

Electroterapia: datos para una historia (I)

J. Maya Martin. *Profesor Titular de Fisioterapia. Universidad de Sevilla*

J. Rebollo Roldan. *Profesor Titular de Fisioterapia. Universidad de Sevilla*

A. Iglesias Alonso. *Profesor asociado. Area de Fisioterapia. Universidad de Cadiz*

RESUMEN

Mediante el presente trabajo exponemos, distribuidos en varios capítulos, un conjunto de datos que consideramos importantes a la hora de conocer la evolución que han seguido los conocimientos sobre la electroterapia. Desde los orígenes del descubrimiento de la electricidad hasta el uso terapéutico de la misma (no solo de forma directa, sino también de aquellos procedimientos en los que esta se transforma en otras clases de energías, como la luz, los ultrasonidos, los campos magnéticos, etc.), presentamos estos guiones totalmente abiertos a la investigación, pues nuestra intención no es otra que ir aportando elementos, a modo de pilares que nos sirvan para la construcción de una historia de la electroterapia, en el conjunto de la Fisioterapia en particular y de las ciencias de la salud en general.

Palabras clave: Electroterapia, Fisioterapia, historia.

ABSTRACT

In this piece of work we expound, throughout several chapters, data which we consider important to understand the evolution of knowledge of electrotherapy. From the origins of the discovery of electricity, to its use as a therapy (not only directly but also through procedures where it is transformed into other types of energy, such as light, ultrasound, magnetic fields, etc.), we offer guidelines which are open to investigation since our only intention is to contribute elements, like pillars which can be used to construct a history of electrotherapy, within Physiotherapy in particular and health science in general.

Keywords: Electrotherapy, Physiotherapy, history.

INTRODUCCIÓN

El hombre, en su intento por dominar las fuerzas de la naturaleza y ponerlas a su servicio, ha caminado en constante progreso.

Con el comienzo de la revolución industrial a finales del siglo xvm, el pulso de la historia se acelera, el científico penetra cada vez más y mejor en los secretos de la ciencia, crece el ritmo evolutivo de la técnica.

Hoy día estamos inmersos en este mundo tecnológico y sentimos un impulso nato por conocer la cultura científica que lo mueve. Estamos rodeados de aparatos e instrumentos que funcionan con energía eléctrica. Nosotros mismos nos movemos, nos relacionamos, vivimos gracias a estímulos, a impulsos, a fenómenos eléctricos en definitiva.

La palabra *electroterapia* se compone de la forma prefijada *electro*, del latín *electrum*, y éste del griego *élektron* (ámbar, electricidad), y de la forma sufija *terapia* (tratamiento), del griego *therapeutiké*, terminación femenina de *therapeutikos*. Etimológicamente, pues, *electroterapia* significa la utilización de la electricidad como agente terapéutico. Como definición se podría decir que la *electroterapia* es la rama de la Fisioterapia que utiliza los efectos biológicos, fisiológicos y físicos de las corrientes eléctricas, reuniéndose bajo este concepto y en un sentido amplio, no sólo los métodos de tratamiento en que se emplea la corriente eléctrica misma directamente, sino también aquellos métodos terapéuticos donde la electricidad se transforma previamente en otras clases de energía, como la luz, los ultrasonidos, los campos magnéticos, etc.

En el transcurso de estos últimos siglos, grandes o pequeñas teorías científicas, trascendentales o casi inadvertidos descubrimientos, han contribuido, mediante su aplicación práctica en cada momento, al desarrollo de la electroterapia.

Intentar contestar a preguntas tales como ¿cuál es el origen de la electroterapia?, ¿cómo ha evolucionado?, ¿qué métodos se han utilizado?, ¿cuándo se adscribe a la Fisioterapia? y otras similares, constituye el objeto de estos guiones, que presentamos totalmente abiertos a la investigación, como forma de ir aportando pilares para la construcción de la historia de la electroterapia, la Fisioterapia y las ciencias de la salud.

DESCUBRIMIENTO DE LA ELECTRICIDAD. ORIGEN DE CONCEPTOS

Los antiguos conocían la existencia de efectos eléctricos, magnéticos y ópticos, aunque hubo poca investigación sistemática hasta el final de la Edad Media. Curiosamente, porque se tiende a considerar la electrostática como la rama más sencilla y la más fundamental del campo, las primeras investigaciones importantes se hicieron sobre el magnetismo, sin duda estimulado por las propiedades curiosas y útiles de la brújula magnética. Existen dudas sobre dónde se originó este instrumento, pero se conocía en Inglaterra ya en el siglo XII y no se consideraba una novedad en ese tiempo.

En el año 1187 se produce la primera referencia escrita sobre el magnetismo por el británico Alexander Neckham (1157-1217), abad Agustino de Cirencester (Gloucestershire) y anteriormente profesor en Oxford. En este año aparece su libro titulado *De utensilibus*, donde describe el uso de la brújula marina (habla de una aguja, llevada a bordo del buque, que mostró a los marineros su curso cuando la estrella Polar se ocultó). En otro libro, *De naturis rerum*, donde recoge la información científica de la antigua Grecia y de los países del Islam, en su capítulo 98, describe nuevamente y de forma más pormenorizada el uso de la brújula marina. Este monje, en sus libros, habla del magnetismo sin nombrarlo como algo nuevo.

