

Revisión

Los usos terapéuticos de los campos magnéticos

Therapeutic uses of magnetic fields

Dr. Miguel Ángel Arocha Enamorado, Especialista en Logopedia y Foniatría, Policlínico “Faustino Pérez Hernández”, Cuba, miguelarocha@grannet.sld.cu

Dra. Osmarie Barbosa Rodríguez, Especialista en Logopedia y Foniatría, Hospital Clínico Quirúrgico “Calixto García Íñiguez”, Cuba, osmarie@nauta.cu

M. Sc. Yipsi del Carmen Tassé Espinosa, Profesora Asistente, Universidad de Granma, Cuba, ytassee@udg.co.cu

Recibido: 27/11/2018 Aceptado: 21/12/2018

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo establecer el estado del arte acerca de los campos magnéticos y sus usos terapéuticos, con énfasis en el mecanismo de acción frente a procesos inflamatorios. Se exponen los resultados de una revisión sistemática de la bibliografía clínica relacionada con el tema investigado en revistas especializadas. Los autores describen los antecedentes históricos generales del estudio de los campos magnéticos, se analizan la evolución y actualidad de estos como herramienta terapéutica, y se profundiza en el mecanismo de acción frente a procesos inflamatorios. Se emplearon como muestra para el estudio 12 pacientes en consulta de Genética del policlínico docente Faustino Pérez Hernández del municipio Buey Arriba, Granma, Cuba. Su importancia radica en demostrar desde la teoría la aplicación de los campos magnéticos y su evolución en pacientes con tratamientos relacionadas con terapéutica del campo magnético. Es propósito del colectivo de autores demostrar que: Los campos magnéticos poseen un amplio espectro de aplicaciones en el tratamiento de patologías humanas. Y que constituyen una poderosa herramienta terapéutica frente a procesos inflamatorios. Los métodos más empleados fueron la revisión bibliográfica, la observación directa para establecer las necesarias relaciones entre la teoría y la evolución satisfactoria de los pacientes sometidos a tratamiento.

Palabras clave: campos magnéticos; terapia de campo magnético; inflamación; quimiotaxis; factores quimiotácticos; quimiocinas

ABSTRACT

This article has like objective to establish the status of the art about the magnetic fields and its therapeutic uses, with emphasis in the mechanism of action in front of inflammatory processes. .Los expose the results of a systematic revision of the clinical bibliography related with the theme investigated in specialized magazines themselves the authors describe the historic general background of the study of the magnetic fields, they examine the evolution and present time of these like therapeutic tool, and you get deep in the mechanism of action in front of inflammatory processes. Used him as Faustino Pérez Hernández of the municipality shows for the study 12 patients in consultation of Genética of the teaching poly-clinician Ox Arriba, Granma, Cuba. His importance consists in demonstrating from the theory the application of prologue magnetic fields and his evolution in patients with treatments related with therapeutics of the magnetic field. Purpose comes from authors' bus proving that magnetic fields possess an ample spectrum of applications in the treatment of human pathologies. And that they constitute a powerful therapeutic tool in front of inflammatory processes. The most used methods were the revision bibliographic, the direct observation to establish the necessary relations between the theory and the satisfactory evolution of the patients submitted to treatment.

Key words: magnetic fields; therapy of magnetic field; inflammation; quimiotaxis; factors quimiotácticos; quimiocinas

INTRODUCCIÓN

Para efectuar la presente revisión se revisaron las bases de datos Scielo y ScienceDirect, solicitando los artículos en español o inglés, publicados en los últimos 20 años, que en su texto tuvieran los términos del *Medical Subject Headings*(MeSH): *Magnetic Fields* (Campos Magnéticos), *Magnetic Field Therapy* (Terapia de Campo Magnético). Los artículos recuperados fueron sometidos a un análisis en el que se identificaron antecedentes, figuras importantes, tendencias evolutivas, estado actual, patologías tratadas y se profundizó en las bases teóricas que explican el mecanismo de acción de los campos magnéticos frente a procesos inflamatorios.

Desarrollo

Antecedentes históricos generales.

El conocimiento del magnetismo por el hombre se considera que nació hace más de 3.500 años, en plena Edad del Hierro. Ya en las antiguas civilizaciones de Egipto, China y la India se sabía que una piedra específica, la magnetita, era capaz de atraer o adherirse a fragmentos de hierro o a piezas que contuvieran este mineral(Rinker, 1997; Warnke y Warnke, 1996).

