



TESINA

presentada para acceder al título de grado de la carrera de
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título:

**“Efectividad de los campos electromagnéticos pulsados en el
tratamiento para la consolidación de fracturas”**

Autor:

Rabita, María Paula. IUGR-3374

Director:

Dr. Wickler, Martín

Fecha de Presentación:

19/03/2019

Firma de Autor

ÍNDICE	
I. INTRODUCCIÓN	2
II. OBJETIVOS.....	4
II. a. OBJETIVO GENERAL	4
II. b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	6
IV. I. Tejido óseo.....	6
IV. I. a) Histología	6
IV. I. b) Anatomía.....	8
IV. II. Fractura	10
IV. II. a) Generalidades.....	10
IV. II. b) Consolidación.....	12
IV. II. c) Tratamiento.....	14
IV. III. Retardo de consolidación	15
IV. III. a) Definición	15
IV. III. b) Etiopatogenia	15
IV. III. c) Tratamiento.....	15
IV. IV. Pseudoartrosis	16
IV. IV. a) Definición.....	16
IV. IV. b) Etiopatogenia.....	16
IV. IV. c) Tratamiento	16
IV. V. Campos.....	17
IV. V. a) Campo eléctrico y magnético.....	17
IV. V. b) Campos electromagnéticos pulsados.....	19
V. MÉTODOS.....	21
VI. RESULTADOS.....	22
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
VIII. ANÁLISIS COMPARATIVO	45
IX. DISCUSIÓN.....	49
X. CONCLUSIÓN	51
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de PEMF (Pulsed ElectroMagnetic Fields) es la aplicación de campos magnéticos pulsados que producen inducción magnética y viceversa, generando a nivel celular, un estímulo directo trófico, aumentando la permeabilidad – fundamentalmente al Calcio, Sodio y Potasio – que produce principalmente un aumento de la perfusión y aumento del suministro de oxígeno, estimulando el metabolismo celular mediante el aporte energético a base de una fuerza magnética. (1) Es un método terapéutico no invasivo utilizado para mejorar la tasa de consolidación en las fracturas, influyendo en las cargas eléctricas e iónicas del interior corporal. Se ha demostrado que promueve procesos celulares que incluyen la síntesis de factores de crecimiento, fibras de colágeno, proteoglicanos y citoquinas. (2) Por lo tanto, la aplicación de PEMF es una terapia segura que puede ser utilizada como tratamiento coadyuvante para favorecer la consolidación ósea. (3) Este tipo de tratamiento está indicado para úlceras, pseudoartrosis en tratamiento e inflamaciones post-quirúrgicas, y se utiliza como primera línea para la falta de unión para osteotomías y fracturas complejas (4), ya que numerosos autores informaron que PEMF con una administración de energía específica tiene efectos positivos en la curación ósea. (5) Esta terapia induce la osteogénesis de forma dependiente de la corriente, y se ha utilizado ampliamente para acelerar la reparación de fracturas. Se trata de un método en el que los campos magnéticos variables en el tiempo se aplican externamente para inducir campos eléctricos internamente, es decir, dentro del hueso. Los estudios in vivo han demostrado que estos campos reducen la resorción de osteoclastos, aumentan las tasas de formación de osteoides y estimulan la angiogénesis, a través de sus efectos positivos sobre la proliferación de células óseas y las reacciones de diferenciación osteogénica. (6) (7). Si bien esto sugiere que la estimulación electromagnética tiene el potencial de optimizar los procesos de reparación de fracturas en el contexto agudo, es importante evaluar el uso de la estimulación pulsátil del campo electromagnético después de fracturas agudas. (7) El verdadero impacto de este tratamiento es difícil de evaluar debido a las limitaciones metodológicas y la heterogeneidad entre los estudios porque, en gran parte de ellos, los resultados de la consolidación en pacientes que recibieron estimulación electromagnética mejoraron en tiempo y cantidad, pero fueron estadísticamente no significativos. (3) Además, cabe destacar que los parámetros generales para la utilización de PEMF aún no son específicos. Los avances recientes en el manejo de la fractura, el retardo de consolidación y la falta de consolidación de huesos largos, siguen siendo complicaciones intratables después de la cirugía. La intervención del kinesiólogo en la aplicación temprana de PEMF posee la ventaja

teórica de reactivar el proceso biológico de reparación ósea, lo que facilita la consolidación de la fractura y posiblemente acorta el tiempo de tratamiento. (8) Existe controversia en la literatura médica sobre el uso de campos electromagnéticos para promover la curación ósea, debido a que ningún informe ha investigado específicamente la eficacia de la aplicación temprana de PEMF. (9)

Por lo tanto, en base a lo expuesto, surge el planteamiento del siguiente interrogante: ¿Cuál es la efectividad de la aplicación de campos electromagnéticos en el tratamiento para la consolidación de fracturas?

II. OBJETIVOS

II. a. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la efectividad de la magnetoterapia en la consolidación de fracturas.

II. b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los efectos de la magnetoterapia y los factores que determinan el tiempo de consolidación de una fractura (tipo de fractura, edad del paciente, estabilidad de la fractura, tipo de reducción, tiempo transcurrido hasta inicio de tratamiento, vascularización de la zona).
- Analizar la correlación dosis-efecto de la magnetoterapia en la consolidación de fracturas.
- Establecer criterios de dosificación de la magnetoterapia en la consolidación de fracturas.

III. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, la utilización de campos electromagnéticos pulsados es considerada la elección para el tratamiento de fracturas, sin embargo, no hay parámetros que determinen una dosificación correcta y su relación uso/resultados. En base a esto sería importante determinar si la aplicación de PEMF es eficaz para la consolidación ósea, y, en caso de serlo, establecer criterios de dosificación que generen dichos resultados, pudiendo ofrecer así, un protocolo destinado a los profesionales Licenciados en Kinesiología y Fisiatría para su utilización. A su vez, la revisión bibliográfica a realizar podría contribuir al conocimiento sobre la aplicación de la terapia de PEMF, e impulsar su estudio a futuro.

IV. MARCO TEÓRICO

IV. I. Tejido óseo

IV. I. a) Histología

El tejido óseo es un tejido conjuntivo que se caracteriza por tener una matriz extracelular mineralizada que produce un tejido capaz de proveer sostén y protección, sirviendo a su vez como sitio de depósito de los minerales calcio, fósforo, magnesio y manganeso, siendo de especial importancia el calcio por participar en la transducción de señales del organismo y muchos procesos metabólicos. El tejido óseo actúa también sobre la regulación homeostática, a través de sustancias secretadas por las glándulas parótidas y tiroideas, tanto para elevar los niveles de calcemia o disminuirlos, respectivamente.

Toda su superficie externa está cubierta por periostio - a excepción de su superficie articular que se encuentra cubierta por cartílago – conformado por dos capas, una interna, que es flexible, vascularizada y que contiene células que pueden convertirse en osteoblastos, siendo los responsables de aumentar el grosor del tejido óseo durante el crecimiento, o bien, formar el callo perióstico durante la consolidación de fracturas; y una capa externa, fibrosa, que recubre la superficie cortical, amarrándose a la misma mediante las fibras de Sharpey. Es responsable del crecimiento del grosor óseo, por lo tanto, está mucho más desarrollada en el niño. (10) (11)

Las cavidades óseas, revestidas por una capa de células de tejido conjuntivo denominada endostio, contienen médula ósea, tejido especializado para originar y diferenciar células sanguíneas. Además, poseen osteoblastos en reposo y osteoclastos inactivos. Los espacios internos del hueso y los conductos de Havers están tapizados por esta capa. (12) (13) (14)

El tejido óseo está compuesto por células osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos, osteoclastos y matriz extracelular u osteoide.

Células Osteoprogenitoras

Ubicadas en la superficie externa de los huesos, se dividen en células periósticas y endósticas. Originadas de las células mesenquimáticas, en reposo pueden diferenciarse en osteoblastos y secretar matriz ósea.

Osteoblastos

Son células derivadas de las mencionadas anteriormente, que se activan ante el estímulo de la parathormona (PTH), la vitamina D y los estrógenos. Encargadas de secretar matriz ósea no mineralizada, denominada osteoide, inicialmente, y luego mineralizarla, ocasionando así su calcificación. Este proceso es logrado a partir de la secreción de vesículas matriciales que contienen una gran cantidad de fosfatasa alcalina y glicoproteínas específicas. Al completarse la mineralización, el osteoide pasa a ser llamado osteocito.

Osteocitos

Son células pequeñas, numerosas, derivadas de los osteoblastos, su accionar contribuye de manera importante en la regulación de los niveles de calcio, tanto sintetizando nueva matriz, como también produciendo su resorción cuando sea necesario. Poseen prolongaciones citoplasmáticas que las mantienen unidas entre sí, formando una red tridimensional o sistema canalículolacunar. Estas células sintetizan condroitin sulfato, queratán sulfato y ácido hialurónico, cumpliendo un papel fundamental en la homeostasis fosfocálcica y en la transducción de señales biomecánicas

Osteoclastos

Derivados de las células progenitoras hemopoyéticas mononucleares, íntimamente relacionados con los macrófagos, aparecen en sitios donde se produce remodelado óseo. Su función es la resorción ósea, mediante la liberación de hidrolasas lisosómicas hacia el espacio extracelular, a través de lagunas especializadas denominadas lagunas de Howship. Aunque carecen de receptores para la hormona paratiroidea, su función está bajo control indirecto de la misma, ya que su liberación produce en primer lugar la activación de los osteoblastos y luego un aumento del número de osteoclastos, con la consiguiente resorción ósea, proceso llamado osteólisis. (13)

Los osteoclastos tienen receptores para calcitonina, que inhiben su actividad. A su vez, sintetizan sus propias moléculas activadoras, siendo estas las interleucinas (IL-1, 3, 6 y 11), factor de necrosis tumoral (TNF), y factores estimulantes de colonias sanguíneas granulomonocíticas y osteoprotegerina (OPG), que actúa como receptor señuelo e inhibe la osteoclastogénesis. (12)

Matriz extracelular

También denominada osteoide, representa el 35% del tejido óseo y en condiciones normales, al cabo de quince días, se mineraliza por la precipitación de los cristales de hidroxiapatita cálcica (65% restante) y, en menor medida, por otras sales minerales.