La referencia más importante, y la primera observación que tiene que ver con la noción moderna del magnetismo, ocurrió casi un siglo después. En 1269, Carlos de Anjou asedió la ciudad de Lucera en la región de Apulia (Italia). En las afueras de la ciudad, el 8 de agosto, estaba el soldado y «matemático perfecto», Pierre de Maricourt de Picardie, llamado *Peregrinus* porque había participado en las cruzadas. El soldado monje estaba es-

cribiendo una carta a su amigo Sigerus, *Epistola ad Sigerum de Foucaucourt militem de magnete*, sobre cómo construir una máquina de movimiento perpetuo con un imán natural. En su carta expuso los principios de la investigación experimental y describió por primera vez una brújula con aguja montada sobre un pivote (el prototipo de muchos instrumentos de medición eléctrica). Nombró, de manera incorrecta pero permanente, los extremos de las agujas o polos de un imán y sugirió la conversión de la energía magnética en energía mecánica, ¿un motor eléctrico? Tan notable como su contenido fue el hecho de que la carta se conservara y de que sus ideas fueran muy difundidas dos siglos antes de la invención de la tipografía móvil.

Posteriormente, en la región de Picardie, cogió un imán natural, o piedra imán, esférico, puso encima una aguja magnética y marcó en la esfera la línea que señalaba la aguja cuando se colocaba en distintas partes de la esfera. Encontró que cuando se había marcado la piedra entera, las líneas formaban un conjunto de meridianos de longitud que pasaban por dos puntos situados en los extremos opuestos de la piedra, igual que los meridianos de longitud de la superficie de la tierra pasan por sus polos norte y sur. De Maricourt llamó a estos puntos polos magnéticos y observó que la dirección que señalaba la aguja al acercarse al cuerpo, sólo dependía de la posición relativa a esos polos. Por consiguiente, se le acreditan las nociones de polo y polarización, que iban a dominar las teorías magnéticas y eléctricas durante 700 años, y que todavía hoy representan un papel importante en el electromagnetismo.

Más tarde, el magnetismo fue resucitado por dos médicos. El primero, el alemán Georg Bauer (Georgius Agricola 1492-1555), quien en 1530 publicó su libro *Bermannus* (primer tratado sobre mineralogía),

donde resume todo lo que se sabía acerca del ámbar hasta la fecha. El segundo, el italiano Girolamo Cardano (1501-1576), publica en 1537 *De subtilitate rerum* (*La sutileza de las cosas*), en cuyo apartado dedicado a las maravillas de la naturaleza llama la atención sobre las propiedades magnéticas del ámbar frotado.

En el estudio del magnetismo hay que destacar también al español Martín Cortés Albacar (1510-1582), marino y cosmógrafo, que escribió el primer tratado de navegación científica de aquella época, dándolo a la imprenta en Sevilla en 1551, con el título: *Breve compendio de la Sphera y de la arte de navegar con nuevos instrumentos y reglas exemplificados con más sutiles demostraciones, dirigido al invictísimo monarca Carlos V, rey de las Españas*, donde, entre otras cosas, sentó la variabilidad de la declinación magnética de la brújula para los distintos lugares del globo, negada en casi todos los libros de su época. Se hicieron varias ediciones de esta obra, particularmente en Inglaterra, donde lo utilizaron para el estudio de la navegación.

Nicolaus Copernicus (1473-1543), en 1543, en su libro publicado por su alumno Rheticus (1514-1576), *De revolutionibus orbium coelestium libri VI* (*Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes*), afirmó por primera vez que la tierra se movía; esta doctrina, llevada a Inglaterra en 1583 por Giordano Bruno (1548-1600), estimuló a Gilbert a intentar descubrir por qué la tierra se movía, y, en su opinión, no había mejor acercamiento al problema que el del imán artificial de la tierra propuesto por Pierre de Maricourt de Picardie en 1269.

El médico inglés William Gilbert (1544-1603), de Colchester, es considerado como el padre del electromagnetismo moderno. El trabajo de Gilbert fue notable no solamente

por sus frecuentes ejemplos de filosofía inductiva, que precedieron a la publicación de *Novum Organum*, de Bacon, sino también por su acceso experimental a la ciencia. En su extenso libro *De Magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure* (Acerca del magnetismo, cuerpos magnéticos y el gran imán, la Tierra), publicado en 1600, acerca de la tierra como imán, sólo una pequeña sección la dedica a las propiedades del ámbar, y a modo de apartado, para mostrar que el ámbar era muy diferente a los imanes naturales. En el capítulo II del libro II (*De Magnete*), podemos encontrar: «El débil poder de atracción... podemos apreciarlo en pleno invierno... cuando los efluvios eléctricos de la tierra ofrecen menos impedimentos y los cuerpos eléctricos son más resistentes». Encontró que no sólo el ámbar, sino muchas sustancias poseían la *fuerza ámbar* al ser fro-tadas. Proporcionó un discurso sistemático sobre el magnetismo, además de considerar la fuerza entre dos objetos cargados por fricción. Gilbert bautizó a esta fuerza con el nombre *vim electricam* (la fuerza ámbar), utilizó el adjetivo latino *electricam* para señalar la fuerza producida en el *electrum* (forma latina de la palabra griega ámbar).

Demostró que la electricidad por fricción ocurre en muchas materias corrientes y señaló una de las principales distinciones entre magnetismo y electricidad: que la fuerza entre objetos magnéticos tiende a alinearlos entre sí y afecta poco a los objetos; que la fuerza entre los objetos electrificados es principalmente una fuerza de atracción o repulsión entre los mismos y la materia les afecta mucho. Gilbert atribuía la electrificación del cuerpo por fricción a la eliminación de un fluido o *humor*, que dejaba un *efluvio* o ambiente alrededor del cuerpo. El vocabulario es curioso, pero si a *humor* lo llamamos *carga* y a *efluvio* lo convertimos en *campo*

eléctrico, las nociones de Gilbert se acercan mucho a las ideas modernas.

