

HISTORIA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA: REVISIÓN NARRATIVA



Azael J. Herrero y Jaime Palomo

Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Europea Miguel de Cervantes, Valladolid. España. ?jaherrero@uemc.es

Resumen

El objetivo de esta revisión es recopilar y reflejar información sobre los orígenes de la electricidad, la electroterapia y, especialmente, la electroestimulación utilizada como método de entrenamiento. Se han revisado manuscritos científicos, diferentes webs y también se incluye información obtenida de testimonios. Se ha dividido la historia en ocho periodos, abarcando desde la Antigüedad hasta la segunda década del siglo XXI. Aspectos como cuándo el hombre fue consciente de la existencia de fenómenos bioeléctricos, cuándo se acuñó el término electricidad, quién fue el primer autor en aplicarla a animales para producir contracciones o al cuerpo humano con fines terapéuticos, o quién fue el primero en aplicarla para mejorar el rendimiento deportivo son tratados en las siguientes páginas. Al final también se habla del surgimiento de las casas comerciales de electroestimulación y electroestimulación de cuerpo completo.

Palabras clave: electricidad, electroterapia, electroestimulación de cuerpo completo, rehabilitación, entrenamiento

Introducción

Estimado lector, es posible que un artículo sobre historia no suscite en usted un elevado interés por la poca aplicabilidad que pudiera tener. No obstante, nos gustaría que supiera que en el presente trabajo no sólo se resumen fuentes que han sido laboriosas de encontrar, sino también testimonios de personas que vivieron la llegada de la

electroestimulación (EMS) a España. Esperemos que disfrute de esta sucesión de anécdotas históricas, y de toda la documentación inédita sobre cómo eclosionó la EMS en el siglo XX y cómo aterrizó en España.

La aplicación de la electricidad al cuerpo humano y su capacidad para inducir diferentes respuestas y adaptaciones en el organismo ha resultado un tema fascinante a lo largo de los siglos. Hoy en día, la EMS es una metodología ampliamente utilizada en ámbitos como el entrenamiento, la fisioterapia y la medicina. ¿Cuáles fueron sus orígenes? ¿Quién la aplicó por primera vez en el cuerpo humano? ¿Quién la usó inicialmente para mejorar el rendimiento físico? ¿Cómo llegó a España?

La historia de la EMS está íntimamente ligada a la historia de la electricidad y de la electroterapia, por este motivo hemos de abordar la historia de estos tres conceptos y de sus interacciones. El objetivo del presente artículo es realizar un recorrido a través de la historia resaltando qué autores y hechos contribuyeron al descubrimiento de la electricidad, a su aplicación sobre el cuerpo humano, a su uso terapéutico y, finalmente, a su uso como método de entrenamiento. Para ello, se ha dividido la historia en ocho períodos que, si bien no corresponden todos a períodos habituales, sí se adecúan al objeto de estudio del presente trabajo.

La Antigüedad (Hasta el año 200 d.C.): Los primeros indicios

El primer fenómeno bioeléctrico del que el ser humano fue consciente, fue la descarga eléctrica de determinados tipos de peces, como el pez torpedo o las rayas eléctricas (Figura 1)¹. Estos peces tienen órganos especiales capaces de generar descargas eléctricas hasta de 220 voltios a 8 amperios², y se podían encontrar cerca de los lugares donde habitaban las antiguas civilizaciones. Es probable que su misterioso poder fuese una fuente de miedo y superstición en aquellos tiempos¹. La existencia de este tipo de corrientes naturales fue conocida en tiempos de los egipcios, como lo demuestra el hallazgo de la representación de un pez eléctrico en una tumba de la Quinta Dinastía que se remonta al año 2750 a.C.^{1,3}. Los antiguos griegos y romanos utilizaban las descargas eléctricas del pez torpedo para aliviar ataques de gota (Aristóteles, 384–322 a.C.) y cefaleas crónicas (Galeno, 129–201/216 d.C.)⁴.



Figura 1. Pez torpedo, también conocido como raya torpedo, tembladeras o tembladores. Posee órganos capaces de producir descargas eléctricas que utiliza para capturar a sus presas o para defenderse.

Alrededor del año 600 a.C. surge en Grecia una nueva tendencia de pensamiento que pretendía distinguir entre el conocimiento y el mito: la filosofía natural. Tales de Mileto (624–546 a.C.), considerado uno de sus principales precursores y uno de los siete sabios de Grecia, observó que una resina fósil descubierta en las playas del Mar Báltico, a la cual se denomina actualmente ámbar (Figura 2), pero que ellos denominaban *élektron*,

tenía la propiedad de atraer objetos más livianos cuando se frotaba con un trozo de piel. Aunque no llegó a definir que era debido a la distribución de cargas, sí creía que esta propiedad residía en el objeto frotado^{4,5}. Posteriormente el filósofo griego Theophrastus (371–287 a.C.) estableció que otras sustancias tenían este mismo poder⁶.



Figura 2. Ámbar en bruto (izquierda) y ámbar pulido (derecha). Se trata de una resina fosilizada de origen vegetal, que al rozarse con otros materiales adquiere propiedades eléctricas.

El primer protocolo de electroterapia que se conoce data del año 46 d.C., cuando el veterinario y médico Scribonius Largus (1–50 d.C.) describió el tratamiento aplicado a los dolores articulares⁷. Esta descripción aparece en el libro *Compositiones Medicamentorum*, publicado en la Universidad de Strasburgo en 1786. El texto en cuestión, dice lo siguiente: “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 insensibilidad; este embotamiento es la señal de la curación”⁴. Otra fuente, cita un fragmento distinto de este autor, el cual dice: “Para todos los tipos de gota se debería utilizar una trimielga negra (pez torpedo), que habría que poner viva debajo de los pies del paciente; el enfermo tiene que estar en la orilla de la playa, en el lugar donde rompen las olas, y permanecer en esa posición hasta que la pierna se haya vuelto insensible”³. El libro de Scribonius Largus se considera uno de los libros más importantes de la historia de la medicina y de la farmacología Romana⁸, habiéndose reeditado en 2012 por la editorial Nabu Press.

La Edad Media (200 d.C. – 1450 d.C.): El letargo de la ciencia

Durante este periodo no se tiene prácticamente constancia de alguna referencia a la electricidad, ya que la filosofía natural iniciada por los griegos se mantuvo latente debido a la influencia del desarrollo religioso y espiritual. En los comienzos de la Edad Media se ubica la Etapa Alejandrina en honor a la ciudad de Alejandría, centro de conocimiento médico más importante de la época. Autores destacados de la época fueron Oribasio de Pérgamo (320–400 d.C.), Aecio de Amida (502–575 d.C.) y Alejandro de Tralles (525–605 d.C.) y Pablo de Egina (625–690 d.C.). Entre ellos, en la obra de Aecio de Amida se encuentran referencias al empleo de los peces eléctricos para el tratamiento de diversas patologías. Con Pablo de Egina concluirá la Etapa Alejandrina y su obra facilitaría la transmisión del pensamiento galénico a la medicina medieval⁹.

El conocimiento clásico también perduró debido a que los eruditos árabes, como Avicena (980–1037 d.C.) y Averroes (1126–1198 d.C.) tradujeron las obras de los grandes

pensadores griegos a su lengua. Cabe destacar las figuras de San Agustín (354–430 d.C.) y Santo Tomás de Aquino (1227–1274 d.C.), quienes tradujeron al latín las obras de Platón y Aristóteles, respectivamente. Las doctrinas de estas obras fueron adoptadas por las Universidades Dominicanas y Franciscanas, pese a que ninguna de ellas realizó investigación crítica al respecto. La medicina existía, pero no se mostraba ningún interés respecto al conocimiento de la naturaleza, o cualquier otro tema que no tuviera que ver con Dios y el Alma¹⁰.