Está compuesto por fibras colágenas tipo I (90%) y sustancia fundamental. Uno de sus componentes principales lo constituyen diversos glucosaminoglicanos (GAGs), además de las proteínas específicas elaboradas por los osteoblastos. Éstos también elaboran factores de crecimiento, que una vez liberados al medio, quedan retenidos en la matriz, como el factor de crecimiento de tipo insulina (IGF), factor de crecimiento transformador β (TGF β), y la proteína morfogénica ósea (BMP). Los factores de crecimiento estimulan la proliferación celular o la quimiotaxis de diversas variedades celulares. (12) (15)

IV. I. b) Anatomía

El tejido óseo puede clasificarse de acuerdo a su estructura, forma y evolución. Respecto a su estructura, el hueso se divide en compacto y esponjoso, ubicado en la superficie externa o interna del mismo, respectivamente.

En relación a su forma, podremos encontrar huesos largos (húmero, fémur, etc.), donde distinguiremos un cuerpo denominado diáfisis, dos extremidades denominadas epífisis y dos zonas ubicadas entre las anteriores denominada metáfisis; huesos cortos (escafoides, semilunar, etc.), que poseen sus tres dimensiones prácticamente iguales; huesos planos (escápulas, ilíacos, etc.), se caracterizan por ser delgados y anchos; y, por último, huesos irregulares (vértebras, etmoides, etc.), que no encajan en ninguna de las clasificaciones anteriores.

Acerca de su evolución, se pueden diferenciar dos tipos de hueso, uno maduro, compacto o esponjoso, y otro inmaduro. El hueso maduro compacto, está compuesto por unidades estructurales llamadas osteonas o sistemas de Havers, que consisten en laminillas concéntricas ubicadas alrededor de un conducto central, denominado conducto de Havers, que sirve para nutrir a los osteocitos. Los conductos de Volkman, comunican a los conductos de Havers entre sí, y no están envueltos por laminillas. El hueso maduro esponjoso tiene una estructura similar a la del anterior, también presenta osteonas, pero posee trabéculas con abundantes espacios medulares intercomunicados. Finalmente, el hueso inmaduro es el tejido que se forma en un esqueleto en desarrollo, no tiene un aspecto de laminillas organizadas, por lo tanto, se denomina no-laminillar; contiene una cantidad relativamente mayor de células y sustancia fundamental que el hueso maduro; sus células se distribuyen al azar y no se mineraliza completamente. (11) (13)

Como órgano el tejido óseo recibe un 5-10% del gasto cardíaco. Los huesos largos reciben sangre a través de tres sistemas. Primariamente mediante la arteria nutricia que procede de arterias sistémicas mayores, penetra en la cortical diafisaria a través de los agujeros de nutrición. Este es un sistema de alta presión. En segundo lugar, a través del platillo metafiso-epifisario proveniente del plexo vascular periarticular. Por último, por medio del periostio, que está compuesto por capilares que irrigan el tercio externo del tejido, y se trata de un sistema de baja presión.

El flujo arterial en el tejido óseo maduro es centrífugo, resultado del sistema arterial nutricional de alta presión (sistema del endostio) y del sistema perióstico de baja presión. En una fractura completamente desplazada y con interrupción del sistema nutricional del endostio, el gradiente se invierte, predominando el sistema de presión perióstico y volviéndose así en un flujo centrípeto. (10)

IV. II. Fractura

IV. II. a) Generalidades

Una fractura es la solución de continuidad del tejido óseo en cualquier hueso del cuerpo. Se produce como consecuencia de un esfuerzo excesivo que supera la resistencia del hueso, es decir, es la consecuencia de una sobrecarga única o múltiple y se ocurre en milisegundos.

La fuerza sobre un cuerpo sólido, en este caso el hueso, produce un esfuerzo o stress, que tiende a deformar el cuerpo sobre el que actúa, strain. El esfuerzo o stress es la relación entre la fuerza aplicada y el área de aplicación, mientras que el strain o deformidad, es la relación entre la longitud final y la inicial tras la aplicación de la fuerza.

La deformación producida depende de la carga y, cuando cesa la aplicación de carga, el tejido tiende a recuperar su longitud y forma original. Para cada tipo de hueso la elasticidad es diferente. A partir de un punto, el exceso de carga altera la estructura del tejido sobre el que actúa y al cesar su aplicación, no recupera su forma original, denominado comportamiento inelástico. Si la carga se mantiene en aumento, puede superar la resistencia del tejido y producir su ruptura.