En 1646, otro médico inglés, Sir Thomas Browne (1605-1682), en su libro de recopilación de apuntes y cuadernos misceláneos: *Pseudodoxia Epidemica, or, Enquiries into Very many received Tenets, and commonly presumed truths*, utilizó la palabra *electricidad* por primera vez.

Los avances en el desarrollo del conocimiento de la electricidad fueron lentos. Otto von Guericke (1602-1686), el inventor de la bomba de aire, prefirió la vida política a la de físico, abogado, matemático e ingeniero, para la cual se había educado y por la que había conseguido su reconocimiento como burgomaestre de Magdeburgo. En 1663 construyó el primer generador electrostático; el ingenio consistía en una esfera de azufre, ofreciendo una descripción sobre cómo construirla en su libro *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica*, publicado en Amsterdam en 1672:

«Si quieres realizar este experimento, coge un globo de cristal del tamaño de la cabeza de un niño y llénalo de azufre triturado. Coloca el globo encima de un fuego hasta que el contenido sea líquido. Cuando el líquido se haya solidificado, rompe el cristal, saca la bola y guárdalo en un lugar seco. Luego haz un agujero en la bola e inserta una vara de hierro que sirva como una especie de eje. El eje debe ser apoyado en dos caballetes de madera para que pueda ser girado y friccionado.»

Rotó un globo de azufre, principalmente, para refutar las ideas de Gilbert sobre la tierra como imán. Como sus ideas se concentraban en intentar demostrar una especie de efecto gravitatorio de la tierra y no algo acerca de la electricidad, poca atención se prestó al hecho de que había inventado una máquina de generar electricidad estática. Hasta el

siglo XVIII no sería reconocida la naturaleza eléctrica de este experimento.

Posteriormente, otro alemán, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), conocedor e interesado por los trabajos que Otto von Guericke estaba realizando en este campo, le escribe una carta pidiéndole detalles de los mismos, a la que éste le contesta enviándole una esfera de azufre, con la que Leibniz corrobora la producción de chispas eléctricas por frotación y que es recogida en su libro *Hypothesis Physica Nova (Nuevas hipótesis físicas)*, publicado en 1671.

El siglo XVIII va a ser pródigo en aportaciones y definitivo en el hallazgo de la corriente eléctrica. El siguiente invento de un generador eléctrico de fricción sería obra del anciano Francis Hauksbee (?-1713), un constructor de instrumentos científicos encargado extraoficialmente de los experimentos de la Royal Society de Londres, para explicar una extraña observación realizada en 1675 por el astrónomo francés Jean Picard (1620-1682). Picard había apreciado que, al mover los barómetros en el observatorio, se producía a veces un breve destello en la parte superior de la columna de mercurio. Tras una serie de experimentos realizados por Hauksbee a partir de 1703, demostró que dicho fenómeno se debía a la electricidad generada por el roce del metal con el cristal del tubo, lo cual le hizo madurar la idea de provocar brillo por fricción. En 1709 montó una esfera de cristal en una especie de torno, haciéndola girar con una manivela, poniendo su mano y un paño de lana en contacto con la superficie de la esfera para provocar fricción. Obtuvo así un resplandor en el globo, pero lo más importante de este acontecimiento fue que desarrolló una máquina para producir electricidad. Este hecho sucede en Londres, donde por aquella época vivía Stephen Gray.

Stephen Gray (1670-1736), residente en Charterhouse, empezó a experimentar con la electricidad en 1720. En 1727 demuestra que los cuerpos conductores pueden ser electrizados si están convenientemente aislados. En 1729 consigue transmitir a distancia, mediante dos hilos de cáñamo humedecido, la electricidad producida en un tubo de vidrio por frotamiento, poniendo de manifiesto que este fenómeno puede desplazarse de un lugar a otro sin que aparentemente se mueva materia alguna. En 1730 suspendió a un niño del techo con cuerdas de seda y demostró que el cuerpo humano era conductor. En 1732 demostró que la electricidad se podía inducir en un conductor paralelo. Tras estas experiencias divide los cuerpos en: *eléctricos*, capaces de generar pero no de conducir, como el vidrio o la seda, y *no eléctricos*, incapaces de producir electricidad pero sí de conducirla, como los metales.

Un contemporáneo de Gray, Charles François DuFay (1698-1739), de París, teniente del ejército a los 14 años, se convirtió en investigador excepcional y se dedicó a las seis ciencias reconocidas por la Academia Francesa. Estimulado por la información de Gray, se dedicó con asombro y admiración al estudio de la electricidad. Descubrió y nombró el aislamiento y, en 1733, tras una larga labor de investigación, enuncia la existencia de dos clases de electricidad: la *vítrea*, como la generada por el vidrio, que tenía un carácter de fuerza repelente, y la *resinosa*, como la que produce el ámbar, que tenía un carácter de fuerza atrayente y que ya era conocida.

Las obras publicadas de Gray y DuFay estimularon la investigación experimental de la electricidad en Alemania. En 1733, Johann Winckler, profesor de griego en Leipzig, cambió la palma de la mano seca por un cojín de piel, sujetado con muelles, contra el cristal que giraba. El cristal era activado por un sis-

tema de pedal y polea que giraba a una velocidad de 680 vueltas por minuto, suficiente para desarrollar una carga eléctrica considerable. En 1738, George M. Bose dejó su puesto de profesor en Leipzig, a la vanguardia de la electricidad, para ir a Wittenberg, donde introdujo el *conductor primario* que servía para recoger la carga de cristal que giraba. Con estas modificaciones se mejoró el funcionamiento del generador eléctrico de fricción. En realidad, todas las máquinas trabajaban de forma semejante: con el frotamiento el cristal adquiría electricidad, que se descargaba a través de las puntas del conductor primario, situado muy cerca de su superficie, y como éste iba también perfectamente aislado, se cargaba de electricidad positiva.

