el desplazamiento viene dado por la ecuación,

$$x = x_0 + v_0 * t + (a/2) * (t * t) \quad (4)$$

donde  $x_0$  es la posición inicial ( $x(t = 0)$ )

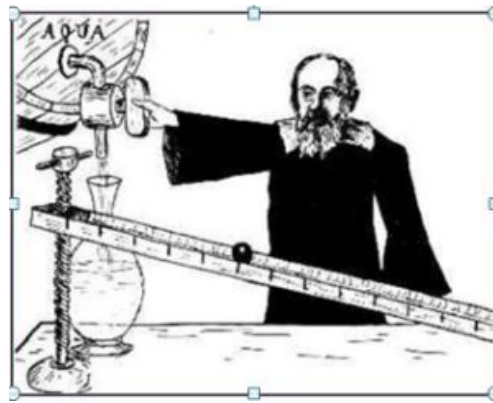


Figura 21. Plano Inclinado 1. Tomado de Google Imágenes

### IX-B. El experimento

La idea consiste en medir el tiempo que demora un cuerpo en recorrer una determinada distancia al deslizarse por un plano inclinado para luego, hacer un gráfico de distancia recorrida versus intervalo de tiempo,  $x$  versus  $t$  y de distancia recorrida versus tiempo al cuadrado,  $x$  versus  $t^2$ , y verificar si el tipo de movimiento es efectivamente uniformemente acelerado.

Movimiento uniformemente acelerado es aquel en el que la aceleración es constante. Galileo ya sabía que la aceleración en una caída libre de un objeto era constante, siempre que no fuera frenado por un fluido, como el aire.

Para poder estudiar mejor este movimiento utilizó esferas y planos inclinados, ya que la aceleración seguiría siendo constante, pero se reduciría de forma proporcional al ángulo usado, facilitando el estudio. Y lo más interesante, la velocidad a la que el cuerpo llegaba al suelo dependía únicamente de la altura desde la que se dejaba caer.

Las ideas de Galileo revolucionaron por completo el estudio del movimiento, en particular por introducir el concepto de 'Aceleración' como un cambio de velocidad en intervalos de tiempo iguales.

Aunque no fue él quien calculó la famosa constante de aceleración originada por la gravedad de la Tierra ( $g = 9.8 \text{ m} / (\text{s} * \text{s})$ ), fue el primero en observar y demostrar matemáticamente que dicha constante existía.

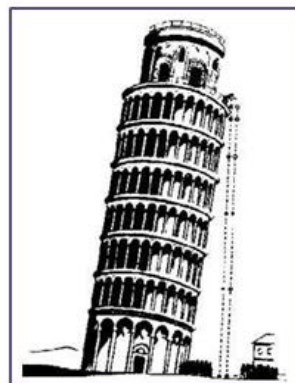


Figura 22. Plano Inclinado 2. Tomado de Google Imágenes

## X. RUTHERFORD Y EL DESCUBRIMIENTO DEL NÚCLEO ATÓMICO

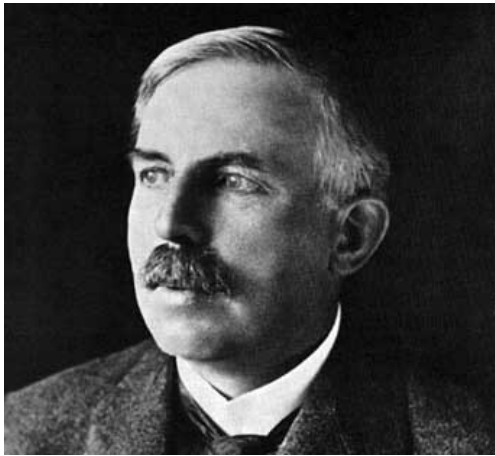


Figura 23. Ernest Rutherford. Tomado de Google Imágenes

### X-A. Contexto Histórico

A inicios del siglo XX se conocía que la materia estaba compuesta de átomos, sin embargo saber como estaba construidos estos bloques elementales era una incognita difícil de resolver, hasta que Ernest Rutherford(1871-1937) logró mediante un experimento descubrir la estructura interna de los átomos.