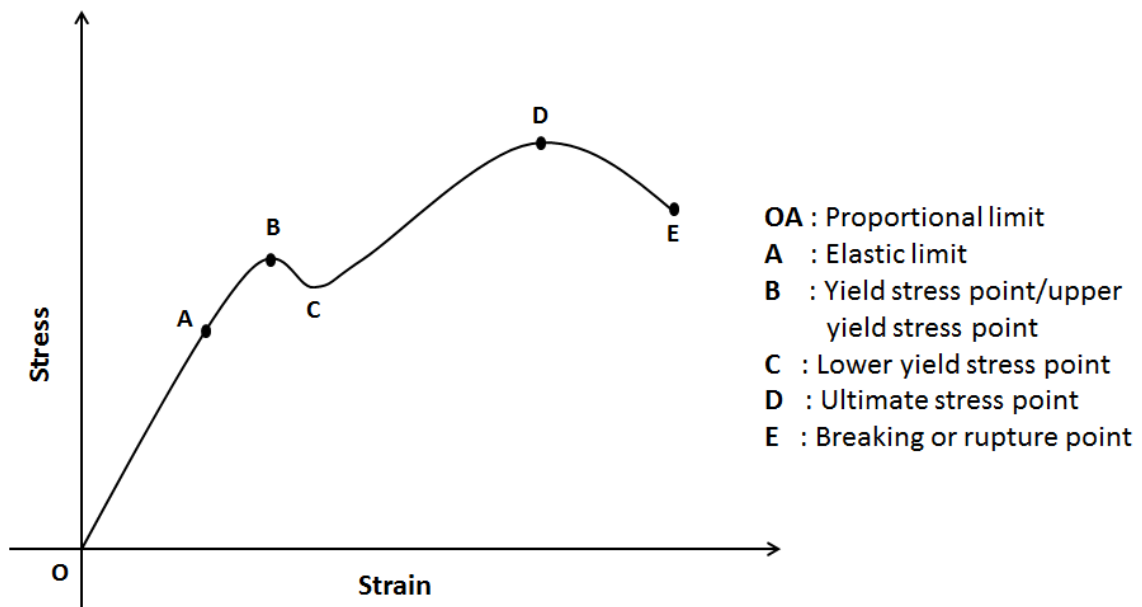


Figura 1: Gráfico demostrativo de la relación stress-strain (16)

Los tejidos se someten a fuerzas de tensión, compresión, flexión, torsión y cizallamiento. Al someterse un tejido a un mecanismo de *tensión*, es decir, a tracción, la ruptura se produce transversalmente. Este mecanismo es poco frecuente y puede ocurrir en

deportistas en los que una contracción muscular produce un arrancamiento o avulsión de la inserción muscular, llevando consigo un trozo de hueso.

Ante fuerzas de *compresión*, la ruptura se produce en forma oblicua. Este es uno de los mecanismos fundamentales en el hueso esponjoso, epifisario, y en huesos cortos.

Con el mecanismo de *flexión*, aparece una fractura con 3 trazos, uno de ellos en forma de cuña o ala de mariposa. Es el mecanismo más clásico y el mecanismo fundamental en los huesos largos. La fuerza actúa en dirección perpendicular al eje mayor diafisario y es aplicado en un extremo del hueso con el otro fijo, o bien en el centro de la diáfisis (como sucede en los traumatismos directos). Al sobrepasar la línea neutra puede continuar en un trazo único o bien dividirse en dos, aislando un fragmento triangular (cuña) en la zona de la concavidad, dando lugar a lo que se conoce como “tercer fragmento” o “fractura en ala de mariposa”.

Cuando hay un mecanismo *torsional*, se produce una fractura espiroidal que puede abarcar todo el hueso, ocurre frecuente en la tibia. Se produce por la aplicación de dos fuerzas de tracción y rotación en sentido inverso en torno al eje longitudinal de la diáfisis.

Ante fuerzas de *cizalla*, dos zonas vecinas del hueso son sometidas a dos fuerzas en la misma dirección, pero en sentido opuesto, perpendiculares al eje diafisario. La lesión depende de la energía cinética liberada, si se agota en la producción de la fractura, suele dar como resultado una fractura de trazo simple y el desplazamiento de los fragmentos independizados se limita por la integridad del periostio, pero si la energía es mayor, el trazo es más complejo, la rotura del periostio es completa y la fuerza continúa actuando pudiendo desplazar los fragmentos, desgarrando los tejidos vecinos y generando una fractura abierta. (17)

La AO (Asociación de Osteosíntesis) considera que las fracturas de mayor gravedad son las de los huesos largos y establece un orden que comprende en primer lugar al húmero, con su consecuente compromiso neurovascular, seguido por cúbito, radio, fémur, y en último lugar, tibia y peroné. (18)

Se contemplan una variedad de síntomas al momento de producirse una fractura ya sea alteraciones de la sensibilidad, deformidad aparente, dolor, hematomas, impotencia funcional, movilidad anormal, tumefacción, entre otros. Estas respuestas del cuerpo humano serán de gran importancia a la hora de establecer un diagnóstico, que se logrará mediante la anamnesis, la exploración clínica, la exploración física y estudios de imágenes complementarios, siendo los de mayor utilidad la radiografía (Rx), la tomografía axial computada (TAC) y la resonancia magnética (RM). (19)

Las fracturas en huesos largos se clasifican según ubicación, compromiso articular, etiología y mecanismo. Por lo tanto, podremos distinguir fracturas diafisarias, metafisarias y epifisarias; si el trazo fracturario se extiende abarcando la superficie articular, pasan a denominarse fracturas articulares; en relación a su etiología, encontraremos fracturas espontáneas o producidas por un traumatismo, ya sea mecánico o no mecánico; y su mecanismo podrá ser directo o indirecto, y de alta o baja energía.