El Renacimiento (1450 – 1600 d.C.): El término electricidad

El siglo XV supuso la vuelta a los valores naturales de la Grecia y Roma clásicas y la contribución al desarrollo de la ciencia a través de los paradigmas mecanicista, vitalista y el empirismo racionalizado, consistente en establecer conexiones racionales entre los hechos que brinda la observación de la realidad¹⁰. Hay constancia de que en los siglos XV y XVI, el alemán Georg Bauer (1494–1555 d.C.) y el italiano Girolamo Cardano (1501–1576 d.C.) describieron las propiedades magnéticas del ámbar frotado. Este último, publicó una obra titulada *De subtilitate*, en la que se distinguió, por primera vez, entre fuerzas magnéticas y fuerzas eléctricas⁹. Alrededor del año 1600 d.C., la Reina de Inglaterra Isabel I ordenó al físico y médico Real William Gilbert (1544–1603 d.C.) estudiar los imanes para mejorar la exactitud de las brújulas utilizadas en la navegación. Estas investigaciones supusieron que Gilbert, considerado el padre del electromagnetismo moderno, encontrase que no sólo el ámbar, sino muchas sustancias poseían la misma propiedad al ser frotadas. A esta fuerza de atracción la denominó *vim electricam*, acuñando el término actual a partir de las raíces grecolatinas de la denominación del ámbar (*élektron*). Además, este autor clasificó estas sustancias en: cuerpos eléctricos (actualmente conductores) y cuerpos aneléctricos (actualmente aislantes). Todos estos descubrimientos fueron anotados en su obra *De Magnete, Magneticisque Corpo. Ribvs et Magno Magnete* (Figura 3)¹¹.



Figura 3. *De Magnete, Magneticisque Corporibus et Magno Magnete*.

La Revolución Científica (siglo XVII): El primer generador eléctrico

En el siglo XVII se produjo probablemente el cambio de orientación más importante de la historia de la ciencia. Los estudiosos empezaron a preguntarse cómo ocurrían las cosas,

dando lugar a un nuevo método que supuso una actitud diferente ante la ciencia, consistente en investigar la naturaleza con los propios sentidos y expresar las observaciones científicas en un lenguaje matemático exacto. La importancia del razonamiento especulativo cedió terreno ante la experimentación y el método hipotético–deductivo, método científico por excelencia. Se impuso la interpretación de los fenómenos desde una óptica mecanicista, acompañada de una base matemática.

La cuna de la ciencia, que había estado centrada por más de un siglo en Italia, sufrió un desplazamiento hacia otras áreas geográficas motivado por razones sociológicas. Los países del ámbito germánico y los países anglosajones comenzaron a realizar aportaciones significativas. Por otra parte, emergieron las sociedades de científicos (Figura 4). La primera sociedad, la Academia Secretorum Naturae se funda en 1560 en Nápoles¹². Posteriormente surgieron otras: la Academia del Cimento (Florencia, 1657)¹³, la Royal Society of London (Londres, 1660, bajo la influencia de la Universidad de Oxford)¹⁴, la Tertulia Hispalense Medico–Chimica (Sevilla, 1697)¹⁵ y la Regia Sociedad de Medicina (Madrid, 1700)¹⁶. A finales del siglo XVII comenzaron a publicarse los primeros textos procedentes de estas sociedades, y las primeras revistas médicas¹⁷.



Figura 4. Libro escrito en la Academia de Cimento (izquierda); Sala de la Academia de Cimento (centro); y Libro sobre la historia de la Royal Society of London (derecha).

Un jesuita italiano, Niccolo Cabeo (1586–1650), físico dedicado al estudio de la electricidad, descubrió en 1629 el fenómeno de repulsión eléctrica entre cargas del mismo signo. Este descubrimiento supondría un adelanto a los posteriores descubrimientos de Du Fay, si bien la obra de Niccolo Cabeo pasó totalmente desapercibida⁹.

Tras los descubrimientos de Gilbert, hubo que esperar un siglo para que se produjese un nuevo avance significativo respecto a la electricidad. Fue en un intento de refutación de las propuestas de Gilbert, cuando Otto von Guericke (1602–1686), un físico alemán, desarrolló el primer generador electroestático (Figura 5). Para demostrar la teoría de Gilbert, Von Guericke construyó una esfera giratoria que imitase la forma y los movimientos terrestres. La descripción de cómo fabricarlo se encuentra en su libro *Experimenta Nova Magdeburgica* (Figura 6), publicado en Ámsterdam en 1672, en donde se puede leer: “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”. Von Guericke, al acercar su mano a la esfera mientras ésta giraba, percibió una descarga de chispas desde la esfera hasta su mano. Se había creado el primer generador de electricidad.

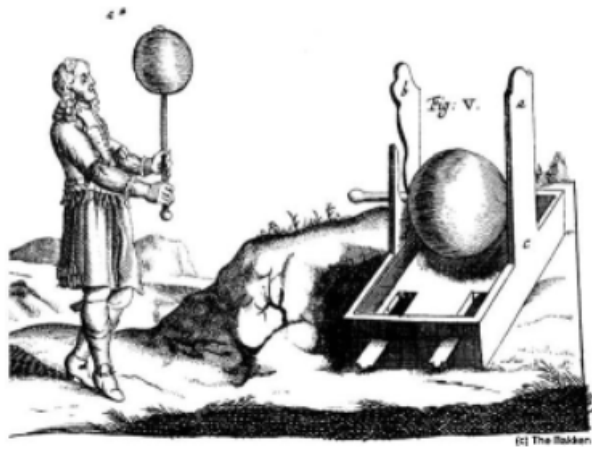


Figura 5. Primer generador electrostático (1672).

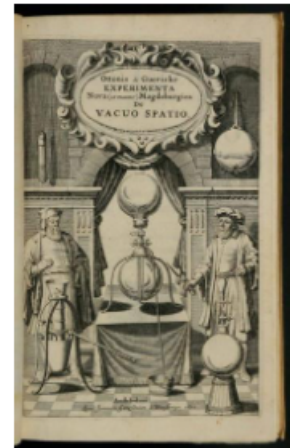


Figura 6. Portada del libro: Experimenta Nova Magdeburgica.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), conocedor e interesado por los trabajos que Von Guericke estaba realizando en este campo, corroboró la producción de chispas eléctricas por frotación y lo reflejó en su obra Hipótesis Physica Nova (Nuevas hipótesis físicas) en 1671; desarrolló también ideas tales como “fuerzas de atracción y de repulsión”, conceptos de los que Faraday se vería influenciado en su posterior postulación sobre su “teoría de los campos de fuerza”⁹.

La Ilustración (siglo XVIII): Los primeros descubrimientos y exhibiciones

Los científicos de este periodo se caracterizaron por acercarse a la realidad mediante el entendimiento y, además, por una intensa fascinación ante sus descubrimientos, actitud que debía ser inmediatamente transmitida y aplicada a sus conciudadanos por el bien de la comunidad. La nueva fuente de energía se convirtió en uno de los motivos preferidos para las exhibiciones públicas tan comunes entre los ilustrados. La electricidad generada por las primeras máquinas estáticas se manifestaba en forma de chispas, centelleos y descargas, claramente visibles, ideales para su exhibición en todas las cortes y comités científicos europeos¹⁸. Los generadores electrostáticos fueron mejorados, a partir del desarrollo del conocimiento acerca de la electricidad, lo que supondría el hecho de que el hombre poseería la capacidad de almacenar la electricidad para su posterior aprovechamiento⁹.

En este periodo vamos a dividir a los autores más relevantes en dos grupos. En el primero de ellos, se incluyen aquellos que contribuyeron con sus inventos al desarrollo de la electricidad y todo lo relativo a ella. En el segundo, se incluyen aquellos que aplicaron la electricidad al ser humano, configurando el nacimiento de la electroterapia.

Autores cuyos inventos contribuyeron al desarrollo de la electricidad

El generador electrostático que Von Guericke había diseñado durante el siglo anterior, fue perfeccionado por un constructor de instrumentos científicos y encargado

extraoficialmente de los experimentos de la Royal Society of London, Francis Hauksbee (1660–1713). Para ello sustituyó el globo de azufre por un cilindro de cristal (Figura 7). Posteriormente, este instrumento fue mejorado por George M. Bose (1710–1761) y Jean A. Nollet (1700–1770) introduciendo un globo de cristal giratorio gracias a un sencillo sistema de rueda o volante, y electrizable por la frotación de las manos (Figura 8)6.

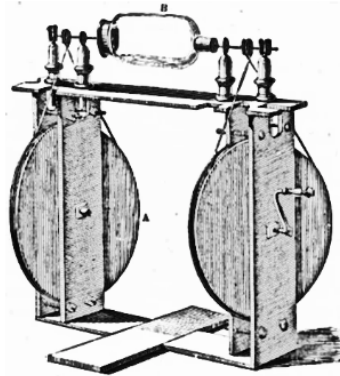


Figura 7. Máquina de Hauksbee.