En China, la primera referencia al fenómeno del magnetismo se encuentra en un manuscrito del siglo IV A.C. titulado *Libro del amo del valle del diablo*(Fundación Wikimedia, 2018d).

Respecto al origen del término magnetita, el naturalista romano Plinio el Viejo (23-79 D.C.) refiere citando a Nicanor de Colofón (siglo II A.C.), que tal vocablo se derivaba del nombre de un pastor llamado Magnes, el cual notó, mientras llevaba su rebaño a pastar, que el suelo ejercía atracción sobre los elementos de hierro de sus botas y bastón, descubriendo, al remover la tierra, que la causa del fenómeno se encontraba en una piedra que allí abundaba, con la extraña propiedad de atraer al hierro(Zayas Guillot, 2002).

Fue específicamente en la antigua Grecia donde vivió el filósofo que estudió el fenómeno del magnetismo por primera vez: Tales de Mileto (624-548 A.C.)(Fundación Wikimedia, 2018d; Zayas Guillot, 2002).

Siglos más tarde, el científico chino ShenKua (1031-1095) mejoró la precisión en la navegación al emplear el concepto astronómico del norte absoluto y describir en su libro *Mengxi Bitan* la primera brújula de aguja magnética, con lo que se adelantó en más de una centuria a Alexander Neckham, primer europeo en desarrollar esta tecnología, en 1187(Fundación Wikimedia, 2018d).

El término Piedra imán, como sinónimo de magnetita, fue empleado por primera vez por los alquimistas europeos, a principios de la Edad Media, atribuyéndosele numerosas propiedades, como la capacidad de proporcionar vigor, aliviar el dolor, aportar salud y detener los procesos de envejecimiento(Zayas Guillot, 2002).

Los estudios sobre las propiedades de los imanes continuaron durante la Edad Media conduciendo a que, en el siglo XVI, PhilippusAureolusParacelso (1493-1541) utilizara los imanes en múltiples procesos inflamatorios del soma, heridas supurantes, ulceraciones y otras afecciones del cuerpo. Igualmente, tras la confirmación de que la tierra era redonda, en la primera mitad del siglo XVI, se produjeron en los cuatro siglos siguientes, importantes progresos, sobre todo en el campo de la física, que indujeron a los científicos a considerarla como un gigantesco imán con sus respectivos polos magnéticos, en el norte y en el sur(Rinker, 1997; Warnke y Warnke, 1996; Zayas Guillot, 2002).

En el año 1600 vio la luz la importante obra *De magnete, magneticisquecorporibus, et de magno magnetetellure* (Sobre los imanes, los cuerpos magnéticos y el gran imán terrestre), abreviado como *De Magnete*, cuyo autor, William Gilbert de Rochester (1540-1603), Presidente del Colegio Médico de la Reina Isabel I, revolucionó con sus descubrimientos y nuevas hipótesis, las nociones que hasta entonces existían acerca del magnetismo terrestre y universal, convirtiéndose en uno de los pioneros de la física experimental (Fundación Wikimedia, 2018d; Rinker, 1997; Warnke y Warnke, 1996; Zayas Guillot, 2002).

En 1785, es develada la Ley de Coulomb, nombrada así en honor a su descubridor, el físico e ingeniero francés Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), según la cual la atracción o la repulsión entre dos polos magnéticos con cargas diferentes o iguales, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa (Rinker, 1997).

Hasta principios del siglo XIX, los fenómenos magnéticos y eléctricos se habían venido estudiando de manera separada, razón por la que el conocimiento del magnetismo se mantuvo limitado a los imanes. Un importante descubrimiento se produjo en 1820 cuando Hans Christian Ørsted, profesor de la Universidad de Copenhague, descubrió que un hilo conductor sobre el que circulaba una corriente ejercía una perturbación magnética a su alrededor, que llegaba a poder mover una aguja magnética situada en ese entorno (Fundación Wikimedia, 2018d), encontrando así evidencia empírica de que los fenómenos magnéticos y eléctricos estaban relacionados (Fundación Wikimedia, 2018c).

En 1820, André-Marie Ampère (1775-1836) enuncia la ley de la electrodinámica e imagina el solenoide, lanzando también su célebre teoría de la corriente molecular, según la cual innumerables partículas minúsculas, cargadas eléctricamente, estarían en movimiento dentro del conductor; teoría que es rechazada por los científicos de la época y no se impone hasta sesenta años después, gracias al descubrimiento del electrón (Fundación Wikimedia, 2018a; Sosa Salinas, Espinosa Rodríguez, y Morfa Viamontes, 1996).