La respuesta inicial ante una fractura es la disminución del flujo tras la interrupción vascular en el sitio. Luego, pasadas las horas, el flujo sanguíneo comienza a incrementarse, siendo máximo a las dos semanas, donde cumple un papel determinante y principal en la consolidación de la fractura ya que suministra los nutrientes necesarios en el foco fracturario. Trascurridos los tres a cinco meses, el flujo sanguíneo vuelve a la normalidad. (10)

IV. II. b) Consolidación

La consolidación es un proceso de regeneración completo que consta de determinadas fases: fase inflamatoria, fase de consolidación y osificación, y fase de remodelación.

En primer lugar, el hematoma, producido por la ruptura de los vasos, y la lesión de los osteofitos desencadenan una reacción inflamatoria, dada por la hipoxia de la interrupción vascular, que durará desde las 24 horas de producida la lesión hasta el séptimo día. En ese período, se secretan moléculas proinflamatorias, que son fundamentales para la regeneración tisular (IL-1, IL-6, TNF- α , TGF- β , IGF, FGF, PDGF, BMP, HIF, VEGF), induciendo la producción del callo cartilaginoso. La proliferación celular forma un anillo en torno a la fractura que, primariamente, es un tejido fibroelástico con gran capacidad de deformación, y luego, estabilizará progresivamente a la fractura y comenzará su osificación.

En la fase de consolidación y osificación, se produce un aumento de la rigidez del callo. Los condrocitos hipertróficos se asocian a la calcificación del cartílago y se activa una cascada de factores: la IL-1 y el TNF- α activan a M-CSF (factor estimulador de las colonias de macrófagos) y al receptor RANKL, la osteoprotegerina que inicia la reabsorción del cartílago y el TNF- α la apoptosis de los condrocitos. En esta fase también se produce una invasión vascular y osificación del callo.

En la última fase, de remodelado óseo, ya no hay tejido fibroso sino óseo, porque a partir de la fase de consolidación ósea se produce una remodelación o transformación desde hueso plexiforme a cortical adulto. La fase de remodelación se produce porque el hueso

plexiforme se reabsorbe y el capilar con los osteoblastos producirán hueso nuevo. Esta fase puede extenderse, en algunos casos, hasta dos años. (17)

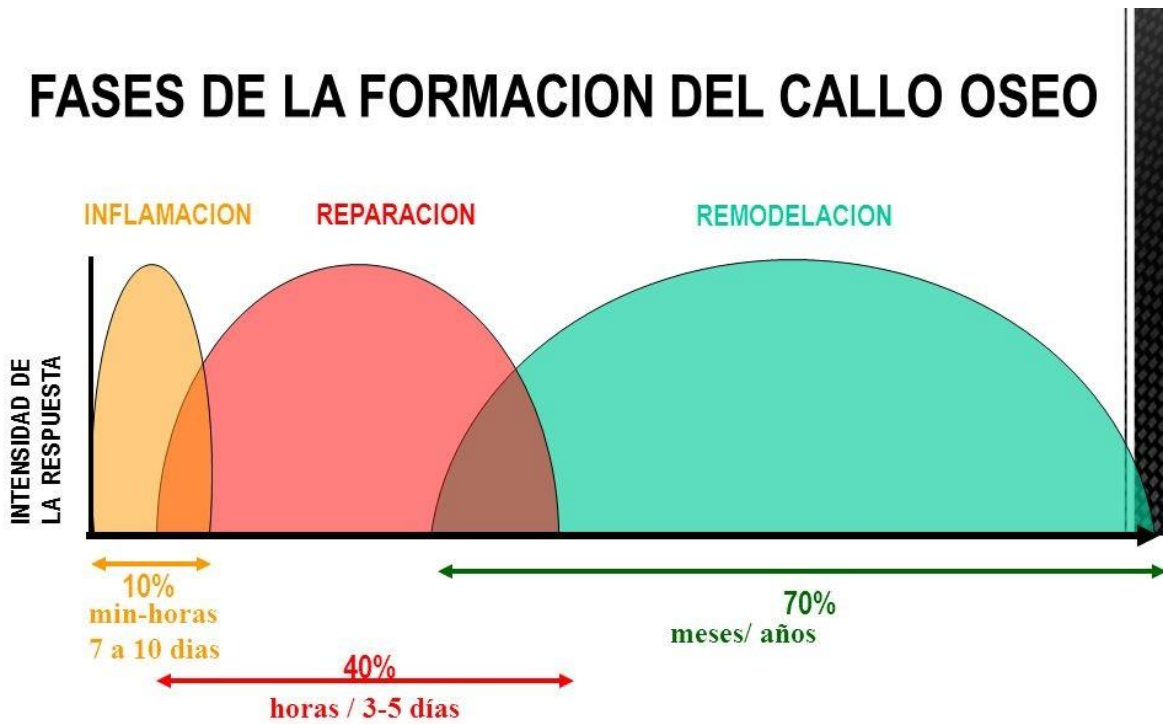


Figura 2: Fases de la formación del callo óseo (20)