El monje escocés Gordon cambió la esfera por un cilindro en Erfurt en 1742, la cantidad de fuerza eléctrica que se podía desarrollar estimuló las mentes de muchos, incluidos los fabricantes de cristal de Leipzig, los cuales fabricaron grandes cantidades de cilindros de cristal, que se vendían en las tiendas como juguetes para adultos, quienes entretenían a sus amigos con chispas estáticas, convirtiéndose en una especie de juego de salón. Frotando un cilindro de cristal, se podía provocar un ruido, un calambre o una chispa lo suficientemente grande como para prender una copa de coñac, se frotaba más cristal en Sajonia que en cualquier otro lugar de Europa.

Pieter van Musschenbroek (1692-1761), físico y matemático holandés, descubre accidentalmente en 1746 en la Universidad de Leiden la *botella de Leiden*, la cual había sido descubierta un año antes (1945) por el inventor independiente alemán Ewald Georg von Kleist (1700-1748), deán de la catedral de Kamin (Polonia). Dicho invento consiste en una botella llena de agua, cuyo tapón

está atravesado por una varilla metálica que se sumerge en el líquido. Por el otro extremo dicha varilla tiene forma de gancho mediante el cual se suspende la botella del conductor de una máquina que genera en un tubo de vidrio este *fluido*. Al separarse la botella del conductor, uno de los experimentadores recibió una *descarga* al aproximar su mano a la varilla. Posteriormente, el físico y eclesiástico francés Jean Antoine Nollet (1700-1770) sustituyó el agua de la botella por hojas de estaño, quedando desde entonces configurada la *botella de Leiden*, en su forma actual. Esta botella tenía las características de que admitía una gran diferencia de potencial, pero muy poca capacidad. Se le considera como el primer prototipo de los actuales condensadores.

Benjamín Franklin (1706-1790), hijo de ingleses emigrados a Norteamérica, editor, inventor y hombre de Estado, mostró en el campo científico una gran imaginación, llegando a prever muchas cosas que no se descubrirían hasta después de su muerte. Se distinguió, entre otras cosas, por sus trabajos acerca de la electricidad. En 1746 asistió en Boston a una demostración de electricidad estática, realizada por el Dr. Spencer, de Edimburgo; salió tan convencido de la demostración que se dedicó a comprar todo el material necesario para realizar los experimentos. El tubo de frotar el cristal, como el que había utilizado el Dr. Spencer, se lo mandó su amigo Peter Collinson desde Inglaterra, en 1746, en un envío regular de libros nuevos a la Library Company de Philadelphia. Franklin se interesó tanto por la electricidad que dos años más tarde se jubiló de los negocios para dedicar todo su tiempo al estudio. Influido por los trabajos de DuFay, observó cómo la electricidad estática saltaba de uno de sus ayudantes a otro, recogió y sistematizó estas observaciones y esencial-

mente atribuyó el símbolo más (+) y el símbolo (-) a las dos clases de electricidad, afirmando que la persona más electrizada tenía carga positiva, y cuando saltaba la chispa a otra persona era porque esta última estaba cargada negativamente.

Describió también la forma de cargar de electricidad una *batería* de láminas de cristal, lo que constituye un precedente del condensador. Inventó el pararrayos, del cual realizó en París las primeras pruebas en 1752. Hizo, además, diversas aportaciones a la terminología eléctrica que todavía son plenamente válidas, y así, aunque hoy día se sabe que la electricidad es un flujo de electrones negativos, comúnmente aún se dice que circula del polo positivo al negativo. En 1752, demostró que el rayo es un fenómeno eléctrico en el transcurso de una tormenta.

El trabajo de Sir Isaac Newton sobre la gravedad tuvo sorprendentemente poca influencia en el desarrollo de la teoría eléctrica antes de mediados del siglo XVIII. Había surgido cierta especulación acerca de la ley de fuerzas entre cuerpos cargados, pero esto no se dilucidó hasta 1767, cuando Joseph Priestly (1733-1804), químico inglés, actuando sobre una sugerencia de Franklin, demostró que cuando un recipiente metálico *conductor* hueco se electrifica, ninguna fuerza eléctrica actúa sobre objetos en su interior. Infirió que «la atracción de la electricidad está sujeta a las mismas leyes que la gravitación y es por lo tanto según los cuadrados (inversos) de las distancias». Con este descubrimiento, posteriormente verificado de otras maneras por muchos investigadores, las leyes de la electrostática se completaron y no se han cambiado hasta la fecha, aunque los años entre el descubrimiento de Priestly y mediados del siglo XIX vieron una gran clarificación en la expresión de las leyes y avances matemáticos sustanciosos en ma-

nejarlas. Los avances se asocian principalmente con dos físicos.

Henry Cavendish (1731-1810), cuyos estudios sobre la electricidad fueron amplios, propuso la ley del inverso del cuadrado para la interacción de partículas cargadas y usó libremente el concepto de potencial en sus experimentos sobre conductores. Charles Augustin Coulomb (1736-1806), dedicado de lleno a las investigaciones científicas, publica en 1777 sus *Investigaciones sobre la mejor manera de fabricar agujas imantadas*. En 1779 estudia el problema del frotamiento en su obra *Teoría de las máquinas simples*. En 1785 se produce su descubrimiento más importante: buscando un procedimiento para mejorar la brújula marina, consigue, con su *balanza de torsión*, medir las cargas eléctricas, sirviéndole para comprobar las fuerzas de atracción y repulsión, demostrando que sus acciones son inversamente proporcionales al cuadrado de su distancia. Por último, el matemático francés Simeón Denis Poisson (1781-1840), con la ecuación de Poisson, publicada en 1813, y la ley de la conservación de carga, expresa, prácticamente en dos líneas, la totalidad de las leyes de la electrostática.