Teniendo como base los trabajos de Ampère, fue construido en 1825 el primer electroimán, por el físico e inventor británico William Sturgeon (1783-1850) (Sosa Salinas et al., 1996; Zayas Guillot, 2002).

En 1831 el físico inglés Michael Faraday (1791-1867) describió el campo magnético alrededor de un conductor por el que circula una corriente eléctrica (ya descubierta por Ørsted), y ese mismo año descubrió la inducción electromagnética, demostró la inducción de una corriente eléctrica por otra, e introdujo el concepto de líneas de fuerza, para representar los campos

magnéticos; razones por las que se le considera el fundador del biomagnetismo y la magnetoquímica. Confirmó que toda la materia es magnética, es decir, la materia es atraída o repelida por un campo magnético(Fundación Wikimedia, 2018d; Zayas Guillot, 2002).

En 1839 Gauss (1777-1855), uno de los grandes teóricos de la física matemática, publicó su *Atlas des Era-Magnetismus*(Sosa Salinas et al., 1996).

A pesar de que al comenzar la década de los '70 del siglo XIX existía un importante cúmulo de evidencias científicas acerca de la relación entre los fenómenos magnéticos y eléctricos, estos seguían siendo estudiados por separado. Es así que en 1865 son publicadas las Ecuaciones de Maxwell que asumían los campos eléctricos y los magnéticos como manifestaciones de un solo campo; el electromagnético. Tales ecuaciones adoptaron el nombre de su progenitor, el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879).(Fundación Wikimedia, 2018b, 2018c) En 1884, las ecuaciones originales fueron agrupadas y reformuladas por Oliver Heaviside (1850-1925) y Willard Gibbs (1839-1903), adoptando así la notación vectorial actual(Fundación Wikimedia, 2018b).

Los trabajos de Maxwell y quienes le antecedieron sirvieron de guía, estímulo y sustento a los esfuerzos de los grandes científicos que en años posteriores siguieron sus pasos, tales como Röntgen, Curie, Rutherford, Plank, Einstein, y muchos otros.

Justo desde su surgimiento, la vida en la tierra ha estado perennemente sometida a la energía magnética irradiada por la Tierra, la cual es en sí misma un gigantesco imán natural de 0,5 Gauss promedio(Zayas Guillot, 2002), es por ello que, desde épocas tempranas de la ciencia, existió un esfuerzo constante por estudiar los efectos terapéuticos de los campos magnéticos sobre el organismo humano, empresa verdaderamente alcanzada con la introducción de métodos químicos y físicos en el estudio de la estructura subcelular, que ha dado lugar al surgimiento de la magnetobiología como rama de las ciencias naturales(Sosa Salinas et al., 1996).

Evolución y actualidad como herramienta terapéutica.

La irrupción de la generación eléctrica, las redes de distribución, los equipos eléctricos domésticos e industriales, las telecomunicaciones y la televisión en la sociedad moderna, trajo consigo la formación de nuevos campos magnéticos creados por el hombre, gracias a los cuales se incrementó la exposición del ser humano, tanto en el hogar como en otros contextos, a una mezcla compleja de débiles campos magnéticos y eléctricos, emplazados en una región

del espectro electromagnético conocida como de frecuencia extremadamente baja, la cual se define por frecuencias de 3 a 3000 Hz(D'Angelo, Costantini, Kamal, y Reale, 2015).

Los campos eléctricos de baja frecuencia influyen a todos los sistemas caracterizados por partículas cargadas; como el organismo humano. De hecho, pequeñas corrientes eléctricas existen en el cuerpo humano debido a reacciones químicas que ocurren como parte de funciones corporales normales, las cuales pueden ser susceptibles a la acción de campos eléctricos externos(D'Angelo et al., 2015).

En consecuencia, cualquier exploración que se haga en las principales bases de datos del mundo permitiría concluir rápidamente que es, en la esfera de la medicina, donde más aplicaciones ha encontrado el uso de los campos magnéticos, avalado ello por el impresionante número de publicaciones que existen al respecto, las cuales dan cuenta de tres vertientes investigativas fundamentales hacia las cuales se orientan tales estudios:

- Efectos nocivos de los campos magnéticos sobre el hombre (epidemiología).
- Los campos magnéticos como medio diagnóstico.
- Los campos magnéticos como medio terapéutico (magnetoterapia).