Se debe tener en cuenta ciertas condiciones necesarias para lograr la consolidación. El contacto óseo es importante, los fragmentos principales no deben estar separados más de 0,5 cm. La fractura debe ser estable, con condiciones mecánicas adecuadas, ya que la movilidad interfragmentaria impide el desarrollo del callo. Es necesaria una estabilidad y elasticidad adecuadas para que los estímulos mecánicos favorezcan la consolidación de la fractura. Es también de importancia poseer una masa celular regeneradora que funcione como fuente de células progenitoras. Finalmente, y no menos importante, debemos favorecer la vascularización ideal para el funcionamiento de todos los procesos relacionados con la consolidación ósea. El primer signo de reparación vascular o angiogénesis se observa en el periostio. La angiogénesis es la extensión de un sistema vascular preexistente y depende de la estabilidad de los fragmentos óseos y de la presencia de infección o inflamación. El equilibrio entre los factores angiogénicos y antiangiogénicos es importante en el desarrollo de un callo de fractura.

IV. II. c) Tratamiento

Es imprescindible conseguir que la consolidación ósea se desarrolle basándose en la restauración de la continuidad del tejido, siendo de importancia la recuperación de la forma y función del segmento afectado. Hoy en día, hay dos opciones a seguir ante una fractura. Por un lado, existe el tratamiento conservador o no quirúrgico, que se caracteriza por una reducción cerrada mediante tracción y manipulación, seguida por un periodo de inmovilización y contención de la misma, logrando la recuperación funcional del segmento cuando se encuentre estable. La segunda opción, que en general se utiliza para fracturas abiertas, inestables, o complejas, es el tratamiento quirúrgico, donde podremos encontrar diversos tipos de abordajes y fijaciones para cada caso en particular. Más allá del tratamiento elegido para abordar la fractura, se empleará un tratamiento para el dolor. El RHiCE (reposo-hielo-compresión-elevación) es una técnica que ofrece grandes beneficios a la hora de disminuir el dolor, sin alterar la función y el metabolismo del organismo.

La evolución de la fractura no siempre es favorable, pudiendo originarse un retardo de consolidación o una pseudoartrosis. Estas complicaciones suelen ser más comunes en fracturas de huesos largos, y existen diversos factores de riesgo que influyen en su evolución, modificando su tiempo de consolidación, por ejemplo, la complejidad del trazo fracturario, edad, lesión de partes blandas, localización de la fractura, mala elección de tratamiento, etc. (17) (21)

IV. III. Retardo de consolidación

IV. III. a) Definición

Se define como el proceso de restauración del tejido óseo que se da en un tiempo superior al esperado, quiere decir que no ha avanzado a la velocidad media determinada, siendo en general entre 3 y 6 meses, para el tipo de fractura y su localización. Cabe destacar que la fractura, una vez transcurrido ese tiempo, logra su consolidación, por lo tanto, no se considera un fracaso biológico, sino que necesita una mayor cantidad de tiempo para obtener el resultado. (22)

IV. III. b) Etiopatogenia

El proceso de consolidación puede ser alterado por factores mecánicos, como las fuerzas de compresión y flexión que favorecen la formación de callo óseo; fuerzas de cizallamiento y torsión que inhiben la formación del mismo y factores bioquímicos, como la producción de colagenasa por los macrófagos y fibroblastos localizados en el foco fracturario. La ausencia de tejido neural, es también un factor que podría afectar adversamente el proceso de consolidación. También se incluyen factores como la edad, enfermedades sistémicas, enfermedades locales, mala elección de tratamiento, técnica quirúrgica, estado nutricional, tabaquismo, tipo de fisioterapia, la calidad de la reducción y fijación de la fractura. Las intervenciones pueden mejorar la consolidación de las fracturas, pero, a pesar de ello, continúan presentándose casos de retardo de consolidación. (9) (23)

IV. III. c) Tratamiento

Se debe corregir la causa que provoca o mantiene el retardo de consolidación. Como principal medida, corregir la inmovilización si es inadecuada, asegurando así una inmovilización completa y continua. Además, si presenta infección, tratarla, corregir el estado nutricional del paciente, estimular las actividades funcionales del segmento hasta donde sea posible y retirar los cuerpos extraños, siempre teniendo presente que lo que ocurre no es un proceso patológico, sino simplemente una disminución de la velocidad del proceso normal de consolidación. (23)

IV. IV. Pseudoartrosis

IV. IV. a) Definición

Se define como la ausencia de consolidación que persiste en el tiempo y que ha desarrollado una falsa articulación en la zona del trazo de fractura, considerándose este proceso patológico.

IV. IV. b) Etiopatogenia

Una inadecuada inmovilización, por sí misma, podría ser causa de pseudoartrosis, produciéndose una detención del proceso de reparación natural. La gran mayoría de las fracturas que complican con esta patología son las diafisarias, sobretodo las que se ubican en el tercio medio, seguidas de las que se ubican en el tercio distal. La explicación a esta afirmación se basa en la teoría de que todas las fracturas en dicha zona, por debajo de los agujeros nutricios, tienen un aporte vascular muy limitado.

