

MATEMÁTICAS Y ORDENADORES EN EL CONOCIMIENTO DEL MUNDO* (Parte I)

Manuel López Pellicer
E.T.S. de Ingenieros
Agrónomos de Valencia

En el *Congreso de París de 1900*, **David Hilbert** habló con el mismo optimismo que, en sus respectivas épocas, lo hubiesen hecho **Pitágoras**, **Arquímedes**, **Newton** o **Leibniz**. Las Matemáticas habían sido el motor de los descubrimientos físicos del siglo XIX; las ecuaciones obtenidas habían cambiado el mundo y ayudaban a su comprensión. Entonces entusiasma-ba a los matemáticos haber descu-bierto técnicas que, años o décadas después, resultaron ser exactamente lo que necesitaban los físicos para re-solver problemas del mundo real.

En 1900, **Hilbert** tal vez no pudo prever que la Geometría no euclídea serviría de base para la Teoría gravi-tatoria de **Einstein**, ni que su propia construcción de espacios abstractos, llamados hoy *Espacios de Hilbert*, se-ría la base matemática de la Mecánica Cuántica. Esta situación contrasta con la del siglo XVII, en que **Newton** se vio obligado a desarrollar por sí mismo el cálculo diferencial para ha-cer convincentes las conclusiones de los Principia, en tanto que a **Hilbert** le parecía que esfuerzos de este tipo ya no iban a ser necesarios pues las Ma-temáticas iban un poco por delante de la Física. Esto era debido a los tra-bajos de matemáticos (en su mayoría europeos) que, desde la invención del Cálculo diferencial por **Newton** y **Leibniz**, había convertido el cálculo en un potente instrumento para la re-solución de los problemas físicos. Otro gran avance fue la introducción de los números complejos, que am-pliaron la Aritmética tradicional al añadir las raíces cuadradas de núme-ros negativos, números no definidos hasta entonces. Destacan, entre mu-

chos, **Cauchy** y **Gauss** como respon-sables del avance del Cálculo.

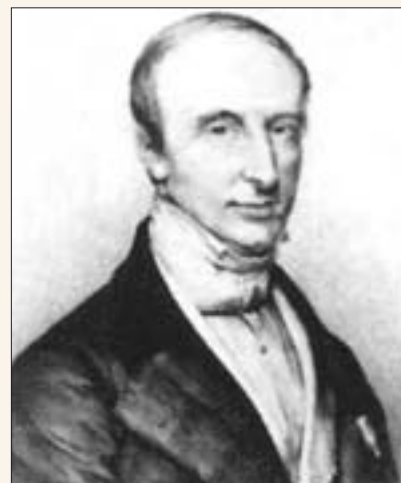
Tomamos 1900 como punto de referencia para describir algunos hi-tos científicos anteriores y, luego, adentrarnos un poco en el siglo pasa-do. Expondremos consideraciones fí-sicas pues Física y Matemáticas han caminado juntas. Tampoco renuncia-remos a detalles históricos, siempre estimulantes y necesarios para si-tuarnos en el contexto adecuado in-terpretando cómo nacieron al-gunas teorías.

DEL UNIVERSO DE PLATÓN AL DE NEWTON

Platón pidió que se estimulase el co-nocimiento científico de los movi-mientos y períodos de los cuerpos celestes. Así comenzó una revolución científica, que no se abrió paso por completo hasta la obra de **Newton** en el siglo XVII, debido a que los astró-nomos fueron muy lentos a la hora de interpretar correctamente lo que veían en el cielo nocturno.

Les parecía que el Sol, la Luna y las estrellas se comportaban impec-ablemente aparentando movimientos en círculos perfectos en torno a la Tierra. Las circunferencias eran con-sideradas *divinas* por su perfecta si-metría y eternas al no tener principio ni fin.

A los astrónomos les dejaban per-plejos cinco puntos de luz que parecían ir errantes de un punto a otro del cielo nocturno. **Platón** se espantaba y los astrónomos empezaron a llamar-les planetas, término griego que sig-nifica *vagabundo*. Tras dos décadas de esfuerzos para comprender sus movimientos, explicaron que los pla-netas giraban con mayor libertad so-bre esferas imaginarias. Dado que las esferas eran tan simétricas y tan ca-rentes de principio y fin como las cir-cunferencias, dedujeron que el movi-



Cauchy (1789-1857)



Gauss (1777-1855)

miento planetario era tan *divino* como el movimiento de la Luna, el Sol y las estrellas.

Aristóteles siguió manteniendo que los cuerpos celestes giraban so-bre esferas en torno a la Tierra y pro-puso que el Universo estaba dividido en dos regiones diferentes. La central o reino terrestre abarcaba la Tierra y su atmósfera. Más allá, desde la Luna en adelante, estaba lo que **Aristóteles** denominaba el *Reino celeste*.

Pensaba que el Reino terrestre consistía en cuatro elementos (tierra, fuego, aire y agua) y en cuatro cuali-dades esenciales, base de la realidad física, y ocultas en cualquier cosa te-rrestre: lo húmedo, lo seco, lo calien-te y lo frío.

Según **Aristóteles**, el Reino te-rrestre era corruptible y cambiante

* De la Rev. Real Academia. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Vol. 97, nº 2, 2003.



Hilbert (1862-1943)

porque los cuatro elementos básicos y sus cuatro cualidades eran corruptibles y cambiantes. Por ejemplo, si se calentaba agua, fría y húmeda, se convertía en aire, caliente y seco. Explicaba que los cuatro elementos terrestres tendían a moverse en línea recta, que es la más terrestre de todas las curvas, pues tiene extremos que simbolizan el nacimiento y la muerte.

El *Reino celeste* consistía en un quinto elemento incorruptible diferente denominado éter, y que en diferentes densidades formaba lo que había fuera del *Reino terrestre* (el Sol, la Luna, las estrellas, así como el espacio entre los diferentes cuerpos extra-terrestres).

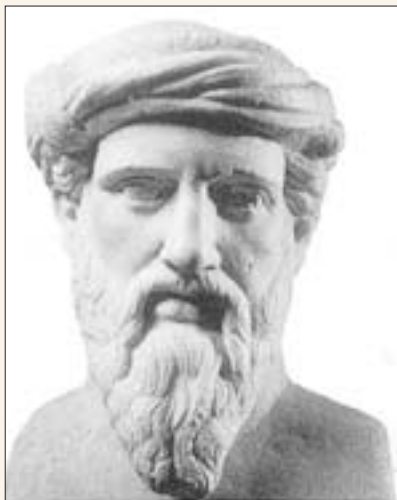
El Universo de **Aristóteles** era, hasta el último detalle, un *cosmos*, palabra griega que significa ordenación, belleza y decencia. Su teoría también satisfacía el principio de razón suficiente, que sostiene que, para



Newton (1647-1727)

cada efecto del Universo, debe existir una causa racional. En su opinión, los trozos de Tierra caían por su deseo de reunirse con su fuente primaria, la Tierra.