Mientras progresaba la ciencia de la electrostática y se estaban aclarando y codificando sus fundamentos, el estudio de la electricidad de corriente, o «galvanismo», había empezado. Los estudios más representativos de esta época son propiciados por Galvani y Volta, a quienes trataremos aquí únicamente en lo referente a sus estudios realizados acerca de la electricidad, para más adelante volver a sus aportaciones realizadas a la historia de la electroterapia. Aunque Luigi Galvani (1737-1798) era catedrático de anatomía en Bolonia, también le interesaban los fenómenos eléctricos: adquirió varios aparatos eléctricos que, al parecer, guardaba

e investigaba en su sala de disección. Galvani se dio cuenta de que las chispas eléctricas producidas por un aparato cercano provocaron una contracción muscular en una rana diseccionada. Investigó este fenómeno y al principio pensó que era resultado de la electricidad ambiental, ya que se observaban los mismos efectos durante las tormentas. En esto tenía razón, pero una segunda feliz coincidencia le llevó a un descubrimiento mucho más importante: que cada vez que se conectaba el músculo y el nervio de la rana con un contacto metálico, se observaba la misma contracción muscular, aunque algunos metales parecían ser más eficaces que otros. Galvani concluyó que un fluido que él identificó con carga eléctrica era transportado desde el nervio hasta el músculo donde provocaba la contracción. Los resultados de Galvani, publicados en 1791, levantaron considerable controversia y especulación.

Un físico, Alessandro Volta (1745-1827), de Pavia, tomó una actitud mucho más seria hacia los descubrimientos de Galvani: en 1792 conjeturó correctamente que el efecto era causado por el contacto entre el metal y un cuerpo húmedo. En 1800, Volta, siguiendo esta línea, había construido lo que ahora se conoce como la pila voltaica, que consistía en capas de cobre, cartón húmedo y cinc (repetidos en ese orden), y había descubierto que con una pila extendida podía obtener una carga eléctrica tocando la primera placa de cobre y la última de cinc. Volta confirmó que los efectos de su pila eran iguales que los de la electricidad estática. En 20 años se había relacionado inequívocamente el galvanismo con la electricidad estática.

Durante algún tiempo se habían conocido los efectos de calentamiento por descargas electroestáticas, e incluso se decía que objetos de hierro se habían magnetizado después de ser alcanzados por un rayo. Pero el

descubrimiento de una fuente de corriente eléctrica sostenible y segura posibilitó la investigación más sistemática.

EL AUGE DE LA TEORÍA ELÉCTRICA

Un importante objetivo de la física del siglo XIX fue unificar las diferentes ramas, hasta entonces independientes, de esa ciencia. En 1820, Hans Christian Ørsted (1777-1851), físico danés, hizo uno de los primeros y más importantes descubrimientos a este respecto, cuando encontró la relación entre la *electricidad* y el *magnetismo*. Descubrió que una aguja imantada se desviaba de su posición inicial cuando por un alambre cercano pasaba una corriente eléctrica.

Al final del mismo año, el físico francés André Marie Ampère (1775-1836), después de asistir en la Academia Francesa a una demostración del descubrimiento de Ørsted, demostraba semanas más tarde la denominada *regla de Ampère*, referente a que cuando una corriente pasa por un conductor o alambre horizontal que apunte hacia el norte, la aguja imantada se desvía hacia el este. Ampère demostró también que si dos corrientes eléctricas fluían en la misma dirección a lo largo de dos conductores paralelos, los alambres se atraían, pero si se invertía el flujo de la corriente de un conductor, los alambres se repelían. En 1825, Ampère formuló, esencialmente en términos matemáticos, las leyes que gobiernan la interacción de corrientes constantes con campos magnéticos estáticos, y observó que la fuerza magnética que rodea a un conductor es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Las leyes de Ampère fueron el fundamento de la teoría electromagnética de Maxwell.

Sin embargo, la simplificación final de estas leyes y su expresión en la forma actualmente utilizada no se conseguiría hasta mucho más adelantado el siglo XIX. En el mismo año (1820) se realizó el primer análisis cuantitativo sobre la teoría de Ørsted, el cual fue llevado a cabo por dos físicos franceses, Jean Baptiste Biot (1774-1862) y Félix Savart (1791-1841).

La capacidad de un material para conducir electricidad estática lo había investigado antes, en 1775, Henry Cavendish (1731-1810), pero la clarificación final de las leyes la efectuó en el año 1827 el físico alemán Georg Simon Ohm (1787-1854), quien publicó el más importante de sus trabajos: *El circuito galvánico tratado matemáticamente* (conocida actualmente como ley de Ohm). Ohm halló la relación entre las tres magnitudes de la corriente eléctrica: tensión, resistencia e intensidad, que todavía hoy día forma parte de la estructura conceptual y quizás la parte más ampliamente usada y empleada en el diseño eléctrico práctico.

La relación entre las corrientes eléctricas y el calor, aunque conocida por investigadores anteriores, no se investigó cuantitativamente hasta algún tiempo después, en 1841, cuando el físico inglés James Prescott Joule (1818-1889), después de investigar el calor engendrado por la energía eléctrica, formuló más o menos la forma final de la teoría del efecto de calentamiento que acompaña el flujo de electricidad en los conductores. Joule llegó a la conclusión de que el calor era proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente por la resistencia del conductor.

A partir de 1821, Michael Faraday (1791-1867) se dedicó en exclusiva a sus investigaciones sobre la electricidad; en este mismo año analizó el experimento de Ørsted, comprobando que el imán repelía al citado alambre hacia un lado y preparó un experimento

para demostrarlo. Suspendió sobre el imán un alambre por el cual circulaba corriente eléctrica, y pudo comprobar que éste describía círculos en torno a dicho imán. Acababa de descubrir la rotación electromagnética o, lo que es lo mismo, la introducción del concepto de una línea de fuerza eléctrica o fuerza magnética.