El riesgo de aparición de pseudoartrosis puede relacionarse también con el tipo de trazo fracturario, es así que las transversales u oblicuas ocupan el primer lugar de riesgo, seguidas de las conminutas, luego las segmentarias en su foco distal y por último las espiroideas u oblicuas largas. Esto se explica por la zona de contacto entre los fragmentos óseos siendo este, pequeño para las transversales y oblicuas cortas y mayor para las oblicuas largas. (23)

En los casos en donde se realiza apertura del foco fracturario puede desarrollarse pseudoartrosis, por la pérdida del hematoma fracturario, esencial en la formación del callo óseo, con pérdida de la vascularidad, de inserciones musculares y de periostio. (24) (25)

IV. IV. c) Tratamiento

El tratamiento difiere del utilizado para el retardo de consolidación, ya que es un proceso patológico que requiere una intervención más agresiva. El objetivo es curar la pseudoartrosis y lograr una funcionalidad del miembro afectado lo más parecida posible a la que tenía antes de la fractura, mediante la resección de la cicatriz fibrosa, reavivamiento de los extremos óseos, apertura del canal medular y, con frecuencia, aplicación de injertos óseo. (26)

IV. V. Campos

IV. V. a) Campo eléctrico y magnético

La electricidad es una fuerza fundamental que es análoga a la gravedad. La diferencia entre ambas fuerzas es que la eléctrica entre dos objetos depende de la carga, mientras que la gravedad, depende de la masa.

Cuando hablamos de carga, nos referimos a una propiedad básica que presentan las partículas elementales que componen la materia, y que son los electrones, protones y neutrones.

Es importante destacar que existen diversas fuerzas fundamentales, como la fuerza gravitacional, la nuclear, la electromagnética, entre otras, siendo esta última la fuerza principal que determina la estructura de los átomos.

Existe una diferencia que es fundamental entre la gravedad y la electricidad, la primera es siempre atractiva, mientras que la segunda puede ser atractiva o repulsiva, dependiendo de las cargas; los objetos que presentan la misma carga se repelen entre sí, mientras que los que presentan cargas opuestas se atraen. (27)

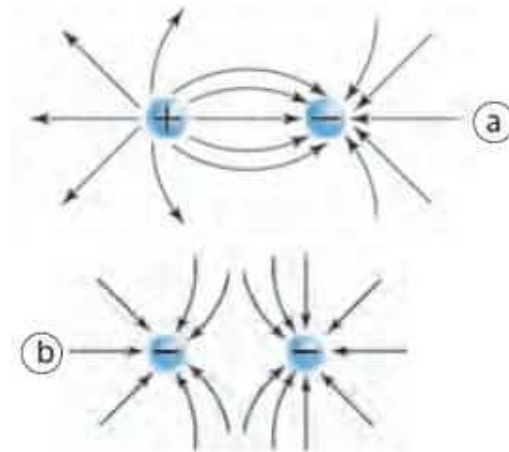


Figura 3: Líneas de campo eléctrico y cargas. A. Fuerza atractiva entre una carga positiva y una carga negativa. B. Fuerza repulsiva entre dos cargas negativas. (28)

Las fuerzas eléctricas actúan tanto sobre cargas eléctricas que se encuentran en movimiento como también en las que no lo están. En cambio, las fuerzas magnéticas sólo actúan sobre cargas que se mueven.

Las fuerzas eléctricas ocurren en dos etapas: en la primera, una carga produce un campo eléctrico en el espacio que la rodea, y, en la segunda etapa, una segunda carga responde a este campo. De forma similar, las fuerzas magnéticas también ocurren en

dos etapas: una carga o conjunto de cargas en movimiento (es decir, una corriente eléctrica) producen un campo magnético y, a continuación, una segunda corriente o carga en movimiento responde a ese campo magnético, experimentando una fuerza magnética.

El concepto de campo eléctrico y magnético fue desarrollado por Faraday como un modo gráfico de considerar los fenómenos electromagnéticos. Sin embargo, este concepto no fue empleado, en general, por los otros físicos hasta que Maxwell demostró cómo todas las leyes básicas de la electricidad y el magnetismo podían ser descritas por medio de cuatro ecuaciones en las que intervienen los campos eléctricos y magnéticos:

- 1) Las cargas eléctricas producen campos eléctricos (Ley de Coulomb);
- 2) No pueden existir polos magnéticos aislados;
- 3) Las corrientes producen campos magnéticos;
- 4) Un campo magnético variable produce un campo eléctrico.

Sin embargo, estas ecuaciones eran incompatibles con la ley fundamental: “la carga total de un sistema aislado no puede variar”. Por lo tanto, adoptó otra ley: “un campo eléctrico variable produce un campo magnético”. Si un campo eléctrico variable produce un campo magnético y un campo magnético variable produce un campo eléctrico, entonces existe la posibilidad de que se produzca una perturbación automantenida de campos eléctricos y magnéticos. Esta perturbación electromagnética actuaría como una onda que se propaga por el espacio, donde ambos campos son perpendiculares a la dirección de propagación, de modo que la onda es transversal. (27) (29)