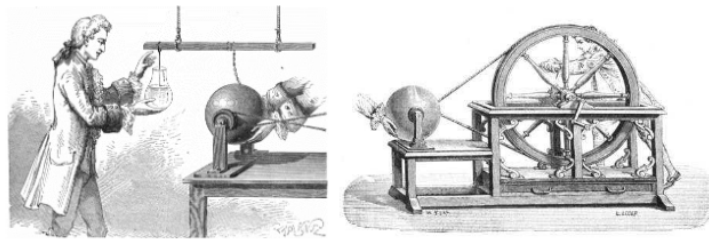


Figura 8. Máquina de Bose y Nollet.

Años más tarde, Jesse Ramsden (1735–1800) también perfeccionó el generador electrostático de Von Guericke, ofreciendo una estructura más perfecta y siendo la más empleada en el siglo XIX en los gabinetes de física (Figura 9)4,6.

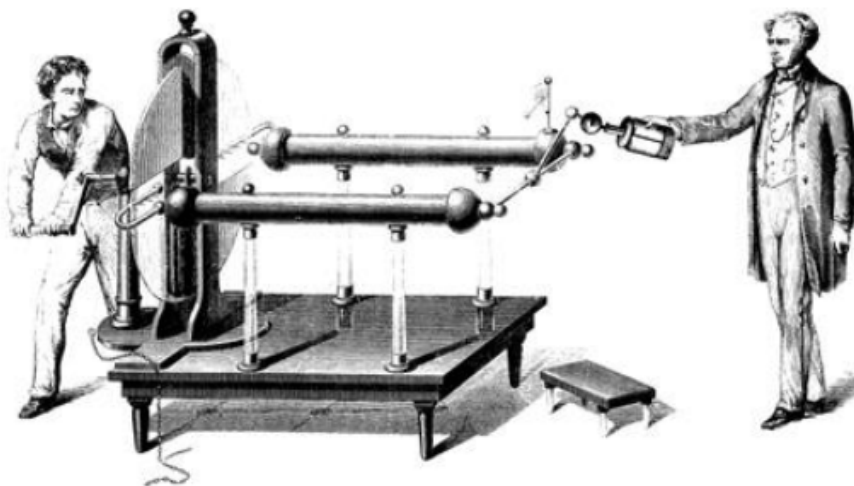


Figura 9. Generador electrostático de Ramsden (1766) cargando una botella de Leyden.

En esta época, un físico inglés llamado Stephen Gray (1666–1736), estudió la conductibilidad de los cuerpos, siendo el primero en conseguir transmitir electricidad a través de un conductor (1729)5; también fue quien descubrió que el cuerpo humano era

capaz de funcionar como un conductor eléctrico⁹. Además, clasificó los cuerpos en “eléctricos” (aquellos con la capacidad para generar electricidad, pero no así para conducirla, tales como el vidrio o la seda) y “no eléctricos” (no producían electricidad, pero sí eran capaces de conducirla, como por ejemplo los metales)⁹. Pocos años más tarde, el francés Charles–François de Cisternay du Fay (1698–1739) descubrió en 1733 que dos bolas de corcho cargadas de la misma manera se repelían (por ejemplo, frotándolas con una vara de resina y de vidrio, respectivamente), lo que no acontecía cuando se cargaban por medios diferentes. Durante sus estudios se dio cuenta de que existía una cierta pérdida de corriente hacia el aire circundante; a raíz de ello, recomendó que los cuerpos conductores se protegiesen con algún tipo de material no conductor (o aislante), siendo el primero, de este modo, en utilizar el término “aislante”⁹. En consonancia con Du Fay, Benjamín Franklin (1706–1790) describió que la electricidad se trataba de un fluido capaz de desplazarse de un cuerpo a otro a fin de establecer un equilibrio neutral. Así, cuando se frotaba el vidrio, la electricidad fluía hacia su interior (cargándolo positivamente); mientras que cuando se frotaba el ámbar, la electricidad escapaba de él, dejándolo cargado negativamente; y cuando una varilla negativa establecía contacto con otra positiva, el fluido eléctrico pasaba de la positiva a la negativa. Las aportaciones de ambos autores resultan relevantes ya que posteriormente supuso la consideración de cargas positivas y negativas en la corriente eléctrica, aspecto fundamental para determinadas aplicaciones terapéuticas como la iontoforesis o para una ubicación efectiva de los electrodos sobre la piel. En 1740, el inventor francés Jean Théophile Desaguliers (1683–1744) propuso que se llamara conductores a las sustancias a cuyo través circulaba libremente el fluido eléctrico (por ejemplo, los metales), y aislantes a aquellas que no permitían transmitir la electricidad (por ejemplo, el vidrio y el ámbar)⁴.

La persona que introduce en Europa la Teoría de Franklin fue el inglés William Watson (1715–1787), primero en demostrar el paso de la corriente en el vacío tratando de determinar la velocidad de propagación de la electricidad. Anotó sus experiencias en *Expériences et observations pour servir a l'explication de la nature et des propriétés de l'électricité*⁶ (Figura 10).



Figura 10. Portada e imagen del manuscrito de William Watson (París, 1948).

Otro descubrimiento de gran importancia fue la posibilidad de acumular una carga eléctrica en un conductor, si éste se aislaba con vidrio o una capa de aire para evitar la pérdida de electricidad. A este “condensador eléctrico” se le denominó Botella de Leyden

(1745) y fue diseñado por el alemán E. G. Von Kleist (1700–1748), pero fue en la Universidad de Leyden (Holanda) donde se le dio aplicación por primera vez gracias al profesor holandés Pieter Van Musschenbroeck (1692–1761)^{4,6}. Esta botella permitió almacenar electricidad estática, suponiendo una nueva herramienta para los médicos en el tratamiento de enfermedades y la experimentación eléctrica (Figura 11). El nombre de Botella de Leyden se debe a Nollet, quien bautizó de este modo a dicho invento, en contra de otras corrientes que pretendían denominarlo “Kleiste Flasche”, en honor a su creador, Von Kleist⁹.

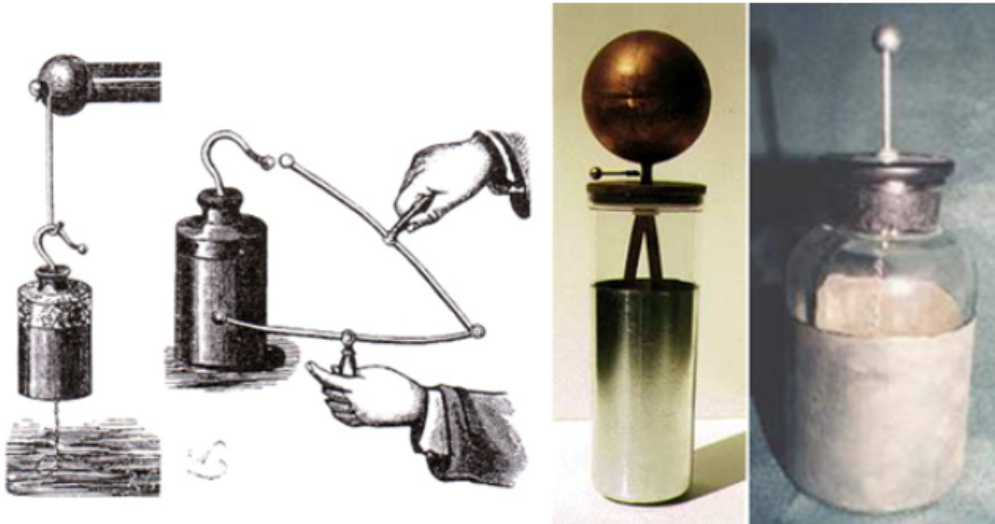


Figura 11. Diferentes ilustraciones de la Botella de Leyden (1745).

Por último, hay que destacar en este periodo a Charles Agustín de Coulomb (1736–1806), físico e ingeniero francés, quien en 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción o repulsión que ejercen entre sí dos cargas eléctricas, y estableció la función que liga esta fuerza con la distancia que las separa^{5,6}.