Respecto a esta última vertiente, la magnetoterapia es definida como el método terapéutico mediante el cual actúan sobre el organismo campos magnéticos constantes o variables de baja frecuencia, obtenidos mediante imanes naturales o artificiales(Cardentey García, González García, y Porras Mitjans, 2016; Rodríguez Pino, Ortiz Vázquez, González Gáme, y Álvarez-Guerra González, 2016).

Es un método de tratamiento económico, accesible, no invasivo, con alto poder de penetración y efecto acumulativo, que ha demostrado un nivel de éxito elevado, dados sus efectos antiinflamatorio, vasodilatador, analgésico, cicatrizante, antiedematoso y biomodulador con influencia inmunológica(Cardentey García et al., 2016; Herrera Santos, Valenzuela Fonseca, y Torres Alvarado, 2018; Rodríguez Pino et al., 2016).

Dentro de los principales antecedentes del empleo de los campos magnéticos con fines terapéuticos se pueden relacionar los trabajos de Lente, en 1850, y Garrant, en 1860, en los cuales se reporta la curación de pacientes con retardo de consolidación de fracturas y pseudoartrosis, aplicando corriente eléctrica(Zayas Guillot, 2002).

Ya a mediados del siglo XX, el investigador japonés Yasuda, descubrió que en los huesos lesionados, se presentaban corrientes eléctricas endógenas que son las responsables de

desencadenar los mecanismos de reparación del hueso lesionado(Fundación Wikimedia, 2018e).

Sobre esta base Yasuda y Fukada descubrieron que cuando los huesos secos son sometidos a una compresión mecánica es posible medir un voltaje; fenómeno actualmente conocido como efecto piezoeléctrico, el cual fue confirmado posteriormente en el hueso vivo, el colágeno y el tejido cartilaginoso, durante la primera mitad de la década de los '60, por Bassett, Becker, Shamos y otros, quienes agregaron que los potenciales son negativos en el área de la compresión y positivos en el área de distracción. En 1968, Anderson y Ericsson reportaron la existencia, en los huesos vivos y húmedos, de los potenciales de corriente de flujo o electroquinéticos(Zayas Guillot, 2002).

Todos estos estudios permitieron llegar a la conclusión de que, aplicando una estimulación eléctrica externa, se estimula también la respuesta de reparación de tejido óseo y blando(Fundación Wikimedia, 2018e).

En Cuba, los primeros equipos de magnetoterapia arribaron al país en la década del '70 del pasado siglo, procedentes del extranjero. La fabricación de dichos equipos en suelo nacional se inició en 1985-1986, con la producción de ocho equipos ECMP-01 y 10 de corriente directa bipolar CDB-402; todos para el tratamiento de patologías óseas(Zayas Guillot, 2002).

En la actualidad, los campos electromagnéticos han alcanzado un amplio espectro de aplicaciones médicas, siendo pródigamente usados en neurología, psiquiatría, reumatología, ortopedia y dermatología(D'Angelo et al., 2015).

En el ámbito médico contemporáneo se reconoce, por ejemplo, que la magnetoterapia es capaz de causar un efecto estimulador del metabolismo y vascular, así como antiinflamatorio(Guisasola Lerma y Calduch Selma, 2014). Igualmente, mejora el trofismo óseo(Herrera Santos et al., 2018; Jiménez Borrero y Cuenca-González, 2015) y la clínica del dolor(Herrera Santos, Valenzuela Fonseca, y Álvarez Cortés, 2016; Jiménez Borrero y Cuenca-González, 2015; Rodríguez Pino et al., 2016).

Al respecto se cree que el mecanismo de analgesia de la magnetoterapia está dado por el efecto bloqueador en los canales de potasio y la liberación de péptido opiáceo, lo que incrementa la actividad analgésica(Cardentey García et al., 2016).

Son diversos los autores que recomiendan su uso como medio para evitar la coagulación(Ayub, Hayat, Asghar, y Ahmad, 2017) y regular el flujo sanguíneo local(Ayub et al., 2017; Fergany, Shaker, Arafa, y Elbadry, 2017); de igual forma, en el tratamiento de desórdenes

neurológicos(D'Angelo et al., 2015; Herrera Santos et al., 2018; Jiménez del Barrio et al., 2018; Manturova, Stupin, Smirnova, y Silina, 2018), y el dolor posoperatorio(Koleganova, Krasnyakova, Pintus, y Shapovalenko, 2014); en trastornos urinarios, como la incontinencia urinaria en mujeres de mediana edad(Martínez Torres, 2014) y en pacientes con disfunción de vejiga sobreactivaneurogénica secundaria a lesión suprasacral de la médula espinal(Fergany et al., 2017).