Aristóteles tenía una explicación plausible para que giraran las esferas celestes, indicando que cada una se veía barrida por un viento etéreo producido por la esfera inmediatamente superior, mientras que la esfera exterior la impulsaba el *primum mobile*, el movimiento primero.



Pitágoras (569-475 a. de C.)

Platón había relacionado la Religión y la Ciencia. Pensaba que la *disciplina que necesitamos para traernos la auténtica piedad es la Astronomía*. **Aristóteles** había casado Religión y Ciencia, consiguiendo que la Religión ampliase su dominio y que la Ciencia elevase su reputación, ya que, hasta entonces, se la consideraba como una empresa excéntrica de dudoso valor, preocupada por lo esotérico del mundo terrenal y por las abstracciones matemáticas.

Como muchos pueblos de lo que hoy llamamos el Mundo occidental hablaban latín y no griego, vivieron y murieron sin saber de la obra de **Aristóteles** y de su teoría del Universo. La admiración por la obra griega fue en aumento con la traducción de los textos griegos. El dominico **San Alberto Magno** escribió: “La más sublime sabiduría de la que el mundo puede ufarse floreció en Grecia. Así como los judíos sabían de Dios por las Escrituras, los filósofos paga-



Arquímedes (287-212 a. de C.)

nos le conocían por la sabiduría natural de la razón y le rendían homenaje por ello”.

El rabino **Maimónides** reconcilió la Cosmología de **Aristóteles** con el judaísmo y lo propio hicieron el filósofo **Averroes** con la religión del Islam y el dominico **Santo Tomás de Aquino** dentro del Cristianismo. El *primum mobile* se identificó con Dios y no con una divinidad de carácter genérico. Lo que **Aristóteles** unió en primer lugar, y que el tiempo y las diferencias de lenguaje habían reducido a pedazos, lo habían vuelto a unir los judíos, los musulmanes y luego los cristianos. Ciencia y Religión volvían a ir del brazo a lo largo del renacimiento de la Civilización occidental.

Entre 1347 y 1350, la peste eliminó una tercera parte de la población europea y muchos hombres que habían perdido a sus mujeres entraban en los monasterios. Bastantes eran



Leibniz (1646-1716)

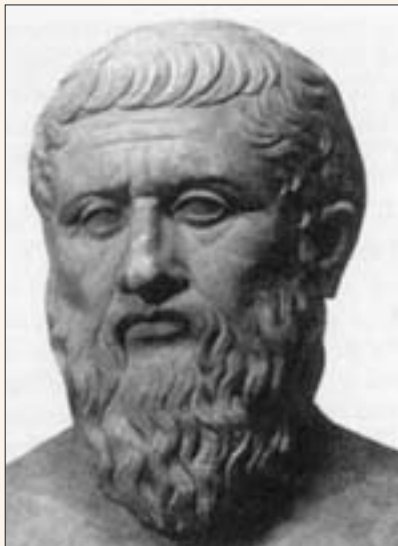
analfabetos y, según la amarga opinión del Papa **Clemente VI**, eran arrogantes, dados al fasto y descuidaban los caminos del Señor. La situación de abandono y debilidad de la Iglesia católica propició la reforma de **Martín Lutero** (1517) y, un poco más tarde, en 1543, el teólogo polaco **Nicolás Copérnico** desencadenó una revolución científico-religiosa exhortando el abandono de **Aristóteles** al defender que el centro del Universo era el Sol y no la Tierra.

Copérnico era un astrónomo aficionado que no tenía pruebas para defender sus argumentos. Creía que la teoría egocéntrica era tan complicada con los errantes debido a que estamos sobre la Tierra que gira sobre su eje y alrededor del Sol. Decía que, al tener en cuenta el nacimiento de la Tierra, los demás planetas describirían órbitas circulares. Unos cuantos filósofos griegos ya habían defendido versiones de heliocentrismo 2.000 años antes. Uno de ellos fue **Phidias**, padre de **Arquímedes**.

Los críticos a **Copérnico** indicaban que no se sentía que la Tierra se moviese. El prestigio de **Aristóteles** y la falta de evidencias físicas de la teoría copernicana fueron las causas de que los ámbitos religioso y científico siguiesen creyendo en los cielos de **Aristóteles**. El mismo **Lutero** ridiculizó a **Copérnico** por su heliocentrismo.

Pero en 1572 apareció una nueva estrella brillante, que astrónomos actuales piensan que pudo ser una supernova, y en 1577 nos visitó un cometa tan brillante que pudo verse en toda Europa a la luz del día. El astrónomo danés **Tycho Brahe** midió su paralaje¹, lo que le permitió deducir que estaba cuatro veces más lejos de nosotros que la Luna.

Esto contribuyó a que, en los años siguientes, la Ciencia se fuera haciendo más receptiva a la posibilidad de que **Aristóteles** estuviese equivocado y la Religión se puso más a la defensiva frente a los disidentes. Alrededor de 1600, el astrónomo alemán de 47 años **Johannes Kepler**, lu-



Platón (427-347 a. de C.)

terano y copernicano, estaba a punto de anunciar diversos descubrimientos que iban a rematar la tarea de **Brahe** en su descrédito de la teoría aristotélica del Universo. Kepler tenía 16 cuando su padre abandonó a su familia, dejándola en una pobreza total. Su madre estaba relacionada con la brujería, lo que puede explicar la afición de **Kepler** a la Astrología, de la que afirmaba que “*si los astrólogos dicen a veces la verdad debería atribuirse a la suerte*”. La afición astrológica de **Kepler** parecía motivada por la necesidad de ganarse la vida y cuidar de su madre.

Kepler había pasado veinte años descifrando las meticulosas observaciones de **Brahe** y cientos de horas observando los planetas e intentando discernir sus movimientos y posiciones, como en una ocasión animara **Platón** a hacer a sus compatriotas.

Dos milenios después, se había completado esa misión, pero el resultado en nada se parecía al previsto por **Platón** y **Aristóteles**. Los tres descubrimientos de **Kepler** fueron:

- Los planetas describen órbitas elípticas con el Sol ocupando uno de sus focos.