Autores que aplicaron la electricidad al ser humano

Todos estos avances y exhibiciones realizados en la Ilustración significaron el nacimiento de la electroterapia. Las experiencias más repetidas fueron las de Christian Gottlieb Kratzenstein (1723–1795), autor del primer libro sobre electroterapia en 1745, tras sus estudios en la Universidad de la Halle (Alemania). En su obra detalló los primeros efectos biológicos de la electricidad tras aplicarse a sí mismo los efluvios del generador de Von Guericke, concretados en un aumento del pulso y en la aparición de un sueño reparador. También refirió la curación de la rigidez de un dedo y la de una parálisis en una pianista. Sus observaciones concluyeron en la primera serie de indicaciones del tratamiento eléctrico: las enfermedades nerviosas, las parálisis y las enfermedades de la sangre¹⁸.

Los trabajos de Kratzenstein sirvieron de fundamento para la mayoría de las aplicaciones clínicas de la Ilustración. Sus experiencias fueron repetidas, enriquecidas y consolidadas por toda Europa. La botella de Leyden fue utilizada en Francia por el abad Jean Antoine Nollet (1700–1770), aplicándola en pacientes parálisis en el Hospital de París (1746), y posteriormente en Berna por Jean L. Jallabert (1712–1768), primero en aplicar electricidad para producir una contracción muscular de un miembro paralizado (1747)¹¹, y quien publicó más tarde la curación de una parálisis (1748), despertando el interés de muchos médicos europeos^{4,18}. En 1766 Henry Cavendish (1731–1810), físico y químico

inglés, midió la fuerza de la corriente eléctrica aplicándose una sacudida eléctrica y estimando la magnitud del dolor, anotando sus resultados en *On Fractious, Airs* publicada en 1766¹⁹.

Estas primeras aplicaciones no pueden considerarse más que simples ensayos empíricos, puesto que no había nacido la electrofisiología y, por lo tanto, faltaba el principal fundamento a las indicaciones electroterápicas. No obstante, en una obra publicada a finales del siglo XVIII por el abad Pierre Bertholon (1742–1800), *De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie*, se encuentran recogidos los conocimientos que hasta aquella época se habían podido reunir sobre la acción de la electricidad producida por las máquinas de frotación sobre el organismo vivo⁴.

Finales del siglo XVIII y siglo XIX: La respuesta fisiológica al dilema de la electricidad

Luigi Galvani (1737–1798), un profesor de medicina italiano de la Universidad de Bolonia, observó que una descarga eléctrica sobre las patas de una rana muerta a través de su médula espinal producía contracciones de los músculos afectados. Este descubrimiento seguramente inspiró la legendaria criatura llevada a la vida por doctor Frankenstein a través del poder eléctrico de un rayo (probado por Franklin en 1751), novela escrita en esa época por Mary Wollstonecraft Shelley (1797–1851). Galvani expuso los músculos de la pata de la rana a los efectos de una tormenta usando el descubrimiento de Franklin. Para conseguirlo, colgó las patas de unos ganchos en la reja de su casa, comprobando que las contracciones proseguían aun cuando la tormenta había pasado (Figura 12). Una inspección posterior le llevó a ver que la estimulación también se producía cuando el músculo tocaba simultáneamente dos metales distintos. Galvani creyó que la electricidad se generaba en el músculo, denominándola electricidad animal y anotando sus observaciones en *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (1791). Galvani no descubrió un nuevo tipo de electricidad, pero inventó un nuevo instrumento eléctrico y una fuente de electricidad en movimiento: los conductores bimetálicos de sus últimos experimentos. Gracias a sus estudios, surgió una especialidad que hasta ese momento no se había considerado: la neurofisiología^{3,9,20}.

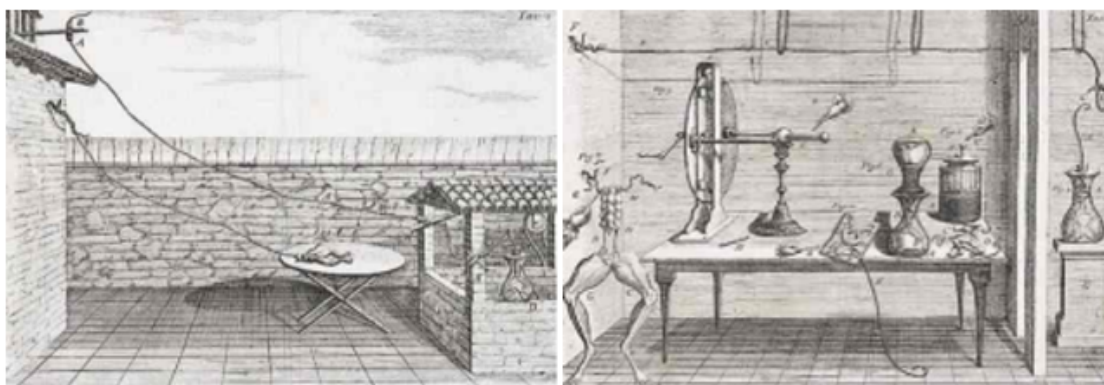


Figura 12. Experiencia atmosférica con las patas de una rana; Laboratorio de Galvani.

Alessandro Volta (1745–1827), un profesor de física italiano compañero de Galvani discrepaba con él, ya que no pensaba que la electricidad se produjese en los propios músculos. Descubrió que los factores principales en el experimento de Galvani eran los dos metales utilizados, el cuchillo de acero y la placa de lata en donde se encontraba la rana muerta. Volta demostró que cuando existe humedad entre dos metales diferentes se

genera electricidad. Esto le llevó a inventar la primera batería eléctrica, la pila voltaica (1800), construida de finas hojas de cobre y zinc separadas por una pasta húmeda (Figura 13). Esta pila, al igual que la botella de Leyden, necesitaba ser cargada. Este descubrimiento fue el comienzo de una gran revolución en los conocimientos sobre la electricidad ya que permitió obtener por primera vez en la historia una corriente continua suficientemente estable, que se denominó corriente galvánica. La unidad de tensión eléctrica o fuerza electromotriz, conocida como voltio, recibió ese nombre en su honor^{5,6}. Las experiencias de estos dos autores italianos incorporaron definitivamente los estudios eléctricos al campo científico e iniciaron dos líneas de investigación claramente diferenciadas: la detección de los fenómenos eléctricos biológicos y la experimentación de los efectos de la estimulación eléctrica¹⁸.

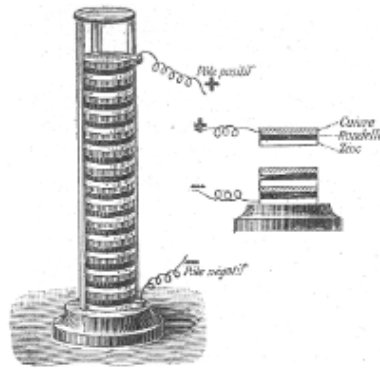


Figura 13. Ilustración de la pila voltaica.

En el siglo XVIII hubo una serie de autores que contribuyeron de forma relevante al desarrollo de la electricidad. Así, André Marie Ampere (1775–1836), físico y matemático francés, fue conocido por sus importantes aportaciones al estudio de la corriente eléctrica y el magnetismo, que contribuyeron, junto con los trabajos del danés Hans Christian Oesterd (1777–1851), al desarrollo del electromagnetismo. Descubrió las acciones mutuas entre corrientes eléctricas, al demostrar que dos conductores paralelos por los que circula una corriente en el mismo sentido se atraen, mientras que, si los sentidos de la corriente son opuestos, se repelen. La unidad de intensidad de corriente eléctrica, el amperio, recibe este nombre en su honor. Tras el descubrimiento del amperio, Georg Simón Ohm (1789–1854) relacionó la intensidad de la corriente (amperios) con el voltaje de la misma por medio de la resistencia del conductor, enunciando así la ley de Ohm: Voltaje (voltios) = Intensidad (amperios) · Resistencia (ohmios) (1827). Gracias a esta ley podemos conocer la resistencia que ofrece la piel al paso de la corriente eléctrica, siendo éste el fundamento de la impedancia bioeléctrica. La unidad de resistencia eléctrica, el ohmio, recibe este nombre en su honor. Michael Faraday (1791–1867), fundador del electromagnetismo y de la electroquímica, creó un tipo de corriente alterna que recibe su nombre (1831). La corriente Farádica se sigue utilizando hoy en día para realizar pruebas de diagnóstico o como base para trenes modulados en corrientes excitomotoras^{3,5,21}.