En 1831 realizó su famoso experimento del anillo (cuando se conecta o se corta una corriente eléctrica que circula por una bobina de alambre dispuesta en torno a un sector de un anillo de hierro, se induce corriente en otra bobina situada de forma similar y al otro lado del anillo), que demostraba la *inducción electromagnética*; de ahí dedujo que la primera bobina generaba una onda magnética que, a su vez, engendraba corriente en la segunda. Una forma de dar continuidad a esa onda magnética fue hacer girar el conductor (un disco de cobre en un campo magnético). Faraday había construido la primera *dinamo*.

Posteriormente desarrolló las *leyes de la electrólisis*, que relacionan el grado de descomposición de una solución con la cantidad de corriente que la ha atravesado, y la *jaula de Faraday*, consistente en un recinto de paredes conductoras conectadas a tierra, formado por una pared continua o por una malla metálica, que anulan en su interior los efectos de los campos eléctricos exteriores y los creados por los circuitos interiores sobre el exterior y que se utiliza, entre otros usos, para evitar acoplamientos indebidos entre circuitos electrónicos.

El concepto de las líneas de fuerza que impregnaba el razonamiento de Faraday influyó a físicos de su tiempo y generaciones posteriores. A uno de los que impresionó profundamente fue al escocés James Clerk Maxwell (1831-1879), el cual, después de años de investigación, ésta culminó en 1864

con la teoría de la formulación de sus ecuaciones electromagnéticas.

Mientras que Faraday estaba ocupado en su investigación experimental, un desarrollo paralelo en la teoría matemática de la electricidad y del magnetismo tenía lugar en el continente europeo, principalmente en Alemania. A esta época pertenece el trabajo de los físicos alemanes Franz Ernst Neumann (1798-1895), Wilhelm Eduard Weber y Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865). Al mismo tiempo, Joule y dos físicos más, el inglés Sir William Thomson (1824-1907), posteriormente conocido como Lord Kelvin, y el alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894), clarificaban y desarrollaban la teoría de la relación entre la electricidad y otras formas de energía; Helmholtz, Thomson, Joseph Henry (físico estadounidense), Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887, físico alemán), y Sir George Gabriel Stokes (1819-1903, físico británico), ampliaban la teoría de la conducción y propagación de los efectos eléctricos en conductores. En 1856, Weber y su colega alemán Rudolf Hermann Arndt Kohlrausch (1809-1858), determinaron la relación de unidades eléctricas y magnéticas y encontraron que es casi igual que la velocidad de la luz y de las mismas dimensiones. En 1857, Kirchhoff utilizó este resultado para demostrar que las interferencias eléctricas, en un alambre perfecto conductor, se propagaban a la velocidad de la luz. De esta manera, para el año 1860 la conexión entre el electromagnetismo y la óptica estaba clara. Los pasos finales para establecer la conexión entre la luz y el electromagnetismo los dio Maxwell con la formulación de sus célebres ecuaciones, finalizando de esta forma con la historia del electromagnetismo clásico. Las ecuaciones de Maxwell todavía no han sido sustituidas, y los desarrollos posteriores en la teoría electromagnética o bien se han preo-

cupado por la relación entre el electromagnetismo y la estructura atómica o submicroscópica de la materia, o bien han explorado las consecuencias prácticas y teóricas de las ecuaciones de Maxwell.

El mayor logro de Maxwell es que sintetizó la electricidad, el magnetismo y la óptica en una entidad coherente. Sólo hay que apuntar aquí que mientras Faraday había descubierto experimentalmente que un campo magnético cambiante produce un campo eléctrico, Maxwell conjeturó que un campo eléctrico cambiante produciría un campo magnético. Con esta hipótesis, Maxwell redondeó la estructura del electromagnetismo y puso a su alcance la óptica y el calor radiante. Desarrollos recientes, como la relatividad y la mecánica cuántica, han alterado poco la exactitud fundamental de la formulación de Maxwell. De hecho, los experimentos confirman las predicciones de electrodinámica cuántica basadas en las ecuaciones de Maxwell con cada vez más precisión, su validez no sólo no disminuye sino que aumenta. La noción de un campo, introducida por Faraday y expresada de manera concisa por Maxwell, sigue dominando los pensamientos del siglo xx.

Con la formulación de las ecuaciones de Maxwell, los físicos estaban equipados con una descripción completa del campo magnético, aunque, como es de suponer, las ideas de Maxwell no gozaron de la aceptación general hasta finales del siglo xix. El foco principal de interés en física cambió de los efectos electromagnéticos a su origen en la estructura de la materia.

Para mediados del siglo xviii se habían observado descargas eléctricas luminosas en gases enrarecidos, pero se prestó poca atención al fenómeno hasta que, en 1838, Faraday dio la primera descripción exacta de los efectos que ocurrían y notó un espacio oscu-

ro entre el electrodo negativo candente y el grueso de la descarga. Faraday comentó sobre el significado de la diferencia entre la electricidad positiva y negativa, pero poco más se hizo sobre el asunto hasta la invención de la bomba de aire de mercurio, que facilitó las investigaciones a baja presión. Entre 1850 y 1895 las propiedades de la descarga del rayo catódico estaban sujetas a una investigación casi continua, y se acumuló un montón de pruebas oscuras y aparentemente contradictorias. Entre 1896 y 1898, dos físicos ingleses, Sir Joseph John Thomson (1856-1940) y Sir John Sealy Edward Townsend (1868-1957), identificaron el rayo catódico como un flujo de partículas con carga negativa llamadas ahora electrones, mucho más ligeras que los átomos más ligeros de la química.