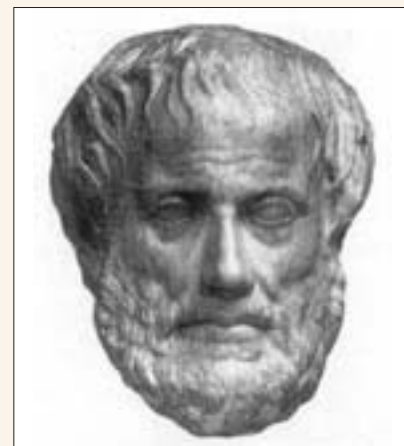
- Si **T** es la duración del año de un planeta y **d** el eje mayor de la elipse que describe en su movimiento, $T^2 = \text{constante} \cdot d^3$. Por eso **Mercurio** tiene un año que equivale a 88 días

nuestros, en tanto que la duración de un año de **Plutón** es de 90.410 días terrestres.

- Cada planeta no se mueve a velocidad constante, pues barre áreas iguales en tiempos iguales.

Kepler llegó a opinar que los planetas se mantienen en órbita gracias a una fuerza procedente del Sol.

Galileo, en Italia, comenzó su existencia como aristotélico declarado, pero en 1609 cambió de idea al mirar por un pequeño telescopio de fabricación propia con el que pudo ver lunas que giraban en torno a **Júpiter**, de la forma en que **Copérnico** había imaginado que la Luna giraba alrededor de la **Tierra**. También había observado que la Luna no era tan perfecta como **Aristóteles** la había imaginado pues observó unas manchas que parecían cráteres y otras zonas que parecían mares llenos de agua. En una de ellas, llamada *Mare Tranquillitatis*, es donde el hombre puso por vez primera el pie en la Luna. Hoy sabemos que no hay mares



Aristóteles (384-322 a. de C.)

en la Luna, si bien se han conservado los nombres inicialmente dados.

Galileo comprobó que las bolas pesadas no caen más deprisa que las ligeras al deslizarse por un plano inclinado, refutando la célebre teoría de **Aristóteles** de que los trozos de Tierra caían por su natural deseo de reunirse con su fuente primaria y que los objetos pesados caían con más rapidez que los ligeros.

1. Cuando se mira un objeto primero con el ojo derecho y luego con el izquierdo, parece cambiar de posición. Ese desplazamiento o paralaje disminuye cuando aumenta la distancia del objeto.



Copérnico (1474-1543)

Galileo tuvo que enfrentarse en 1633 a la Inquisición. A lo largo de un juicio de meses, manifestó que su creencia en el heliocentrismo siempre había sido académica, si bien no pudo negar que había desafiado la letra y el espíritu de una orden que se le había dado quince años atrás advirtiéndole que abandonase la opinión de **Copérnico**. Se le declaró culpable, exigiéndole que se retractara², a lo que cedió para evitar males mayores y, después del juicio, se le mantuvo en arresto domiciliario los ocho años que le quedaron de vida, durante los cuales quedó ciego por cataratas. Murió en 1642, año en el que nació **Isaac Newton**.

En otoño de 1642, el Parlamento inglés exigía al rey **Carlos I** que abandonara su control sobre la Iglesia y el Estado. Los rebeldes parlamentarios no deseaban que el Rey les gobernase a su voluntad y deseaban que fuese el pueblo quien se gobernase por medio de leyes dadas a sí mismo.

En respuesta a ese amotinamiento, **Carlos** había huido a Nottingham donde organizó un ejército bien equipado que avanzó hacia Londres y que en su primera batalla importante con las fuerzas parlamentarias terminó en retirada dejando 5.000 soldados muertos, entre los que estaba el padre de **Isaac Newton**, de 36 años, granjero, que acababa de heredar la granja más grande de Woolsthorpe. En la primavera de 1642, se había ca-

sado con **Hanna Ayscough** y esperaba su primer hijo, que nació el 25 de diciembre con todos los síntomas de no ser capaz de sobrevivir.

Conforme pasaban los días, el joven **Isaac** se aferraba a la vida si bien en sus primeros años tuvo necesidad de un collarín para mantener la cabeza en su sitio. Cuando **Newton** tenía dos años, su madre se casó con el reverendo **Barnabas Smith**, viudo rico que vivía a unos dos kilómetros, en **North Witham**, dejando a **Newton** al cuidado de su abuela. En 1649, comenzó a ir a la escuela, siendo muy retraído. Además, su debilidad de nacimiento le impedía participar en juegos agresivos.

En esos años fue importante la compañía de su tío, el reverendo **William Ayscough**, que vivía a tres kilómetros de él. Viendo estudiar a su tío pacíficamente en la biblioteca y oyéndole hablar dulcemente a sus parroquianos, el joven **Newton** asoció la vida religiosa y de estudio a un ambiente de paz y seguridad. Por ello, adquirió la costumbre de alejarse y entrar en sus propios pensamientos para sumergirse en el mundo natural. Así escapaba de su miserable existencia y descubría cosas interesantes en la Naturaleza. Se dio cuenta de que el arco iris siempre tiene los mismos colores, de que Venus se mueve más aprisa que Júpiter y de que los niños, al jugar al corro, se echan un poco hacia atrás como si los empujase una fuerza invisible.

Así descubrió **Newton** la felicidad por primera vez en su vida, lo que fue estropeado por el regreso de su madre en 1649 tras la muerte del reverendo **Barnabas**, con quien había tenido tres hijos. Su madre intentó explicarle que se había casado con **Barnabas** para asegurar el futuro económico pero no consiguió quitar la amargura que el abandono le había producido.

Había llegado el momento de que **Newton**, con sus 12 años, acudiera a la Escuela de Gramática de la ciudad de Grantham, a poco más de diez kilómetros, lo que hizo aconsejable que

su madre consiguiese alojamiento y manutención en casa de los **Clarke**, amigos de los **Newton** desde hacía mucho. La familia estaba compuesta por el señor **Clarke**, la señora **Storer-Clarke** y sus cuatro hijos de un matrimonio anterior, entre los que estaban un hijo altanero llamado **Arthur**, que se burlaba de **Newton** por su mal rendimiento en el colegio, y una hija, **Katherine**, de quien se enamoró, pero jamás le dijo nada por miedo a verse rechazado.

Los **Clarke** recibían con frecuencia invitados instruidos lo que, junto a la enorme colección de libros que guardaba el señor **Clarke** en el ático, contribuyó a que **Newton** comenzase el estudio de la Filosofía natural.



Brahe (1546-1601)

Naturalmente, se quedó atrás en sus estudios escolares hasta que un serio incidente con el pendeñero **Arthur** le hizo reaccionar y desear ser el mejor de la clase. Entonces, desgraciadamente, llegó su madre que se lo llevó para que ayudase en las tierras heredadas. Afortunadamente para la Ciencia, hizo tan mal el trabajo de granjero que su madre le devolvió a Grantham para continuar sus estudios. Ahora se mostró mucho más capaz en la escuela de Gramática, terminándola en sólo nueve meses y recibiendo al final una felicitación de su maestro, el señor **Stokes**, en el verano de 1661.