Igualmente, es recomendada como parte del tratamiento rehabilitador tras cirugía artroscópica(Guisasola Lerma y Calduch Selma, 2014), así como en los comportamientos adictivos, los desórdenes alimenticios y la depresión(Grall-Bronnec y Sauvaget, 2014).

Se conoce además que los campos electromagnéticos pulsados en rangos de intensidad y frecuencia bajos (Gauss o micro-Tesla) pueden reducir los síntomas de la esclerosis múltiple(Lappin, Lawrie, Richards, y Kramer, 2003), incrementan la oxigenación de la sangre, mejoran la circulación y el metabolismo celular, favorecen la función en la fibromialgia y reducen el dolor y la fatiga causados por esta(Sutbeyaz, Sezer, Koseoglu, y Kibar, 2009).

Mecanismo de acción frente a procesos inflamatorios.

Por otro lado, los campos electromagnéticos han sido comúnmente empleados ante algunas condiciones patológicas para estimular la regeneración y reparación tisular(Bertolino, De Freitas Braga, De Oliveira Lima do Couto, De Brito Junior, y De Araujo, 2006), existiendo numerosas evidencias clínicas y experimentales que soportan su uso, sobre todo, en la reparación de huesos; sin embargo su aplicación en la restauración de tejidos blandos, incluyendo la piel y los tendones, se mantiene ambigua, no obstante, algunos autores sí han logrado demostrar, por ejemplo, su capacidad para reducir la duración del periodo de cicatrización de heridas(Cheing, Li, Huang, Kwan, y Cheung, 2014) y mejorar la resistencia a la tracción en las cicatrices(Goudarzi, Hajizadeh, Salmani, y Abrari, 2010).

Dentro de los estudios que han contribuido a la comprensión del efecto sobre los tejidos blandos, se encuentra el de Roland et al., quien aplicó en modelos de ratas energía magnética pulsada, logrando estimular la neovascularización en estas(Roland, Ferder, Kothuru, Faierman, y Strauch, 2000); fenómeno confirmado posteriormente por Weber et al.(Weber, Navarro, Wu, Yu, y Strauch, 2004).

Evidencia empírica reciente indica que la cicatrización más rápida de las heridas, observada cuando estas son tratadas con campos electromagnéticos, puede obedecer a los efectos

antiinflamatorios causados por los cambios en el sistema de coagulación, y el mejoramiento de la microcirculación y la reactividad inmunológica(Matic et al., 2009).

En tal sentido, Callaghan et al. (2008) demostraron que, tras la exposición a campos electromagnéticos, se produce un incremento en la proliferación y tubulización de cultivos de células endoteliales, y en la expresión del Factor 2 de Crecimiento de Fibroblastos (FGF-2), el cual se sabe que es un potente estimulador de la angiogénesis(Callaghan et al., 2008).

Por su parte, Vianale et al. mostraron en 2008 que la exposición a campos electromagnéticos no solo puede estimular, durante la cicatrización, la reepitelización de los tejidos dañados, sino también inhibir los procesos inflamatorios, al modular la producción de los factores quimiotácticos RANTES, MCP-1, MIP-1 α e IL-8, así como el crecimiento de los keratinocitos, a través de la inhibición de las vías de señalización del Factor Nuclear Potenciador de las Cadenas Ligeras Kappa de las Células B Activadas (NF-kB)(Vianale et al., 2008). El NF-kB es un complejo proteico que controla varios genes involucrados en la inflamación, por lo que se encuentra activado crónicamente en enfermedades inflamatorias(Fundación Wikimedia, 2018f; Monaco et al., 2004).

Otros reportes recientes han igualmente confirmado una respuesta antiinflamatoria de los tejidos blandos expuestos a campos electromagnéticos, los cuales, según el criterio de (Pesce et al.), actúan sobre las citocinas provocando una transición de un estado proinflamatorio crónico a un estado antiinflamatorio(Pesce, Patruno, Speranza, y Reale, 2013).