Durante el siglo XIX se desarrollaron dos líneas de trabajo electrobiológico que, pese a ir unidas, dieron lugar a determinados enfrentamientos: la investigación fisiológica y la clínica¹⁸. Los fisiólogos siguieron, aunque no de un modo exclusivo, el camino de la detección de la corriente eléctrica animal iniciada por Galvani. Las primeras descripciones formales de un potencial eléctrico en el músculo vivo fueron realizadas por el italiano Carlo Matteucci (1811–1868); pero fue Émile du Bois–Reymond (1818–1896) quien, en la

Universidad de Berlín, obtuvo el primer registro eléctrico derivado de la contracción muscular, al encontrar variaciones en el flujo de una corriente, según la contracción de cada una de las manos introducidas en dos vasos con solución de sulfato de zinc y unidas por un circuito con galvanómetro. A este autor también se le atribuye el descubrimiento de que la piel de la rana tiene a su través una diferencia de potencial eléctrico de casi 0,1 voltios, es decir, la parte interior es unos 100 mV más positiva que la exterior. Interesado en la respuesta motora a la estimulación eléctrica, formuló las primeras leyes sobre la contracción muscular y describió las variaciones en el estado eléctrico de los nervios. Claude Bernard (1813–1878), uno de los mejores fisiólogos de todos los tiempos, también se sirvió de la estimulación eléctrica de los nervios para describir los fenómenos contráctiles y las funciones del sistema nervioso autónomo^{18,22}.

Los clínicos, más preocupados por la aplicación de la corriente eléctrica, también realizaron progresos importantes. Su figura más importante fue Guillaume Benjamín Duchenne de Boulogne (1806–1875), considerado el padre de la electroterapia. Este autor, en 1833 descubrió la manera de estimular eléctricamente un músculo sin incidir necesariamente en la piel, siendo el primer autor en utilizar la estimulación transcutánea mediante la aplicación de electrodos de superficie (Figura 14). En su obra *De l'électrisation localisée et son application à la pathologie et à la thérapeutique* (1855), defendió que la electricidad podía curar muchas enfermedades, y alguno de sus apartados, como por ejemplo el de los puntos motores, está plenamente vigente. Sus descripciones de la distrofia muscular o de la parálisis braquial han universalizado su nombre como epónimo de alguna de las formas de estas enfermedades, desarrollando la electroterapia clínica hasta unos límites difíciles de asimilar en la actualidad^{3,6,23}.



Figura 14. Ilustraciones de las experiencias de Duchenne con pacientes.

Estos puntos motores descritos por Duchenne para incitar la contracción muscular generaron una nueva polémica eléctrica. En esta ocasión ocurrió con el microscopista alemán Robert Remak (1815–1865), quien preocupado por el escaso rigor científico del francés, investigó los puntos motores y los describió como el lugar de entrada del nervio en el músculo, habilitando así los primeros mapas de puntos motores que aún se utilizan hoy en día¹⁸. En esta etapa se expandió la utilización del galvanismo y el faradismo, lo que marcó el surgimiento del electrodiagnóstico a través de la exploración con este tipo de corrientes. Duchenne fue el primero en introducir las corrientes farádicas en la clínica cotidiana tras comprobar que obtenía mejores resultados con ellas que con la corriente continua^{4,18}.

Por último, en este periodo cabe destacar a otros dos personajes. En primer lugar, Nicola Tesla (1856–1943), quien diseñó en 1888 el primer sistema práctico para generar y transmitir corriente alterna, así como el primer motor eléctrico de corriente alterna. A este autor se le puede considerar como el padre del sistema eléctrico del que hoy día disfrutamos. En segundo lugar, a Wilhelm Erb (1840–1921), neurólogo alemán y profesor de la Universidad de Heidelberg. Estudió la electricidad como método de diagnóstico, siendo el primero que sistematizó las observaciones en torno a la diferente excitabilidad de los músculos según la periodicidad de los estímulos, introduciendo conceptos tan importantes como el de umbral de excitación. Sus estudios fueron el punto de partida para la introducción de las curvas intensidad/tiempo y para el electrodiagnóstico moderno^{5,6,18}.

Gracias a estos descubrimientos, durante el siglo XVIII la electricidad comienza a utilizarse como método terapéutico de forma previa a que los pacientes puedan hacer ejercicios voluntarios, para el tratamiento de parálisis y para la prevención y/o restauración de las funciones musculares. A finales del siglo XVIII empiezan a surgir los primeros estudios científicos en el ámbito de la electroterapia. La mayoría de estos estudios tratan acerca de los efectos de la corriente eléctrica sobre los tejidos orgánicos, la utilización de diferentes tipos de corrientes eléctricas y los efectos terapéuticos de las mismas^{24,25}.

Primera mitad del siglo XX: La implantación de la electricidad en el ámbito terapéutico

Durante el siglo XX proliferan los estudios centrados en la electricidad. Convencidos de las teorías de Duchenne y Reymond, Gijsje Hoorweg (1869–1936) y G. Weiss (1859–1931) enunciaron diferentes teorías (1892 y 1901, respectivamente) en relación a la dinámica de las respuestas excitatorias, observando que la intensidad de la contracción muscular inducida se relacionaba con la intensidad del estímulo y su duración^{4,26}. Hoorweg, físico natural de Utrecht (Holanda), fue el primero en llevar a cabo estudios cuantitativos sobre EMS utilizando sencillos aparatos, pero con una alta precisión. Refutó la ley de excitación de Reymond, quien había postulado que el umbral de excitación no se correlaciona con la magnitud de la electricidad aplicada, sino con su cambio con el tiempo²⁷. Weiss, nacido en Bischweiler (Alsacia, Francia), se graduó en ingeniería en Francia. Posteriormente inició sus estudios en medicina, obteniendo el doctorado en medicina en 1889²⁸. Su investigación giró en torno a conseguir diferentes métodos de EMS que pudiesen ser comparados entre sí; postuló que, si los umbrales se expresan como cantidad de electricidad, entonces son comparables incluso si se miden con diferentes formas de onda. Hoy en día son actuales sus investigaciones sobre las “curvas de duración–cantidad” en la estimulación cardíaca²⁷.

En 1909, el francés Louis Lapicque (1866–1952), basándose en la ley de Weiss, calculó la relación matemática entre intensidad y duración de un estímulo para poder excitar un tejido diana e introdujo los conceptos de cronaxia y reobase, relacionándolos por medio de una fórmula y estableciendo que el resultado de la estimulación eléctrica se correlacionaba con la cantidad de corriente que pasaba en la unidad de tiempo. Además, en 1907 describió las famosas curvas intensidad/tiempo¹⁸. En 1919 Georges Bourguignon (1876–1963), uno de los discípulos de Lapicque, inició la medición experimental de la cronaxia de los diferentes grupos musculares del hombre, convirtiendo la cronaximetría en la base del electrodiagnóstico^{3,4}. Este método de diagnóstico

mediante las curvas intensidad/tiempo instaurado por Bourguignon, disparó su aplicación en el ámbito clínico tras la Segunda Guerra Mundial, siendo P. Bauwens en 1941 el que logró las primeras experiencias prácticas²⁹.

Entre 1920 y 1950 el dentista francés Pierre D. Bernard desarrolló las corrientes diadinámicas, las cuales reciben su nombre (corrientes de Bernard)⁴. En 1965, Ronald Melzack y Patrick Walls publican en la revista Science el artículo Pain mechanism: a new theory (Mecanismo del dolor: una nueva teoría), trabajo inherente al mecanismo gate control y la modulación fisiológica del dolor³⁰. Con estos estudios se demostró la potencialidad analgésica de la estimulación eléctrica y su posible aplicación en la terapia del dolor, con el desarrollo de la neuroestimulación eléctrica transcutánea (TENS).