Con las recomendaciones del reverendo **Ayscough** y del señor

2. Puede consultarse el documento "Memoria y reconciliación: la Iglesia y las culpas del pasado" de Juan Pablo II de 31 de octubre de 1992.

Stokes, se le aceptó en el **Trinity College** de Cambridge, fundado en 1546 por **Enrique VIII**.

En 1660, los ingleses, hastiados de las severas normas puritanas, habían devuelto la Corona a **Carlos II**, hijo del rey decapitado. **Newton** llegó al Trinity College en plena celebración festiva por el nuevo Rey. En contraste tuvo que apretarse el cinturón pues su madre, aunque rica, le retiró su apoyo económico por lo que tuvo que matricularse como *subsizar*, nombre que se daba a los estudiantes pobres que hacían medio día de criados de estudiantes ricos para costearse sus estudios. Durante esa época, y por las noches, comenzó a experimentar. Llevaba un cuaderno de notas donde apuntaba sus experiencias y sus preguntas sobre un amplio especto, "*Sobre la luz y el color*", "*Sobre Dios*", "*Sobre la gravedad*",... Mientras el cerebro de **Newton** se apresuraba en su camino hacia adelante, bien nutrido y lleno de energía, su cuerpo comenzó a quedarse atrás y en 1664 se negó a seguir. La falta de sueño obligó a un **Newton** exhausto a guardar cama. Pudo hacer los exámenes finales y con pobres calificaciones obtuvo el título de bachiller en Artes. Intervinieron algunos profesores que adivinaban su potencia intelectual y se le dio una beca para obtener el título de máster.

Apenas comenzó el nuevo Curso, llegó a Cambridge la noticia de que la peste había hecho presa en Londres. En los veinte años anteriores se había duplicado la población de la ciudad, excediendo la capacidad de las infraestructuras sanitarias medievales. Se hablaba de que semanalmente morían 13.000 personas.

Ante el temor de que sucediese como en el siglo XIV y que la peste se extendiese por toda Europa, se decidió cerrar la Universidad y **Newton** regresó a Woolsthorpe con la intención de meditar lo aprendido. Así desentrañó los detalles de una nueva Matemática, que algún día se llamaría Cálculo, que sería la herramienta para describir con precisión el mundo natural. Empezó a preguntarse por qué caían los cuerpos hacia la superficie de la Tierra en línea recta, por qué no

caía la Luna hacia la Tierra si también sentía la atracción de la gravedad. Conjeturaba que se debía a la fuerza centrífuga de **Huygens** que la apartaba de la Tierra y que el equilibrio entre esa fuerza y la atracción de la Tierra podría explicar que la Luna se quedara en su órbita sin caer hacia la Tierra.

Después, describiría que esa fuerza centrífuga dependía de la masa que gira, de la distancia al centro de giro y de la velocidad mediante la expresión

$$\text{Fuerza centrífuga} = \frac{\text{Constante} \times m \times d}{T^2}$$

por lo que corresponde una fuerza centrífuga grande a una persona u objeto pesado que girase en el extremo de una cuerda larga en un tiempo corto, lo que junto a la segunda ley de **Kepler** le llevó a que

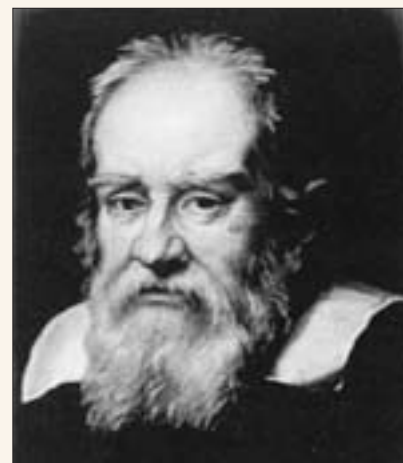
$$\begin{aligned} \text{Fuerza gravitatoria de la Tierra} &= \\ \text{Fuerza centrífuga de la Luna} &= \\ \text{constante} \times \frac{m}{d^2} \end{aligned}$$



Kepler (1571-1630)

En otras palabras: aquel año terrible de 1665, en medio de la peste, el joven **Newton** (23 años) llegó a un hermosísimo descubrimiento: La fuerza centrífuga que la Luna experimenta al girar en torno a la Tierra depende de dos cosas (dejando la constante aparte): la masa **m** de la Luna y la longitud de una cuerda imaginaria **d** que la conectara a la Tierra. En esa cuerda imaginaria se situaría el tirón de la fuerza gravitatoria de la Tierra que atrae a la Luna y la fuerza centrífuga de la Luna que actúa en sentido contrario.

También **Newton** amplió y refinó el trabajo de **Galileo** con bolas metálicas observando cómo se movían los objetos en respuesta a cualquier fuerza y no únicamente a la fuerza de la gravedad. Resumió sus observaciones en tres leyes o axiomas: El Principio de inercia, el Principio de acción y reacción y el Principio de independencia de fuerzas.



Galileo (1564-1642)

Tras la peste, volvió a Cambridge, Universidad que excluía de su docencia a quien no hiciese el juramento de lealtad, dado que entonces se prohibía ocupar ningún puesto público a quien rehusase recibir la comunión según los principios de la Iglesia de Inglaterra. **Barrow** había sido profesor de **Newton** antes de la peste. Al comprobar los conocimientos de **Newton**, tras la peste aceleró su retirada de la *Cátedra lucasiana*, promoviendo que poco después le sustituyese **Newton** cuyo prestigio fue aumentando recibiendo en 1672 el reconocimiento del rey **Carlos II**. A continuación, fue elegido miembro de la **Real Sociedad** de Londres. A tono con la tradición, el nuevo miembro que aún no había cumplido los 30 años, presentó un informe a la Sociedad de sus últimas investigaciones, que terminó en un enfrentamiento desastroso.

Hasta ese momento, los científicos, llamados *Filósofos de la Naturaleza*, habían creído que la luz blanca era absolutamente pura y que los colores conocidos se producían cuando la luz pura pasaba por algún medio que la alteraba. Así explicaban por



Barrow (1630-1677)

qué la luz blanca que pasaba por un prisma de vidrio producía todos los colores del arco iris. La parte que pasaba por la zona más estrecha del prisma con forma de cuña daba el rojo; la que pasaba por la parte más gruesa, el azul.

Newton había llegado a una conclusión completamente diferente al darse cuenta de que la luz coloreada que pasaba por cualquier parte del prisma seguía siendo del mismo color, por lo que pensaba que la inmutable y pura era la luz coloreada y no la blanca, que parecía estar compuesta por los demás colores. Presentó estos descubrimientos ante la **Real Sociedad**, creyendo, con poca modestia, que su afirmación era la más sorprendente y considerable hecha hasta entonces sobre los secretos de la Naturaleza. El diplomático secretario de la Sociedad, **Henry Oldenburg**, le dijo efusivamente que su informe



Newton (1643-1727)

había recibido una atención singular y una aprobación infrecuente.