Desde el descubrimiento del electrón hasta el día de hoy, la teoría del electromagnetismo ha estado enlazada de manera inseparable con las teorías de la estructura atómica, subatómica y subnuclear de la materia, una teoría influye la otra y viceversa.

En 1900, se había hecho patente que los electrones de Thomson eran un constituyente universal de la materia, y durante los primeros años del siglo muchos físicos intentaron construir teorías de las propiedades electromagnéticas de metales, aislamientos y materiales magnéticos en función de los electrones. El hito más notable en este período fue la publicación de *La teoría de los electrones y sus aplicaciones a los fenómenos de la luz y el calor radiante*, del holandés Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), en 1909, basada en sus conferencias de 1906. Algunas de las ideas de Lorentz se han modificado a la luz de la teoría cuántica y otras se han precisado en las décadas que han pasado desde 1909, pero igual que Maxwell unificó las teorías de electricidad, magnetis-

mo y óptica, Lorentz unificó su interpretación en términos atómicos.

El otro avance conceptual importante en la teoría electromagnética que queda por discutir es la teoría de la relatividad especial. En tiempos de Maxwell, era popular una vista mecanicista del universo, e igual que el sonido se interpretaba como una ondulación del aire, la luz y otras ondas electromagnéticas se creían ondulaciones de otro medio tangible, el éter. Surgió entonces la pregunta acerca de la velocidad de la tierra a través del éter y si la velocidad de la luz medida por un observador moviéndose en relación al éter, sería afectada por su movimiento. El prusiano Albert Abraham Michelson (1852-1931) y el estadounidense Edward Williams Morley (1838-1923) habían mostrado en 1887 que no ocurría tal efecto, y entre 1900 y 1904, Lorentz y el francés Jules-Henri Poincaré (1824-1912) habían demostrado que esto era constante con las ecuaciones de Maxwell. Sobre esta base construyeron una teoría, la teoría de la relatividad, donde el movimiento absoluto de un cuerpo en relación a un hipotético éter ya no es significativo. La teoría fue bautizada con el nombre de *principio de la relatividad* por Poincaré en una conferencia en la Exposición de St. Louis, Missouri, en septiembre de 1904. En 1906, el alemán Max Planck (1858-1947) dio la primera formulación de la dinámica relativista. La formulación más general del principio de la relatividad, sin embargo, la proporcionó el físico alemán Albert Einstein (1879-1955) en 1905 y desde entonces se suele asociar la teoría con su nombre.

Las ecuaciones de Maxwell, la teoría espacial de la relatividad, el descubrimiento de la estructura electrónica de la materia y la formulación de la mecánica cuántica existían antes de 1930. Los triunfos de la electrodinámica cuántica en la era 1945-1955 y des-

pués, poco han añadido a una comprensión fundamental, aunque aumentaron notablemente la confianza en la validez general de las teorías electromagnética, atómica, cuántica y de la relatividad.

ORÍGENES DE LA ELECTROTERAPIA

Desde la aplicación de sacudidas eléctricas provocadas por el contacto con peces eléctricos en tiempos antiguos, hasta la utilización terapéutica hoy día de la estimulación eléctrica transcutánea de los nervios, han transcurrido de tres a cinco milenios. Se han necesitado siglos de esfuerzo, individual o colectivo, para el estudio y la comprensión de los múltiples fenómenos de tipo físico, bioeléctrico, biológico y fisiológico que se originan en el interior del organismo cuando es atravesado por una corriente eléctrica con fines terapéuticos.

La primera mención se refiere al uso terapéutico del pez torpedo. Estos peces son elasmobranquios batoideos, de la familia de los torpedínidos, vulgarmente llamados *tembladeras* o *trimielgas*. El tamaño de estos peces puede oscilar entre 30 y 40 cm, pudiendo alcanzar, a veces, hasta 1 m, como el *torpedo* o *trimielga común*. Este pez no es más que una variedad de pez eléctrico que posee a cada lado de la cabeza una estructura eléctrica, cuyas descargas son capaces de paralizar a sus capturas. Los órganos eléctricos de estos peces están compuestos de unos elementos, *las electrolacas*, que son fibras musculares planas y no estriadas, a las cuales llegan fibras nerviosas capaces de anular o invertir transitoriamente su polarización, siendo capaces de producir descargas eléctricas del orden de 40 voltios. El fenómeno se produce cuando el cerebro del animal

emite la orden y la conducción pasa por nervios gruesos nacidos del mielencéfalo.

Desde los tiempos antiguos la utilización de peces eléctricos con fines terapéuticos es evidente. En Egipto, la variedad de pez eléctrico *malapterios del Nilo* aparece representada por primera vez en la pirámide escalonada *el-Medownwara*, en Zawyet el-Aryan, sobre las paredes de entrada a la capilla funeraria del faraón Kha'ba de la III dinastía (2603-2599 a JC). Posteriormente, también se han encontrado en otras pirámides y monumentos funerarios de faraones y personajes importantes de la IV y V dinastías (2575-2323 a JC).

La primera alusión escrita sobre peces eléctricos aparece con los nombres de *narke* (término griego que significa *raya eléctrica*) y *vagk* (término griego que significa *adormecimiento, letargo*); posteriormente el término *narke* dará lugar a la palabra *narcosis* (sueño). Los antiguos griegos y romanos utilizaban las descargas eléctricas del pez torpedo para aliviar enfermedades del bazo, dolores de cabeza crónicos y ataques de gota.

Es seguro que Aristóteles (384-322 a JC) empleó el mismo este «remedio» para curarse un ataque de gota. Este tratamiento fue descrito por su discípulo Teofrasto, biólogo y sucesor en el Liceo de Atenas a la muerte de Aristóteles.