Segunda mitad del siglo XX: La EMS como método de entrenamiento de la fuerza

El primer autor que utilizó la EMS como método de entrenamiento de la fuerza en deportistas sanos fue el Dr. Yakov Mikhailovich Kotz (???? ??????????? ????). Yakov M. Kotz (1931–2014) fue un médico soviético y ruso, profesor y Científico de Honor de la Academia de Ciencias de la Federación Rusa³¹. Se graduó en Medicina en 1952 en el Instituto Médico de Orenburg. Trabajó como médico en el hospital de Tashlinskaya y defendió su tesis doctoral en 1972, titulada Patología cardiovascular y metabolismo de electrolitos³². Durante la década de los años 60 y 70, el atleta olímpico Valeri Borzov (1941–), el halterófilo Vasili Ivánovich Alekséyev (1942–2011), el saltador de altura Vladimir Yatchenko (1959–1999) y los jugadores de hockey Vladimir Yatchenko (1948–1981) y Vladimir Vladimirovich Petrov (1947–2017), utilizaron la EMS bajo la supervisión de Kotz³³. Casualmente, todos estos deportistas consiguieron grandes éxitos en sus disciplinas.

En 1971, Kotz publicó un par de artículos en revistas rusas de escasa divulgación a nivel internacional, sobre la aplicación de EMS en el bíceps braquial y el tríceps sural de deportistas (Figura 15) ^{34,35}. Estos hallazgos fueron conocidos en Canadá, y en 1977 Kotz fue invitado a la Universidad de Concordia (Montreal) a un Congreso de intercambio Canadiense–Ruso³⁶. En él expuso los principales resultados de los trabajos que había llevado a cabo en su país. Esto llevó al grupo de investigación de Michel Portmann (1941–), antiguo saltador de altura Suizo y posteriormente profesor de la Université du Québec à Montréal (Canadá), a convertirse en el referente de las investigaciones sobre EMS llevadas a cabo en Canadá. Replicando durante los años 80 el proceder de Kotz en la URSS, los atletas canadienses Claude Ferragne (saltador de altura, 1952–), Robert Forget (saltador de altura, 1955–2005) y Bishop Dolegiewicz (lanzador de peso y de disco, 1953–2008) también entrenaron con EMS³³.

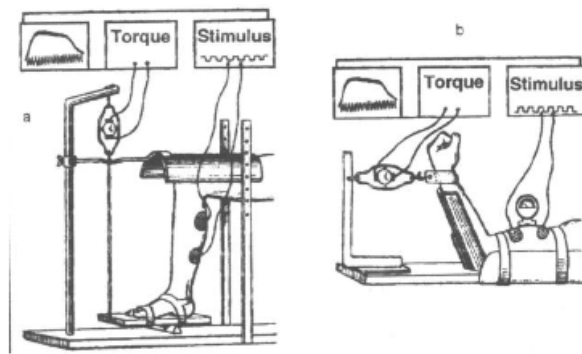


Figura 15. Aparato utilizado para medir la máxima contracción voluntaria y la máxima fuerza inducida por la EMS del tríceps sural (a) y del bíceps braquial (b). Se utilizó un sistema montado sobre la superficie de la piel para medir la dureza del bíceps braquial.

En los años 80 el mismo Kotz fue invitado a participar en un estudio en Canadá utilizando la misma corriente que en sus anteriores trabajos³⁷. Curiosamente, este trabajo no contiene referencia alguna de los estudios previos de Kotz. Años más tarde, Ward y Shkuratova³⁸ tradujeron y analizaron dos de las principales publicaciones en ruso del grupo de investigación de Kotz, pues parecía que algo misterioso y relativo a estos primeros estudios de los rusos se quería mantener en secreto. Las mejoras obtenidas en la fuerza por Kotz oscilaban entre 27–56%³⁴ y entre 30–45%³⁵, siendo las mayores ganancias documentadas hasta ahora. El análisis minucioso de estas primeras publicaciones suscita varias dudas: (i) ¿estas manuscritos siguieron un proceso de revisión por pares?; (ii) los participantes de estos estudios fueron adolescentes (15–17 años) que no habían alcanzado su total madurez y a los que se entrenó como si fueran atletas olímpicos, por lo que el efecto placebo pudo ser elevado³⁸. Pese a todo, las corrientes aplicadas por Kotz, también llamadas corrientes rusas, gozan de gran aceptación en el ámbito de la fisioterapia y muchos aparatos de electroterapia las incluyen entre sus programas prediseñados.

Tras los primeros trabajos de los rusos y los siguientes de los canadienses, en los años 90 destacan los llevados a cabo en el UFR STAPS de la Université de Bourgogne (Dijon, Francia). En esta facultad trabajó Gilles Cometti (1949–2007), entrenador e investigador famoso de ideas revolucionarias en el ámbito del entrenamiento. Fue él quien en 1988 comenzó a investigar en esa universidad los efectos de la EMS en el rendimiento físico. No obstante, sus aportaciones no aparecen tanto en contribuciones científicas como en libros; de hecho, él siempre se consideró un entrenador más que un científico y era increíble ver cómo llenaba auditorios y qué capacidad tenía para transmitir entusiasmo y aplicaciones prácticas a todos los asistentes³⁹. En 1998 llega a esa Universidad Nicola A. Maffiuletti (1973–), quien es considerado actualmente el científico más productivo sobre EMS a nivel mundial.

EMS en España

Es muy probable que la primera referencia que llegó a España sobre la aplicación de la EMS para la mejora del rendimiento fuese en 1975, en la revista *Novedades en entrenamiento de la fuerza muscular II* (Figura 16). Desde 1971 hasta 1977, el Centro de Documentación e Información del INEF de Madrid tradujo regularmente artículos de revistas extranjeras al castellano bajo la Colección *novedades en*. Se publicaron 58 números en este periodo. Entre los traductores estaban Erika Schwartz (alemán),

Mercedes Edo (francés), Dolores Aguado (checo, ruso y eslovaco), y Kazimierz Tytko (polaco), quien seguramente tradujo el artículo titulado Ejemplos de modelos de entrenamiento de fuerza general y dirigida (III)⁴⁰, originalmente publicado en Sport Wyczynowy⁴¹. El artículo resume las aportaciones de Kotz, destacando: (i) la EMS se puede aplicar directamente sobre el músculo o a través del nervio motor; (ii) hay factores que limitan el desarrollo de la fuerza utilizando métodos tradicionales; (iii) la EMS es útil en el entrenamiento deportivo; (iv) a diferencia del entrenamiento volitivo, la excitación eléctrica permite reclutar todas las unidades motrices del músculo, por lo que se consigue un incremento del músculo más rápido y notable; y (v) durante la excitación eléctrica se reclutan las unidades motrices más grandes al estar en la capa más superficial de la musculatura. Finalmente, el artículo resume los resultados del estudio de Kotz y Xvilon³⁴ y muestra el protocolo que se aplicó en ese trabajo.

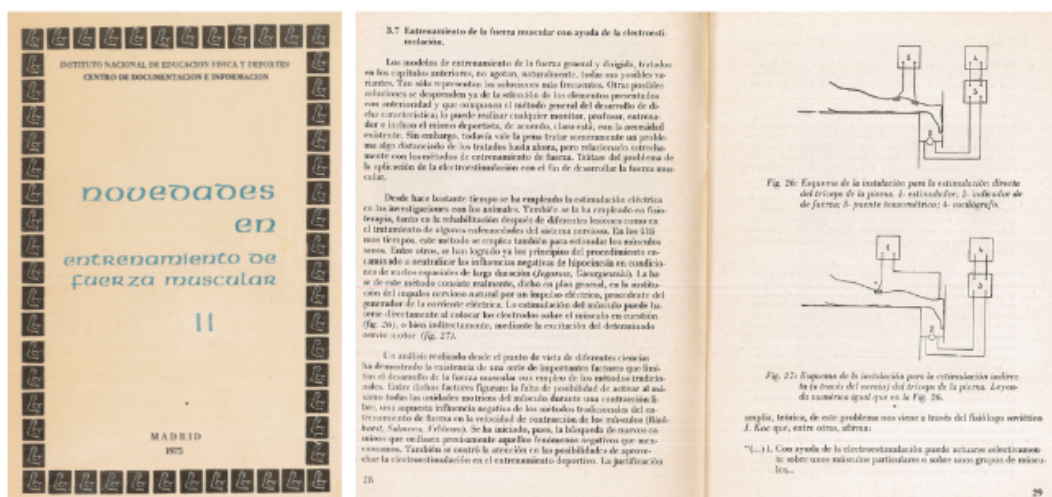


Figura 16. Revista nº35 de la Colección “Novedades en”. Número titulado Entrenamiento de la fuerza II (izquierda). Páginas de comienzo del capítulo sobre entrenamiento con EMS (derecha).