Sin embargo, molestos por la importancia que se daba aquel joven desconocido y por la audacia de su teoría, un pequeño número de miembros de la Sociedad, dirigidos por **Robert Hooke**, había saludado la publicación con escarnio singular. La crítica científica estaba al orden del día y no había que tomarla como algo personal. Los *Filósofos de la Naturaleza* pretendían crear una jungla intelectual en la que sólo sobreviviesen las ideas más aptas. Además, en este caso, **Hooke** se había mostrado ansioso en desacreditar a **Newton** dado que en 1665 había publicado su exitoso libro *Micrografía*, con una elocuente defensa de la teoría ortodoxa de los colores, por lo que no podía permitir que su libro quedase viciado por la hipótesis atolondrada de un principiante soberbio.

Los ataques de **Hooke** crisparon a **Newton**, que enfermó, se sintió acorralado y llegó a odiar a **Hooke**. Abandonó la Real Sociedad, argumentando la lejanía a Cambridge, y decidió no volver a publicar jamás ningún trabajo.

La dirección del pensamiento de **Newton** cambió al recibir una carta de su viejo enemigo **Robert Hooke**. Sin que **Newton** lo supiera, **Hooke** había llegado a admirar los avances de **Newton**, no exento de cierta envidia, y quería la opinión de **Newton** sobre una nueva idea.

La carta indicaba que había pensado mucho en las órbitas elípticas de **Kepler** y que había llegado a la conclusión de que las órbitas las originaba una fuerza gravitatoria que se debilitaba con el cuadrado de la distancia. Explicaba **Hooke** que había llegado a esa conclusión imaginando que la Tierra era una fuente de luz y que **Kepler** había descubierto hacía un siglo que el brillo disminuía con el cuadrado de la distancia a la fuente luminosa. Debió producirle cierta sonrisa a **Newton** que **Hooke** hubiese dado con la verdad pero no le importaba pues él se encontraba mucho más lejos.

En los días siguientes, aunque había desechado la carta de **Hooke**,

Newton comenzó a dar vueltas a los cabos sueltos que le quedaban en sus esfuerzos de 1665. Sobre todo le preocupaba la causa del campo gravitatorio de la Tierra. El principio de razón suficiente le exigía una respuesta. Desechó la teoría del torbellino de **Descartes**, pues, de ser cierta, una manzana no caería hacia la Tierra en línea recta. Lo que parecía es como si el centro de la manzana se sintiese atraído por el centro de la Tierra. Entonces comenzó a preguntarse qué sucedería si la Tierra se redujese al tamaño de una partícula diminuta y lo mismo sucediese con la manzana. Se admitía que la manzana caía hacia la Tierra por ser mucho más pequeña, pero, reduciendo la situación a dos partículas de igual tamaño, era imposible seguir pensando que la partícula manzana cayese hacia la partícula Tierra sin que ésta se moviese lo más mínimo.

Era más razonable suponer que las dos partículas se atraían. Es decir, **Newton** había descubierto que la gravedad de la Tierra no pertenece exclusivamente a la Tierra y que la gravedad es la fuerza de atracción entre todas las partículas de la materia.

La ecuación original de la gravitación de **Newton** estaba formulada bajo la idea de que la gravedad de la Tierra era una fuerza unilateral, de manera que la ecuación sólo contenía una referencia a la masa del objeto que se veía atraído hacia la Tierra. Al reconocer que la gravedad es una fuerza mutua, la ecuación necesitaba una referencia explícita hacia la masa de la Tierra que el objeto también atrae hacia sí. Por ello, junto a m , que representa la masa del objeto, **Newton** añadió una M , que representa la masa de la Tierra obteniendo la ecuación

$$\text{Fuerza gravitatoria} = \frac{\text{Constante} \times M \times m}{d^2}$$

En los años siguientes, los experimentos científicos determinarían el valor de esa constante con enorme precisión y, en recuerdo a **Newton**, pasó a llamarse *Constante gravitatoria G* de **Newton**, quedando la fórmula:

$$\text{Fuerza gravitatoria} = \frac{G \times M \times m}{d^2}$$

Algunos años después, **Newton** volvió a recibir otra carta de **Hooke**, en esa época secretario de la **Real Sociedad**. **Hooke** había oído hablar de la ecuación gravitatoria de **Newton** y quería asegurar haber sido el primero en considerar el cuadrado de la distancia. Como prueba le recordaba a **Newton** la carta que le había enviado años atrás.

Entonces **Newton** se concentró en la redacción de sus aportaciones científicas, con el estímulo del astrónomo **Edmund Halley**, quien había quedado sorprendido de que la ecuación gravitatoria de **Newton** hubiese probado que el cometa que había aparecido en 1682 era el mismo que **Kepler** vio en 1607, deduciendo que este cometa estaba en órbita en nuestro sistema planetario y que pasaba cerca de la Tierra cada 76 años, aproximadamente. Desde la época de **Kepler**, se había creído erróneamente que los cometas viajaban en línea recta, que pasaban por la Tierra una vez y que nunca reaparecían.

Gracias a **Halley** y a la bendición de la Real Sociedad, **Newton** llegó a comunicar todos sus conocimientos al mundo del que había vivido tan alejado. En 1687 publicó la obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, que, con la unión de Matemáticas y experimentación, transformó la Filosofía natural en una Ciencia de la Naturaleza. Dejó fuera del *Principia* sus ideas sobre la luz, que no las publicó hasta la muerte de **Hooke**, para evitar así discusiones y reservarse el derecho a decir la última palabra.

Después de veinte siglos, la teoría de la gravedad de **Newton** había pulverizado la teoría de los cielos de **Aristóteles**. Según la nueva visión, el Universo no estaba segregado en dos reinos separados, sino que sólo había un Universo regido por la **ecuación de la gravedad**. **Newton** desveló que buena parte de lo que el Universo había sido, es y será, es el resultado de una infinidad de partículas materiales que tiran unas de otras simultáneamente.

En 1634, se publicó *Somnium* (*Sueño*), obra póstuma de **Johannes Kepler**, tal vez la primera obra de ciencia ficción de la Historia. Descri-

be a un muchacho que viaja a la Luna con la ayuda sobrenatural de un demonio amistoso, conjurado por una bruja, la madre del chico. Tal vez esta historia inspirase al francés **Julio Verne** quien, en 1865 y en su novela *De la Tierra a la Luna*, describió un viaje con detalles proféticos. Tres hombres hacían el largo viaje dentro de una enorme bala de aluminio disparada por un cañón de hierro de 275 metros de longitud situado en Trampa (Florida).