Tales puntos de vista han sido enriquecidos por trabajos como el de Patruno et al., quienes mostraron la capacidad de los campos electromagnéticos de inducir la proliferación de los keratinocitos, regular la actividad del Óxido Nítrico Sintasa(NOS), así como reducir la expresión de la proteína proinflamatoriaProstaglandina-EndoperóxidoSintasa 2 (también conocida como Ciclooxygenasa 2 o COX-2) y la producción de Prostaglandina E-2 (PGE-2), involucradas en la modulación de la reacción inflamatoria(Patruno et al., 2010).

Las quimiocinas son citocinasquimiotácticas de bajo peso molecular que, al actuar como quimioatrayentes, juegan un papel relevante en los eventos inflamatorios, tales como la migración transendotelial y la acumulación de leucocitos en el sitio dañado, siendo capaces, además, de modular un número importante de respuestas biológicas, incluyendo la secreción de enzimas, la adhesión celular, la citotoxicidad, la activación de las células T y la regeneración tisular(Vianale et al., 2008). Por su parte, la Proteína Quimioatrayente de Monocitos 1 (MCP-

1/CCL2) es un miembro de la familia de las quimiocinas C-C, que actúa como un potente factor quimiotáctico para los monocitos (Van Coillie, Van Damme, y Opdenakker, 1999).

Hoy se sabe que una variedad de tipos de células, entre ellas, endoteliales, fibroblastos, epiteliales, de músculos lisos, mesangiales, astrocíticas, monocíticas y microgliales son capaces de producir MCP-1, ya sea constitutivamente o después de inducción por estrés oxidativo, citocinas o factores de crecimiento.

El rodamiento de los monocitos sobre las células endoteliales es dependiente de la adhesión de E-selectina (una molécula de adhesión celular –endotelial-) y sialyllewis X (un grupo de carbohidratos), mientras la adhesión del endotelio es dependiente de la interacción de la integrina sobre los monocitos y las moléculas de adhesión sobre las células endoteliales. Aunque los leucocitos han sido considerados los objetivos principales de las quimiocinas, evidencia reciente indica que la acción de tales proteínas no está restringida a ese tipo de células (D'Angelo et al., 2015).

La función principal de la MCP-1 consiste en establecer la quimiotaxis, conduciendo el reclutamiento de células al sitio de la inflamación, mediante la activación de la integrina. De manera específica, la MCP-1 atrae monocitos, células *natural killer* y células T de memoria, e influencia la expresión de citocinas relacionadas con las respuestas de las células T ayudantes. Su expresión ocurre en una variedad de enfermedades caracterizadas por infiltración de células mononucleares.

Existe evidencia genética y biológica que sugiere que puede contribuir al componente inflamatorio de enfermedades como la aterosclerosis, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer o la artritis reumatoidea. Igualmente hay fuerte evidencia de que la MCP-1 juega un rol mayor en la miocarditis, en la lesión por isquemia en el corazón, en el rechazo de trasplante y en la reparación cardíaca (Di Luzio et al., 2001).

Estudios encaminados a evaluar la respuesta biológica ante los campos electromagnéticos relacionada con la MCP-1, en los que hubo exposición crónica durante 24 horas a campos de 50 Hz, 1 mT, mostraron una reducción significativa de los niveles de MCP-1 en las células PHA-estimuladas (PHA=Fitohemaglutinina), mientras que en las células no estimuladas no fueron observadas diferencias significativas en tales niveles, a partir de lo cual se infirió que el efecto inhibitorio de los campos electromagnéticos sobre la liberación de MCP-1 podría ser uno de los mecanismos por los cuales estos resultan terapéuticos en enfermedades inflamatorias (Di Luzio et al., 2001).

A una conclusión semejante arribaron Reale et al., quienes aseguran que los campos magnéticos están igualmente involucrados en la producción de óxido nítrico (NO). Estos mismos autores plantean que el incremento de MCP-1 está relacionado con la expresión de la proteína NF-kB y que la inhibición de la producción del óxido nítrico en células endoteliales incrementa la expresión de MCP-1, por lo que sugieren un rol no farmacológico de los campos electromagnéticos en el mantenimiento del balance entre MCP-1 y NO en la reacción inflamatoria(Reale et al., 2006).