A finales de los años 80 surgen las primeras empresas que comercializan aparatos de EMS orientados al usuario final. En 1986 se crea la empresa suiza Compex®, empresa que lideró el mercado de ventas en España, y que orientaba sus aparatos al entrenamiento deportivo (Figura 17). De hecho, fue habitual ver a deportistas de élite promocionar los aparatos de esta empresa.



Figura 17. El Compex Sport-P (izquierda) fue el primer electroestimulador portátil en salir al mercado orientado a deportistas (1988). El Compex Fitness (derecha) fue el primer electroestimulador portátil orientado al gran público (1996).

Otras empresas de aparatos de EMS portables que llegaron a España en esta época fueron: Slendertone®, nombre comercial de Bio–Medical Research Limited, marca irlandesa que comercializa productos médicos; Sport–Elec®, empresa familiar con origen en Normandía (Francia), que fabrica y comercializa sus propios aparatos; GLOBUS®, empresa italiana especializada en aparatos eléctricos médicos; Valmed SA®, empresa suiza centrada en aparatos de estimulación eléctrica. Gracias a la expansión y fácil acceso a esta tecnología, los estudios científicos sobre EMS proliferan en este período (Figura 18).

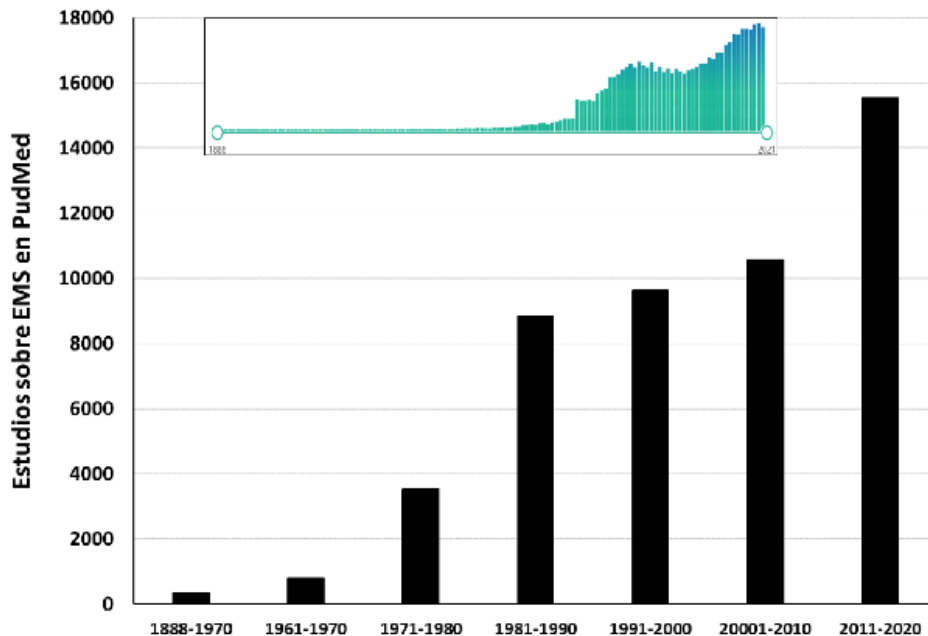


Figura 18. Estudios sobre (electromyostimulation OR "electrical stimulation") realizados en humanos en PubMed. Búsqueda (26/11/2020).

Con la comercialización también surgieron aparatos de muy baja calidad, que solían aparecer en los anuncios de tele–tienda (o tele–ventas). Estos anuncios contenían y transmitían publicidad engañosa. Por ejemplo, en los años 90 el anuncio del aparato Beauty Center, protagonizado por la presentadora y actriz española Norma Duval, aseguraba que la EMS era capaz de convertir la grasa en músculo. De hecho, el anuncio mostraba con una animación cómo la EMS derretía la grasa, la cuál se metía dentro del músculo para incrementar su tamaño. En resumen, a final de la década de los 90 la EMS pasó a ser un método de entrenamiento conocido por la población, y en varias Universidades Españolas se empezó a realizar investigaciones sobre su efectividad.

En la primera década del siglo XXI se publican las primeras tesis doctorales sobre entrenamiento con EMS en España por Bernardo Requena⁴² y Azael J. Herrero⁶, en las Universidades de Granada (en 2005) y León (en 2006), respectivamente. El cuerpo de conocimiento sobre la EMS local es muy amplio y se establecen sus parámetros óptimos para conseguir diferentes objetivos de entrenamiento en varios artículos de revisión^{43–47}.

En 2002 surge la primera referencia⁴⁸ a la EMS de cuerpo completo (WB–EMS, de Whole Body Electromyostimulation), si bien el primer artículo publicado en una revista indexada en ISI–JCR apareció en 2010⁴⁹. Las primeras empresas que emergen en el

mercado español comercializando aparatos de WB-EMS son Miha-Bodytec (2010), E-fit (2011), X-Body (2013), Loncego (2013) y Amplitrain (2014). En 2013 comienzan a surgir en España centros de entrenamiento con EMS de cuerpo completo, llamados en muchos casos centros de electrofitness o de EMS integral. Durante 2014, hay una fuerte expansión de estos centros por todo el territorio español, contabilizándose en 2015 un total de 59 empresas (343 centros) distribuidas en 41 de las 52 provincias españolas⁵⁰. Pese a que ha habido un declive importante en este tipo de centros en los últimos años, tanto la EMS local como la WB-EMS son métodos de entrenamiento que actualmente utilizan muchos profesionales del ejercicio físico y entrenamiento.

Conclusiones

El presente artículo ha realizado un recorrido histórico destacando aquellos autores, descubrimientos, invenciones y hechos relevantes y relativos a la electricidad, electroterapia y electroestimulación. Si bien desde la Antigüedad se tiene constancia de fenómenos bioeléctricos, no fue hasta el siglo XVI cuando se acuña el término electricidad (vim electricam). En el siglo XVII se inventan los primeros generadores eléctricos y durante el siglo XVIII se producen avances en el desarrollo de la electricidad, a la vez que otros científicos comienzan a aplicarla al ser humano con diferentes fines. En el siglo XIX se puede considerar que surge como tal la electroterapia de la mano de Duchenne de Boulogne, mientras que en el siglo XX Yakov Kotz es el primero en utilizar la EMS para el entrenamiento de deportistas. Hoy en día existe una amplia gama de aparatos de EMS y la investigación ha avanzado lo suficiente como para conocer los parámetros óptimos de EMS local y de cuerpo completo orientados al desarrollo de la fuerza y masa muscular.

Conflicto de intereses

Pese a que aparezcan nombres de casas comerciales, el motivo ha sido únicamente documentar hechos. En tal sentido, los autores declaran no tener cualquier conflicto de interés con alguna de las casas comerciales mencionadas.

Agradecimientos

A Vera Sheljasov, gran amiga, por sus traducciones de diferentes textos en ruso sobre Yakov M. Kotz. A nuestro excompañero de la UEMC Rafael González Mejías, por facilitarnos el nº35 de la colección "Novedades en" del INEF de Madrid. A Dña. Pilar Irureta-Goyena Sánchez, Directora de la Biblioteca del INEF de la UPM, por la información aportada sobre el Centro de Centro de Documentación y Traducción del INEF de Madrid. A Antonio Reyes Chica por la información facilitada sobre el surgimiento de las empresas de WB-EMS en España. Finalmente, a Juan García López, a Juan Carlos Morante Rábago y a Nicola Maffiuletti por las aportaciones realizadas en la primera versión que se escribió sobre la historia de la electroestimulación en mi tesis doctoral⁶.