Un siglo después, la **NASA** planeaba enviar tres hombres a la Luna en el interior de lo que equivaldría a una enorme bala de titanio disparada desde una rampa de lanzamiento en Cabo Cañaveral a 160 kilómetros al Este de Trampa. Los astronautas no saldrían disparados de un cañón sino que irían en lo alto del *Saturno V*, un cohete de 110 metros de longitud alimentado por combustible líquido. Es-



Halley (1656-1742)

te observatorio lo había fundado en 1894 el excéntrico rico **Percival Lowell**, que deseaba tener un telescopio para buscar vida en *Marte*. No encontró ningún marciano pero su observatorio se convirtió en uno de los más prestigiosos del país para estudiar el sistema solar.

Cuando se inauguró el observatorio Lowell, se creía que el sistema solar estaba formado por la Tierra, los cinco planetas que conoció **Copérnico**, más *Urano* y *Neptuno*, descubiertos después.

Los astrónomos habían observado que la órbita de *Urano* no era perfectamente elíptica y que violaba una de las leyes de **Kepler**. Ello llevó a muchos, entre ellos a **Lowell**, a atribuir esas aberraciones a un planeta cercano aún sin descubrir.

Con la ecuación gravitatoria de **Newton** y su telescopio, **Lowell** predijo la localización del hipotético nuevo planeta. Tras su muerte, su ayudante **Clyde Tombaugh** lo encontró en 1930, muy cerca del sitio predicho. Los astrónomos lo bautizaron como *Plutón*.

En 1969, la ecuación de **Newton** representó un papel crucial en el envío de astronautas a la Luna. Podemos decir que **Newton** nos proporcionó el medio matemático para descubrir el camino a la Luna.

Durante años, los astrónomos habían calculado con tanta precisión la órbita lunar que los científicos de la **NASA** podían saber en qué lugar estaría en cada momento su blanco lunar. El cálculo de la disminución de la gravedad de la Tierra en todos los puntos de su camino hacia la Luna permitió determinar el tamaño del cohete. Se eligió Cabo Cañaveral para proporcionar un 5% más de impulso a la nave, ya que los cuerpos reciben mayor fuerza centrífuga al acercarse al Ecuador, debiendo lanzarse a favor del giro de la Tierra, lo que se pudo hacer con seguridad ya que al este de Cabo Cañaveral sólo estaban el océano Atlántico y unas islas poco pobladas.

Era necesario calcular la mejor ruta hacia la Luna, para lo que la **NASA** creó la *División de Análisis y Planificación de la Misión* con sede en Houston. Este Centro disponía en 1969 de casi un millar de científicos e ingenieros. Este trabajo era complicado dado que exigía la aplicación de la ecuación de **Newton** a tres objetos, la Tierra, la Luna y la nave espacial. Este problema se llama el *Problema de los tres cuerpos*. Al avanzar la nave, cambian las distancias de la nave a la Tierra y a la Luna, variando las atracciones gravitatorias entre ella y los otros dos cuerpos. Al aplicar la ecuación de **Newton** a tres sólidos, lo máximo que se podía hacer es dar una respuesta aproximada, que exigía la ayuda de ordenadores. Con ayuda de muchos ordenadores **IBM** de finales de los 60 se pudo calcular la ruta de acceso a la Luna más segura y que necesitase menos combustible. Tenía forma de ocho para posibilitar el giro alrededor de la Luna y el regreso a la

Tierra en caso de que hubiese que abortar la operación en el último momento. La ecuación de **Newton** predecía que, en tal emergencia, no se requería más combustible, pues el tirón gravitatorio de la Luna haría orbitar la nave lanzándola a la pista de retorno del ocho previsto.

El 16 de junio comenzó el viaje. Al pasar las nubes, el cohete empezó a girar para impedir que cabeceara y se saliera de su curso, utilizando la misma razón física que mantiene erguida una peonza que gira. En principio, los astronautas avanzaron a 40.000 km/h, luchando contra la gravedad de la Tierra como si se viajase cuesta arriba. Sin embargo, a dos terceras partes del camino, a 350.000 km de la Tierra, la nave espacial empezó a acelerarse dado que se había llegado al punto en que la gravedad de la Luna superaba a la de la Tierra. El 20 de julio a las 15:18, hora de Houston, terminó el viaje en el *Mar de la Tranquilidad*. Poco después, **Neil Armstrong** pasearía por la Luna diciendo: “*Esto es un pequeño paso para un hombre, pero un paso gigante para la Humanidad*”.

LAS MATEMÁTICAS Y LA ECUACIÓN DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En 1791, el mundo pasaba por las angustias de la lucha de clases con una intensidad nunca vista. La gente deseaba mejorar su posición social revelándose contra el *statu quo*. En el Nuevo Mundo, los colonos norteamericanos habían redactado una *Declaración de Independencia* librándose de Gran Bretaña. En el Viejo Mundo, después de que los ciudadanos franceses de las clases bajas hubiesen tomado la **Prisión de la Bastilla** en París, **Luis XVI** accedió a sus pretensiones firmando una *Declaración de los Derechos del Hombre*.

Además, y en esa misma época, las clases trabajadoras de Norteamérica y Europa tenían que adaptarse a las exigencias de la Revolución Industrial, que afectaba incluso a quienes vivían lejos de los grandes centros industriales. **James y Margaret Faraday** vivían en el campo y James había trabajado arduamente desde su

niñez para convertirse en un consumado herrero. En 1791, sus obras soberbiamente forjadas se habían devaluado sin parar por la mejora creciente de los productos hechos a máquina.

Para encontrar más trabajo, **James y Margaret** se trasladaron a Newington, pueblo cercano a Londres, dada su necesidad desesperada de ganar más dinero. El 22 de septiembre les nació un nuevo hijo, **Michael**. Los **Faraday** eran devotos miembros de la secta cristiana de los sandemanianos, que hacían hincapié en la fe infantil y sencilla. Respecto a su educación, el mismo **Michael** dejaría escrito que fue de lo más corriente, consistiendo en rudimentos de lectura, escrituras y Aritmética.



Faraday (1791-1867)

Conforme la Revolución Industrial aumentaba, la automatización daba posibilidades de trabajo para obreros no especializados, personas pobres carentes de formación como **Michael Faraday**, quien tomó una decisión que marcaría su vida: decidió convertirse en el nuevo chico de los recados de una librería regentada por **George Riebau**, lo que sólo le exigía deambular por la vecindad, a lo que estaba bien acostumbrado. Prefirió este trabajo al de los peligrosos talleres que explotaban al obrero y que surgían por la ciudad.