Luego, teniendo como sustento los antecedentes antes descritos, los campos electromagnéticos han sido empleados hasta el día de hoy como opción terapéutica en numerosos procesos inflamatorios, tales como:

- ✓ La alveolitis(Cardentey García et al., 2016; Martín Reyes, Ferrales Día, y Fernández Carmenates, 2010; Morejón Álvarez, del Pino Malagón, y Morejón Álvarez, 2011).
- ✓ La parálisis de Bell por inflamación del VII par(Ferrera Montero, Hernández Zayas, Risset Castro, y Castro Correoso, 2015).
- ✓ La osteoartritis(Lue, Koppikar, Shaikh, Mahendira, y Towheed, 2017).
- ✓ El edema posoperatorio(Koleganova et al., 2014).
- ✓ El síndrome de pinzamiento del hombro, causado por bursitis subacromial y/o tendinitis del supraespinoso(Rodríguez Pino et al., 2016).

CONCLUSIONES

Los autores concluyen que:

1. Los campos magnéticos poseen un amplio espectro de aplicaciones en el tratamiento de patologías humanas.
2. Dado su mecanismo de acción, los campos magnéticos constituyen una poderosa herramienta terapéutica frente a procesos inflamatorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardentey García, J., González García, X., y Porras Mitjans, O. (2016). Efectividad de la magnetoterapia en la terapéutica de las alveolitis. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 20, 386-393.
- D'Angelo, C., Costantini, E., Kamal, M. A., y Reale, M. (2015). Experimental model for ELF-EMF exposure: Concern for human health. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(1), 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.07.006>
- Fundación Wikimedia. (2018a). André-Marie Ampère. En *Wikipedia*. San Francisco: Fundación Wikimedia. Recuperado a partir de http://www.wikipedia.org/andre_marie_ampere.html
- Fundación Wikimedia. (2018b). Ecuaciones de Maxwell. En *Wikipedia*. San Francisco: Fundación Wikimedia. Recuperado a partir de http://www.wikipedia.org/ecuaciones_de_maxwell.html
- Fundación Wikimedia. (2018d). Magnetismo. En *Wikipedia*. San Francisco: Fundación Wikimedia. Recuperado a partir de <http://www.wikipedia.org/magnetismo.html>
- Fundación Wikimedia. (2018e). Magnetoterapia. En *Wikipedia*. San Francisco: Fundación Wikimedia. Recuperado a partir de <http://www.wikipedia.org/magnetoterapia.html>
- Grall-Bronnec, M., y Sauvaget, A. (2014). The use of repetitive transcranial magnetic stimulation for modulating craving and addictive behaviours: A critical literature review of efficacy, technical and methodological considerations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 47, 592-613. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.10.013>
- Guisasola Lerma, E., y Calduch Selma, F. (2014). Tratamiento rehabilitador tras cirugía artroscópica de la inestabilidad de la muñeca. *Revista Española de Artroscopia y Cirugía Articular*, 21(1), 69-76. [https://doi.org/10.1016/S2386-3129\(14\)70010-6](https://doi.org/10.1016/S2386-3129(14)70010-6)
- Herrera Santos, M. B., Valenzuela Fonseca, L., y Álvarez Cortés, J. T. (2016). Ozonoterapia y magnetoterapia en pacientes con hernias discales. *MEDISAN*, 20, 778-784.
- Koleganova, T., Krasnyakova, N., Pintus, E., y Shapovalenko, T. (2014). Our experience of rehabilitation in early postoperative period after breast cancer surgery. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 57, e370. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.03.1352>
- Lue, S., Koppikar, S., Shaikh, K., Mahendira, D., y Towheed, T. E. (2017). Systematic review of non-surgical therapies for osteoarthritis of the hand: an update. *Osteoarthritis and Cartilage*, 25(9), 1379-1389. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2017.05.016>
- Rinker, F. (1997). *La fuerza invisible*. Londres: Masón.

Rodríguez Pino, A., Ortiz Vázquez, D., González Gáme, S., y Álvarez-Guerra González, E. (2016). Eficacia de la magnetoterapia en pacientes ecuatorianos con síndrome de pinzamiento del hombro. *MEDISAN*, 20, 753-760.

Sosa Salinas, U., Espinosa Rodríguez, Y., y Morfa Viamontes, F. (1996). Uso de la magnetoterapia en afecciones articulares y periarticulares. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 10, 0-0. Recuperado a partir e http://scieloprueba.sld.cu/scielo.php?script=sci_serial&pid=0864-215X&lng=es&nrm=iso

Zayas Guillot, J. D. (2002). La magnetoterapia y su aplicación en la medicina. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 18, 60-72.