Referencias

1. Gadsby, J. Electroanalgesia: Historical and Contemporary Developments. [Thesis]. Montfort University Leicester, 1998.
2. Martin, R. Biology of sharks and rays. <http://www.elasmo->

- research.org/education/shark_profiles/torpediniformes.htm, 2003. [Consultado 29/11/2020]
3. Boscheti, G. ¿Qué es la electroestimulación? Teoría y práctica del entrenamiento. Paidotribo, 2004.
 4. Martínez, A., Paseiro, G., Fernández, R. & Raposo, I. Historia de la electroestimulación. en Electroestimulación aplicada p.29-47. Fundación para el desarrollo de la formación continuada sanitaria, 2003.
 5. Martínez-Domínguez, F. Historia de la electricidad. <http://www.oocities.org/femado/historia.html>, [Consultado 29/11/2020]
 6. Herrero, A. Efectos inducidos por el entrenamiento de fuerza con electroestimulación neuromuscular en la fuerza y potencia muscular. [Tesis Doctoral]. Universidad de León, 2006.
 7. Cilliers, L. & Retief, F. Poisons, poisoning and the drug trade in ancient Rome. *Akroterion* 45, 88-100, 2000.
 8. Jocks, I. The *Compositiones Medicamentorum* of Scribonius Largus. [Thesis]. University of Glasgow, 2013.
 9. Rodríguez, A. Historia de la electroterapia en España durante el siglo XIX: la obra electroterapéutica de Eduardo Bertrán Rubio. [Tesis Doctoral]. Universidad de León, 2011.
 10. Nigg, B. & Herzog, W. Selected historical highlights. en *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. 2nd edition. p.3-35 , Wiley, 1994.
 11. Colwell, H. An essay on the history of electrotherapy and diagnosis. 1922. Facsimile Publisher, 2016.
 12. Borrelli, A. Magia napolitana de Giovan Battista Della Porta y su meteorología humanística. en *Variantología* 5. Asuntos napolitanos. 2011.
 13. Bruno, L. Landmarks of Science. The Collections of the Library of Congress, 1989.
 14. TRS. Historia de la Royal Society. The Royal Society <https://royalsociety.org/about-us/history/>, 2020. [Consultado 29/11/2020]
 15. Lancina-Martín, A. La creación de las Academias de Medicina en España. *Urología e Historia de la Medicina* <http://drlancina.blogspot.com/2012/10/la-creacion-de-las-academias-de.html>, 2012. [Consultado 29/11/2020]
 16. Arriaga-Cantullera, J. Historia de la Regia Sociedad de Medicina y demás Ciencias de Sevilla. *Arch. Hispalense Rev. Histórica Lit. y Artística* 14, 373-412, 1951.
 17. Ballesteros-Massó, R., Gómez-Barrena, E. & Delgado-Martínez, A. Historia de la Traumatología y Cirugía Ortopédica. <http://www.ujaen.es/investiga/cts380/historia/resumentexto.htm>, 2020. [Consultado 29/11/2020]

18. Climent, J. La electricidad médica. en Historia de la rehabilitación médica. p.93-129 EDIKAMED, 2001.
19. Weisstein, E. Cavendish, Henry (1731-1810). World of Biography <https://scienceworld.wolfram.com/biography/Cavendish.html>, 2007. [Consultado 29/11/2020]
20. Rach, P. & Burke, R. Historia de la kinesiología. en Kinesiología y anatomía aplicada. La ciencia del movimiento humano, Ateneo, 1980.
21. Plaja, J. Electrodiagnóstico. en Guía práctica de electroterapia. p.60-68. CARIN-Electromedicarin, 1999.
22. Cerejido, M. Qué es la biofísica. Cienc. Nueva 14, 28-33, 1972.
23. Rozados, R. Historia antigua. Psicomag.com [http://www.psicomag.com/historia/HISTORIA ANTIGUA.php](http://www.psicomag.com/historia/HISTORIA_ANTIGUA.php), 2015. [Consultado 29/11/2020]
24. Hainaut, K. & Duchateau, J. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. Sports Med. 14, 100-113, 1992.
25. Heyters, M., Carpentier, A., Duchateau, J. & Hainaut, K. Twitch analysis as an approach to motor unit activation during electrical stimulation. Can. J. Appl. Physiol. 19, 451-461, 1994.
26. Blair, H. A. On the quantity of electricity and the energy in electrical stimulation. J. Gen. Physiol. 19, 951-964, 1936.
27. Irnich, W. The fundamental law of electrostimulation and its application to defibrillation. Pacing Clin. Electrophysiol. 13, 1433-1447, 1990.
28. Irnich, W. Georges Weiss' fundamental law of electrostimulation is 100 years old. Pacing Clin. Electrophysiol. 25, 245-248, 2002.
29. Bauwens, P. Electro-Diagnosis and Electrotherapy in Peripheral Nerve Lesions. Proc. R. Soc. Med. 34, 459-468, 1941.
30. Melzack, R. & Wall, P. D. Pain mechanisms: a new theory. Science 150, 971-979, 1965.
31. El famoso cardiólogo Yakov Kots falleció en Orenburg. <https://ria56.ru/posts/354657687997867564534234.htm>, 2014. [Consultado 29/11/2020]
32. Cardíaca., J. D. de la S. de E. en I. Obituario: YaKov Kotz. <https://web.archive.org/web/20150402160817/http://medic.ossn.ru/news/11/7329/>, 2014. [Consultado 29/11/2020]
33. Cometti, G. La electroestimulación: Historia en Los Métodos Modernos de Musculación. p.117-140. Paidotribo, 1998.
34. Kotz, Y. & Xvilon, V. Trenirovka mishechnoj sili metodom elektrostimuliatsii:

soobschenie 2, trenirovka metodom elektricheskogo razdrazenii mishechi. [Entrenamiento de fuerza muscular mediante estimulación eléctrica: comunicación 2, entrenamiento eléctrico irritación muscular. Teor Pr. Fis Cult 4, 66-72, 1971.

35. Andrianova, G., Kots, Y., Marmyanov, V. & Xvilon, V. Primenenie elektrostimuliatsii dlia trenirovki mishechnoj sili. [Estimulación eléctrica para entrenar la fuerza muscular]. Nov. Med. Priborostr. 3, 40-47, 1971.

36. Babkin, D., Timtsenko, N. & trans. Dr. YM Kotz (USSR) lectures and laboratory periods, en Canadian-Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscles, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada December 6-15, 1977.

37. St Pierre, D., Taylor, A. W., Lavoie, M., Sellers, W. & Kots, Y. M. Effects of 2500 Hz sinusoidal current on fibre area and strength of the quadriceps femoris. J. Sports Med. Phys. Fitness 26, 60-66, 1986.

38. Ward, A. R. & Shkuratova, N. Russian electrical stimulation: the early experiments. Phys. Ther. 82, 1019-1030, 2002.

39. Herrero, A. Conversación con Gilles Cometti en UFP STAPS, Université de Bourgogne. Junio 2005.

40. Wazny, Z. Ejemplos de modelos de entrenamiento de fuerza general y dirigida (III). Novedades en 35, 1-35, 1975.

41. Wazny, Z. Przuladowe modele treningu sily ogólnej i ukierunkowanej (III). Sport Wyczyn. 12, 34-48, 1974.

42. Requena, B. Efectos de la aplicación de estimulación eléctrica percutánea en relación con la potenciación postetánica y la manifestación de la fuerza y la potencia muscular. [Tesis doctoral]. Universidad de Granada, 2005.

43. Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U. & Mester, J. Electromyostimulation--a systematic review of the effects of different electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. J. strength Cond. Res. 26, 2600-2614, 2012.

44. Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U. & Mester, J. Electromyostimulation--a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. J. strength Cond. Res. 25, 3218-3238, 2011.

45. Maffiuletti, N. A. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. Eur. J. Appl. Physiol. 110, 223-234, 2010.

46. Bax, L., Staes, F. & Verhagen, A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. Sports Med. 35, 191-212, 2005.

47. Gondin, J., Cozzone, P. J. & Bendahan, D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? Eur. J. Appl. Physiol. 111, 2473-2487, 2011.

48. Boeckh-Behrens, W. & Treu, S. Vergleich der trainingseffekte von konventionellem krafttraining, maxxF und EMS-Training in den bereichen Körperzusammensetzung, Körperformung, Kraftentwicklung, Psyche und Befinden, 2002.
49. Kemmler, W., Schliffka, R., Mayhew, J. L. & von Stengel, S. Effects of whole-body electromyostimulation on resting metabolic rate, body composition, and maximum strength in postmenopausal women: the Training and ElectroStimulation Trial. *J. strength Cond. Res.* 24, 1880-1887, 2010.
50. Cámara-Serrano, M. El sector del fitness en España; análisis del gimnasio lowcost y los centros de electroestimulación integral. *Sport. Rev. Euroam. Ciencias del Deport.* 4, 47-57, 2015.

Link to Original article: <https://www.congresodefuerza.com/journal-nsca-spain/historia-de-la-electroestimulacion-en-el-mundo-y-en-espana-revision-narrativa?elem=303475>