Ese empleo era deseable por otro motivo. La tasa de alfabetización estaba subiendo por la Europa industrializada por el abaratamiento en la producción y distribución de libros. La gente compraba más libros que nunca y el joven **Faraday** se mantenía

ocupado e intrigado por el interés de la gente hacia la palabra impresa, lo que provocó su cambio de actitud hacia la lectura. Además, **Faraday** se sintió atraído al ver cómo se cosían los textos para formar libros en la trastienda de **Riebau**, por lo que decidió convertirse en aprendiz de encuadernador, dejando por primera vez las calles a sus catorce años. Así, en los siete años siguientes llegó hasta él una completa biblioteca de libros de todo el mundo.

Mientras cosía la última edición de la *Enciclopedia Británica*, leyó la entrada sobre la Electricidad de la página 127 y se enteró de que, aunque los filósofos de la Naturaleza conocían aquel fenómeno desde hacía siglos, aún no habían logrado saber en qué consistía. El joven sandemaniano pensó que, en tanto la Electricidad siguiese siendo enigmática, nadie tendría una comprensión adecuada de Dios. **Faraday** pensó que aquello era intolerable y decidió contribuir a remediar la situación. Educado en la creencia de la simplicidad fundamental de la relación humana con Dios, **Faraday** dudaba que la Electricidad fuera tan complicada. El Londres de la época ofrecía a aquel joven oportunidades para averiguarlo por sí solo.

Los logros de la Revolución Industrial habían provocado tal interés por la Ciencia y la tecnología que los *Filósofos de la Naturaleza* habían comenzado a escribir artículos en revistas populares y libros de divulgación, así como a dar lecciones dedicadas al público en general.

Faraday disfrutaba con los libros que tenía libremente pero no tenía dinero para adquirir entradas para las Conferencias públicas y, sobre todo, para las que daba **Humphry Davy**, famoso químico y director de la **Real Institución** de Londres, que era un club aristocrático cuyos miembros nunca se hubiesen dignado codearse con gente de tan baja clase como **Michael Faraday**. Más elitista aún era la **Real Sociedad**. La Ciencia entonces no era una profesión remunerada y los únicos que podían cultivarla eran los muy ricos. El deseo de **Faraday** de convertirse en un científico era parecido al del pobre que desea ser

príncipe. No obstante, y con el permiso de **Riebau**, **Faraday** convirtió parte de la trastienda en un laboratorio improvisado donde, después de la jornada laboral, realizaba sus experiencias, anotando cuidadosamente los resultados, lo que le hacía sentirse Filósofo de la Naturaleza.

En 1810 se unió a un grupo de trabajadores que aspiraba a mejorar su situación en la vida. Los miércoles, a las 8 de la tarde y con el permiso de **Riebau**, abandonaba el trabajo y caminaba hasta la casa de un maestro de Ciencia llamado **John Tatum**. **Faraday** nunca se había sentido tan realizado como en esa época, pero enfermó su padre y fueron inútiles los esfuerzos por salvarle. Sobre **Michael Faraday** recayó el peso de ayudar en la manutención de su madre y hermanos. En 1812 se desvanecían sus sueños de ser *Filósofo de la Naturaleza*. Cuando el invierno tocaba a su fin, **Dance Junr** entró en la librería, vio el recargado libro que **Faraday** había confeccionado con sus notas sobre las Conferencias de **Tatum** y se lo llevó prestado unas semanas, tras las cuales lo devolvió con unas entradas para la próxima serie de Conferencias que iba a dar **Humphry Davy** en la **Real Institución**.

Fue el 28 de febrero de 1812 cuando, a las 8 de la tarde, **Faraday** enardecido y entusiasmado, oyó la primera conferencia de **Davy**. Cuando terminó, había llenado muchas páginas de notas e ilustraciones. Fue una velada memorable acrecentada por el rumor de que iba a ser la última tanda de conferencias de **Davy**. Camino hacia casa, **Faraday** pensaba que le quedaban ocho meses de aprendiz y que se había comprometido a trabajar de oficial para el encuadernador francés **Henri de la Roche**. El sueldo sería suficiente para él y su madre viuda, pero ese trabajo no le hacía feliz y, además, **Roche** tenía carácter agrio y le había dicho que no iba a permitir los sueños científicos de Faraday como había hecho durante muchos años **Riebau**. **Faraday** deseaba llamar la atención de **Davy**. En los meses siguientes, mientras oyó las restantes Conferencias, se le ocurrió la idea de copiar de nuevo las conferen-

cias, encuadernarlas exquisitamente y regalárselas a **Davy** de forma que necesariamente **Davy** tuviese que fijarse en el libro y en su autor. **Faraday** pensaba que, así como el cuaderno de apuntes de **Tatum** le había llevado a la **Real Institución**, tal vez el libro que iba a confeccionar le proporcionase allí un trabajo.

Sus planes se vieron truncados por el hecho de que la reina **Victoria** había nombrado caballero a **Davy**, desposado con una viuda rica. La pareja estaba de viaje en Escocia y volvería hacia finales de año. Desesperado, **Faraday** escribió a **Joseph Banks**, presidente de la **Real Sociedad**, pidiéndole ayuda pero no recibió respuesta. En diciembre, **Davy** y su esposa volvieron a Londres y **Faraday** le envió sus apuntes de Conferencias. El 24 de diciembre, un lacayo elegantemente vestido apareció en el 18 de Weymouth Street para entregar una carta de **Davy** en la ruinosa casa de los **Faraday** en la que le decía que tenía que ausentarse de la ciudad y que volvería a finales de enero, y que entonces podría ver a **Faraday**. El día del encuentro fue desolador para **Faraday**, pues **Davy** le aclaró que no tenía ningún trabajo que ofrecerle y que **Faraday** haría muy bien de conservar su puesto actual de encuadernador.

Pero, a las pocas semanas de la visita de **Faraday**, el ayudante de **Davy** tuvo un intercambio de golpes con otro empleado de la **Real Institución**. Fue despedido y el 1 de marzo otra vez el lacayo llamó a la puerta de **Faraday** para ofrecerle el puesto de trabajo de ayudante de **Davy**, que aceptó aunque de la **Roche** le había prometido que, al no tener hijos, le iba a nombrar heredero universal de todo lo que tenía si seguía trabajando con él.

En 1814, **Davy** invitó a **Faraday** a acompañarle en un viaje como ayudante de laboratorio. Las guerras napoleónicas hacían peligroso el viaje y el ayuda de cámara de **Davy** se despi-



Ampère (1775-1836)

dió en el último momento, por lo que **Davy** pidió a **Faraday** que hiciese también de ayuda de cámara. Durante el viaje, **Faraday** tuvo que soportar menosprecios y humillaciones de la esposa de **Davy**, y, como nota muy positiva, conoció a alguno de los mejores científicos de Europa, como **Volta** y **Ampère**, prodigioso

parisino que asombraba por sus habilidades matemáticas. Eran los científicos que llevaba años leyendo en la trastienda de **Riebau**. “En el viaje”, confesaría más tarde, “he aprendido lo suficiente para darme cuenta de mi ignorancia”. A la vuelta, **Davy** le nombró superintendente de aparatos y ayudante del laboratorio y de la colección de minerales. En los años siguientes, **Faraday** realizó muchos experimentos con la misma paciencia y precisión con que antes encuadernaba libros. Siempre se negaba a creer un fenómeno hasta que lo hubiese experimentado por sí mismo. “El filósofo, decía, debe ser un hombre que atienda a todas las sugerencias, pero decidido a juzgar por sí mismo. La verdad debe ser su primer objetivo. Guardarse de los errores exige humildad mental, preparación e independencia”.