La descripción más exacta nos la relata Argenterari en el libro *Compositiones Medicamentorum*, publicado por la Universidad de Strasbourg en 1786. Además de Galeno y Dioscórides, el autor más citado es el farmacéutico romano Scribonius Largus (10 a C-35 d C), que relata la historia de Anterus, un ciudadano que sufría desde largo tiempo dolores articulares, el cual, paseándose por una playa y al ponerse en contacto con un pez torpedo, quedó curado de sus dolores. Las siguientes citas son del libro *Compositiones Medicamentorum* en sus capítulos I y XLI.

Cap. I. «Cuando se aplica el torpedo negro vivo a una zona dolorosa, alivia y cura permanentemente algunas cefaleas crónicas e intolerables siempre que el dolor esté localizado y no exista sensibilidad. Existen, sin embargo, muchas variedades de torpedos, y puede que sea necesario ensayar dos o tres variedades antes de sentir la insensibilidad; este embotamiento es la señal de la curación.»

Cap. XLI. «Cuando se dispone de un torpedo negro vivo y se aplica debajo de los pies hace desaparecer el dolor de la artritis. El paciente debe permanecer de pie en el agua junto a la arena y el torpedo debe adormecer todo el pie y la pierna hasta la rodilla. Cuando esto sucede se alivia el dolor y la curación es permanente. Así se curó Antero, esclavo liberto de Tiberio.»

Posiblemente, sea ésta la primera cita documentada ampliamente sobre la estimulación eléctrica por vía transcutánea para el tratamiento del dolor. Scribonius preconiza un tratamiento similar para las cefaleas. En sus escritos precisa que el efecto es progresivo y que el adormecimiento puede persistir de igual forma aunque el contacto con el pez haya sido interrumpido.

Dioscórides, en *Les Six Livres de Dioscoride* (Lión, 1559), decía que «el torpedo marino hacía desaparecer la cefalea prolongada cuando se aplicaba al vértice de la cabeza y aliviaba también todos los dolores crónicos del organismo».

En el *Dictionnaire de Thérapeutique*, publicado en París en 1885 y escrito por Dujardin-Beaumetz, existen referencias a la utilización de peces eléctricos por Galeno. Según estos autores, Galeno afirmaba: «Aplico, pues, un torpedo vivo a la cabeza de una persona que sufre de cefalea porque creo que el remedio ejerce un efecto calmante como todas las cosas que producen una sensación de embotamiento y he podido comprobar que sucede de esta forma.»

J. S. Coulter, en su libro *Physical Therapy*, publicado en Nueva York en 1932, hace referencia al libro de Plinio *Naturae Historiarum*, libro XXII, cap. 1. Plinio escribía: «Incluso desde considerable distancia, y si solamente se toca con la punta de un arpón o de un bastón, el pez tiene la propiedad de adormecer hasta el brazo más fuerte y de atravesar los pies del corredor por muy veloz que sea.»

La aplicación terapéutica de las sacudidas de los peces eléctricos guarda su interés con el paso del tiempo, de tal forma que otros autores tales como Aetio de Amida, Alejandro de Trolles, Marcellus Empiricus, Perrault, Borrentire, etc., escribieron sobre la acción curativa del choque eléctrico del pez torpedo.

En 1658, el naturalista holandés Jan Swammerdam (1637-1680) divertía a su protector científico, el duque de Toscana, con las contracciones de un músculo aislado de rana, pellizcando y seccionando su nervio. Coincidiendo con los años de su mayor producción investigadora (1667-1673) publica, entre otros, su libro *Biblia Naturae*, donde describe esta acción como un «experimento divertido e igualmente útil». En estudios posteriores de investigación realizados sobre este experimento, algunos autores consideraron estas contracciones musculares como respuestas a estímulos eléctricos, debido a que se habían empleado instrumentos metálicos, aunque el examen de las ilustraciones que aparecen en su libro no consigue revelar la existencia de un circuito cerrado.

En 1666, Francesco Redi sospechó que el *shock* de algunos peces era de origen muscular y escribió: «Me parece como si la acción dolorosa de la raya marina estuviera más bien localizada en estos dos cuerpos en forma de hoz, o músculos, que en cualquier otra parte del cuerpo.» En 1671 fue redescubierta la propiedad de las descargas eléctricas de los peces en el tratamiento de los

dolores agudos por el francés Jean Richer (1630-1696) durante su permanencia en la Guayana Francesa en Cayenne, al estudiar el gimnoto viviente en aquellas aguas.

Pero no será hasta mediados del siglo XVIII, con la invención de la botella de Leyden (1745) y el desarrollo de la electricidad, cuando se empiece a utilizar ésta con fines curativos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bordier, F.: *Précis d'électrothérapie*. París, 1912.
2. Colwell, H.: *An essay in the history of electrotherapy*. Londres, 1926.
3. Erb, W.: *Handbook of electrotherapy*. Nueva York, 1883.
4. Frappier, H.: *Essai d'électrodiagnostic par l'emploi des courants alternatifs à hautes fréquences variables*. París, 1934.
5. Heilbron, J. L.: *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics*. WB Saunders Company Ltd. Londres, 1979.
6. Laquerrière, F., y Delherm, M.: *Electrothérapie clinique*. París, 1906.
7. Lewis, G.: *Medical electricity*. Londres, 1912.
8. Tousey, J.: *Medical electricity*. Londres, 1910.
9. Weill A.: *Manuel d'électrothérapie et d'électrodiagnostic*. París, 1906.
10. Whittaker, E.: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 2 vol. Charles Singer and T. I. Williams. Londres, 1951-1953.