Rutherford, nacido en Nueva Zelanda e hijo de un granjero y mecánico escocés y de una maestra británica fue un investigador brillante, estudió en los laboratorios Cavendish de Cambridge y colaboró con Joseph John Thomson, famoso por descubrir el electrón e inventar el espectrómetro de masa.

Entre los primeros experimentos destacados de Rutherford está el descubrimiento de que el uranio emite dos tipos distintos de radiación. Para demostrarlo utilizó un método simple, al envolver uranio con una o dos capas y de papel aluminio, la radiactividad disminuía, pero con tres caía de golpe, pero el efecto más curioso es que después de esta caída abrupta y sin importar la cantidad de capas extra se mantenía constante el nivel de radiación.

Para nombrar estos dos tipos de radiación empleó el alfabeto griego nombrandolos rayos  $\alpha$  y rayos  $\beta$ . Posteriormente pudo explicar que los rayos  $\beta$  eran en realidad electrones, pero los rayos  $\alpha$ , que tenían una masa similar a los átomos de helio, por lo que diseñó un experimento sencillo para poder analizar la naturaleza de estas partículas. Con la ayuda de un frasco especial de vidrio, lo suficientemente delgado para que fuese atravesado por los rayos  $\alpha$  y un contenedor al vacío colocó el frasco con radón conocido por emitir rayos  $\alpha$ . Después analizó el gas que se generó dentro del contenedor y pudo verificar que era helio.

Este experimento generó ciertas inquietudes en Rutherford que posteriormente lo inclinaron a interesarse en la mecánica atómica, como por ejemplo como lograban las partículas de rayos  $\alpha$  de carga positiva convertirse en átomos de helio que poseen una carga neutra.

### X-B. El Experimento

Rutherford pidió a su asistente Hans Geiger, conocido por haber creado el contador Geiger (Medidor de radiactividad), que le ayudara a medir el factor de dispersión de las partículas  $\alpha$  para poder determinar sus propiedades, al utilizar distintos materiales como mica y oro se dieron cuenta que algunas de estas partículas se desviaban más de 90 grados.

Este hecho al principio intentó ser explicado por Rutherford mediante probabilidades e intentó explicar mediante el modelo de dispersión múltiple, este comportamiento en que las partículas de rayos  $\alpha$  que viajaban a más de 16 mil kilómetros por segundo podían desviarse por una delgada capa metálica.

Entonces dedujo que la única explicación es que en realidad estas desviaciones eran producidas por una única colisión atómica y el resto de partículas seguía su trayectoria esperada. Este hecho le sirvió a Rutherford para determinar que la mayor parte de los átomos es en realidad espacio vacío y que el núcleo tiene que ser una pequeña parte en el centro con carga positiva y los electrones que balancean esta carga haciendo la carga total del átomo neutra giran a su alrededor como satélites en un planeta.

Si aumentamos el tamaño del átomo a un campo de fútbol, el núcleo, que concentra la mayor parte de la masa del átomo sería del tamaño de una mosca en el centro del campo y los electrones de carga negativa serían como motas de polvo alrededor de la cancha.

Rutherford logró así explicar la estructura interna del átomo que se creía indivisible y considerado el bloque elemental de la materia, y validando la propuesta de Hantaro Nagaoka del modelo planetario de los átomos. [1]

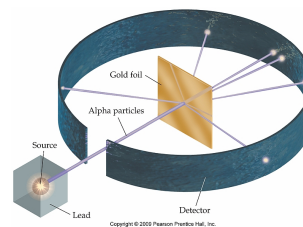


Figura 24. Experimento Rutherford Núcleo Atómico. Tomado de Google Imágenes

## REFERENCIAS

- [1] R.P. Crease, *The prism and the pendulum the ten most beautiful experiments in science*. Random House, 2014.
- [2] V.Hernández, "The embryo project encyclopedia," Jun 2019. [Online]. Available: <https://embryo.asu.edu/pages/hershey-chase-experiments-1952-alfred-hershey-and-martha-chase>
- [3] G.Johnson, *The ten most beautiful experiments*. Vintage Books, 2014.
- [4] J.Shectman, *Groundbreaking scientific experiments, inventions, and discoveries of the 18th century*. Greenwood Press, 2003.