Practicando lo que predicaba, el joven **Faraday** se ganó una buena posición en la **Real Institución** de manera que nunca más tuvo que volver a encuadernar. Se quiso concentrar en su sueño de desmitificar el fenómeno de la electricidad, de lo que parecía estar cerca el físico danés Hans Orsted, quien en 1820 había descubierto que una corriente eléctrica hacía que la aguja de la brújula se moviera lentamente como si la propia corriente se comportase como un imán. Pocos meses después, **Ampère** y **Arago** descubrieron que una corriente eléctrica en forma de sacacorchos se comportaba como un imán, atrayendo limaduras de hierro, por lo que le llamaron electroimán. En los dos siglos anteriores ya se habían descubierto similitudes entre electri-

cidad y magnetismo: **Coulomb** había comprobado que ambos campos se debilitaban con la distancia de la misma manera y tenían dos caras repeliendo unos objetos y atrayendo otros.

Faraday pensaba que los descubrimientos de **Örsted**, **Ampère** y **Arago** revelaban que Electricidad y Magnetismo eran fuerzas intercambiables. **Faraday** conjeturó que, al igual que una corriente de aire caliente se convertía a veces en torbellino, una corriente de electricidad podía ocasionar vientos espirales de magnetismo ocasionando una pequeña rotación de una brújula cercana. En septiembre de 1821 lastró uno de los polos de una barra imantada que la colocó en un recipiente de mercurio en el que flotaba verticalmente, como si se tratase de una pequeña boya, puso un cable vertical en el centro del recipiente e hizo pasar una corriente eléctrica de abajo hacia arriba. La pequeña boya comenzó a girar en torno al alambre en sentido contrario a las agujas del reloj. **Faraday** acababa de



Arago (1786-1853)

crear el primer motor eléctrico del mundo, que refinarían los ingenieros en los años siguientes llegando a sobrepasar a las máquinas movidas por vapor, en cuanto fue posible disponer de abundante energía eléctrica.

Faraday sufrió los rumores, acompañados del silencio celoso de **Davy**, de que había copiado el motor eléctrico de **Wollaston**, uno de los administradores de la **Real Institución**, lo que quedó desmentido tras una conversación con el propio **Wollaston**, quien nada había tenido que ver con la infamia. Luego consiguió licuar el cloro y dejó el artículo a



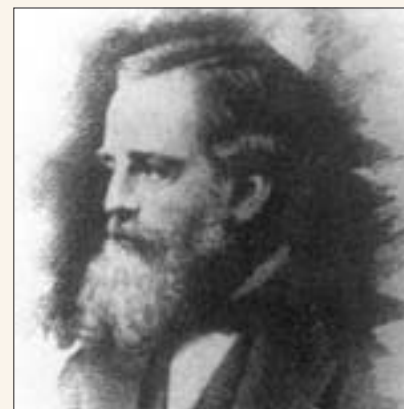
Coulomb (1736-1806)

Davy para que hiciese las oportunas correcciones, que fueron de tal naturaleza que dejó la redacción en una forma que parecía que era **Davis** quien había dado todas las ideas. El 8 de julio de 1824, **Faraday** fue elegido miembro de la **Real Sociedad**. En la votación todas las bolas fueron blancas, salvo una negra de **Davis**.

El año siguiente, 1825, consiguió el máximo logro de su carrera. Sabía que la Electricidad podía producir Magnetismo y se preguntaba *¿por qué no habría de ser cierta la inversa... por qué el magnetismo no habría de producir electricidad?* El 29 de agosto de 1831 descubrió un filón: Comenzó por arrollar un trozo largo de alambre en torno a media rosquilla de hierro, haciendo luego lo mismo en torno a la otra media rosquilla, colocada justamente enfrente. Pensó que, si pasaba corriente eléctrica por el primer arrollamiento de alambre, se produciría un campo magnético a través de toda la rosquilla, que produciría corriente eléctrica en el otro arrollamiento de alambre. Sólo se produjo corriente eléctrica al conectar y desconectar la corriente eléctrica, lo que le llevó a concluir que sólo se induce corriente eléctrica cuando aumenta o disminuye el campo magnético. En 1831 sintetizó así su descubrimiento: *"Siempre que una fuerza magnética aumenta o disminuye produce electricidad; a mayor rapidez de aumento o de disminución, mayor cantidad de electricidad se produce"*, sencilla ley que contribuyó a cambiar nuestro mundo, pues, por ejemplo, en 1812, después de firmar la paz en la Guerra de la Independencia de los Estados Unidos, soldados norteamericanos e ingleses siguieron luchando dos semanas por la lentitud en que se

transmitió el acuerdo de paz. En 1844 se inventó el telégrafo y, cuando un emisor pulsaba una tecla, viajaba por el cable una corriente eléctrica que ponía en marcha un pequeño electroimán en el receptor. Cuando, el 9 de abril de 1865, **Robert E. Lee** se rindió a **Ulises S. Grant** en la guerra entre el Norte y el Sur, el acuerdo de paz se pudo transmitir con gran rapidez.

Faraday, con poca formación matemática, no pudo dar la ecuación de su descubrimiento. Además pensaba que sólo importan los hechos de los experimentos bien realizados expresados en inglés simple y llano. Tres décadas después, en 1865, **James Clerk Maxwell** publicó su gran obra *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* en la que tradujo el descubrimiento de **Faraday** a la ecuación.



Maxwell (1831-1879)

$$\Delta xE = \frac{\partial B}{\partial t}$$

Faraday, con su visión poética, simple, del mundo había ayudado a unificar los campos eléctrico y magnético. **Maxwell** formalizó su relación y surgió el electromagnetismo. Además, su discernimiento de un gran secreto del mundo natural dio paso a la Era de la electricidad. La electricidad y las bombillas de **Thomas A. Edison** iluminarían las calles y los hogares de todo el mundo. El 25 de agosto de 1867, falleció **Faraday** habiendo rehusado el honor que le ofreció la reina Victoria de ser enterrado junto a **Newton** en la Abadía de Westminster optando por un funeral sencillo y simple. ■

(Conclusión en el próximo número)