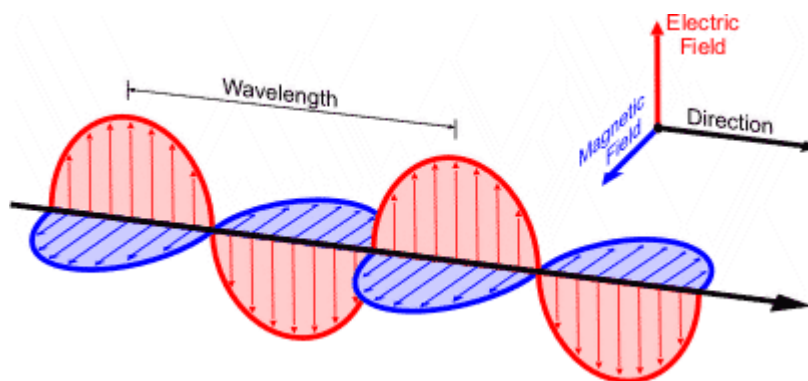


Figura 4: Onda electromagnética. (30)

IV. V. b) Campos electromagnéticos pulsados

La utilización de electroterapia consiste en la aplicación de energía electromagnética de diferentes formas, y su objetivo es el de generar efectos y reacciones biológicas y fisiológicas; para, de esta forma, mejorar la calidad de un tejido enfermo o con alteraciones. La magnetoterapia es la aplicación de energía magnética al organismo mediante equipos que consiguen fuerza magnética de forma artificial, tanto en un campo continuo, como alterno y pulsado. Cuando se acerca un campo magnético al organismo, éste provoca influencias en las cargas iónicas y eléctricas del interior corporal, con el fin de producir efectos terapéuticos. (9)

Los efectos fisiológicos que produce son el aumento de la permeabilidad de la membrana celular, aumento en la absorción de oxígeno y nutrientes, aumento del metabolismo y la irrigación sanguínea, aceleran el proceso de curación de heridas y úlceras y ayuda a consolidar tejido óseo.

Los campos magnéticos inducidos por medio de la piezoelectricidad son capaces de generar en el tejido óseo corrientes eléctricas de mínima intensidad que incitan a los osteoblastos a incrementar su producción de hueso.

Los trabajos reportados con respecto al efecto de campos magnéticos pulsados en osteoblastos humanos indican que existe un incremento en la actividad de dichas células, teniendo impacto en su proliferación y en su diferenciación, en la expresión de las proteínas morfogénicas del hueso en las matrices extracelulares, en la actividad de la fosfatasa alcalina, así como en el flujo y absorción de calcio.

Para utilizar campos electromagnéticos pulsados (PEMF) en fracturas, se deben tener ciertas consideraciones. Las características óptimas serán una fractura estable con un GAP menor a 0.8 cm, con una vascularización adecuada para producir la consolidación, ausencia de infecciones y control periódico del trazo fracturario mediante radiografías.

Para la aplicación de PEMF se pueden utilizar bobinas planas, tubulares o flexibles. (9)



Figura 5: Izquierda, bobinas planas. Derecha, bobina tubular. (31)

En general, a la hora de dosificar la aplicación de magnetoterapia, la medición que se utiliza es la de densidad de líneas por superficie, es decir, que se miden las líneas que cruzan un plano al cual se le atribuye una superficie igual a 1m^2 para la unidad Tesla (T), o 1cm^2 para la unidad Gauss (G). Estos parámetros no son homogéneos, ya que hay zonas donde habrá máxima densidad y otras donde la misma decaerá, complejizando su dosificación.

Los campos pulsados pueden estar compuestos por pulsos cuadrangulares, sinusoidales o triangulares, pero mantienen siempre la misma polaridad durante el tiempo de sesión, pudiendo aplicarse diferentes frecuencias. Cabe destacar que las frecuencias tienen una gran variabilidad, pudiendo aplicarse desde 1 Hz a 5.000 Hz, dependiendo el modo de magnetoterapia utilizado. A su vez, los efectos biológicos serán diferentes en función de la frecuencia designada. (9)

Al momento de utilizar campos electromagnéticos, existen parámetros específicos que deben tenerse en cuenta, como ser el tejido y sitio sobre el que se actuará, la distancia existente entre la superficie de los PEMF y el tejido, la fuerza del campo magnético, las características generales del equipo (tamaño, forma, volumen), y la frecuencia y duración de la aplicación.

Se considera que los efectos biológicos y clínicos óptimos se consiguen cuando se realiza la aplicación dentro de una ventana terapéutica, donde hay una combinación ideal de los parámetros frecuencia, tiempo de tratamiento, fuerza del campo (amplitud e intensidad) y modo utilizado, obteniendo como resultado una intervención eficaz. (27)

V. MÉTODOS

Para el desarrollo de los objetivos planteados, se realizó una revisión bibliográfica que abarcó artículos científicos que se encontraron en los años comprendidos entre 2008-2018, en las siguientes bases de datos: PubMed; Medline; Cochrane; IBECS; Lilacs; SciELO; Pedro; Biblioteca electrónica del MINCyT; Biblioteca electrónica SeCyT; Biblioteca virtual en Salud (BVS). Los términos DeCS, MeSH y libres que se emplearon son:

Términos DeCS:

- “Terapia de Campo Magnético”
- “Campos Electromagnéticos”
- “Fracturas Óseas”
- “Curación de Fractura”
- “Callo Óseo”
- Osteogénesis
- Dosificación

Términos MeSH:

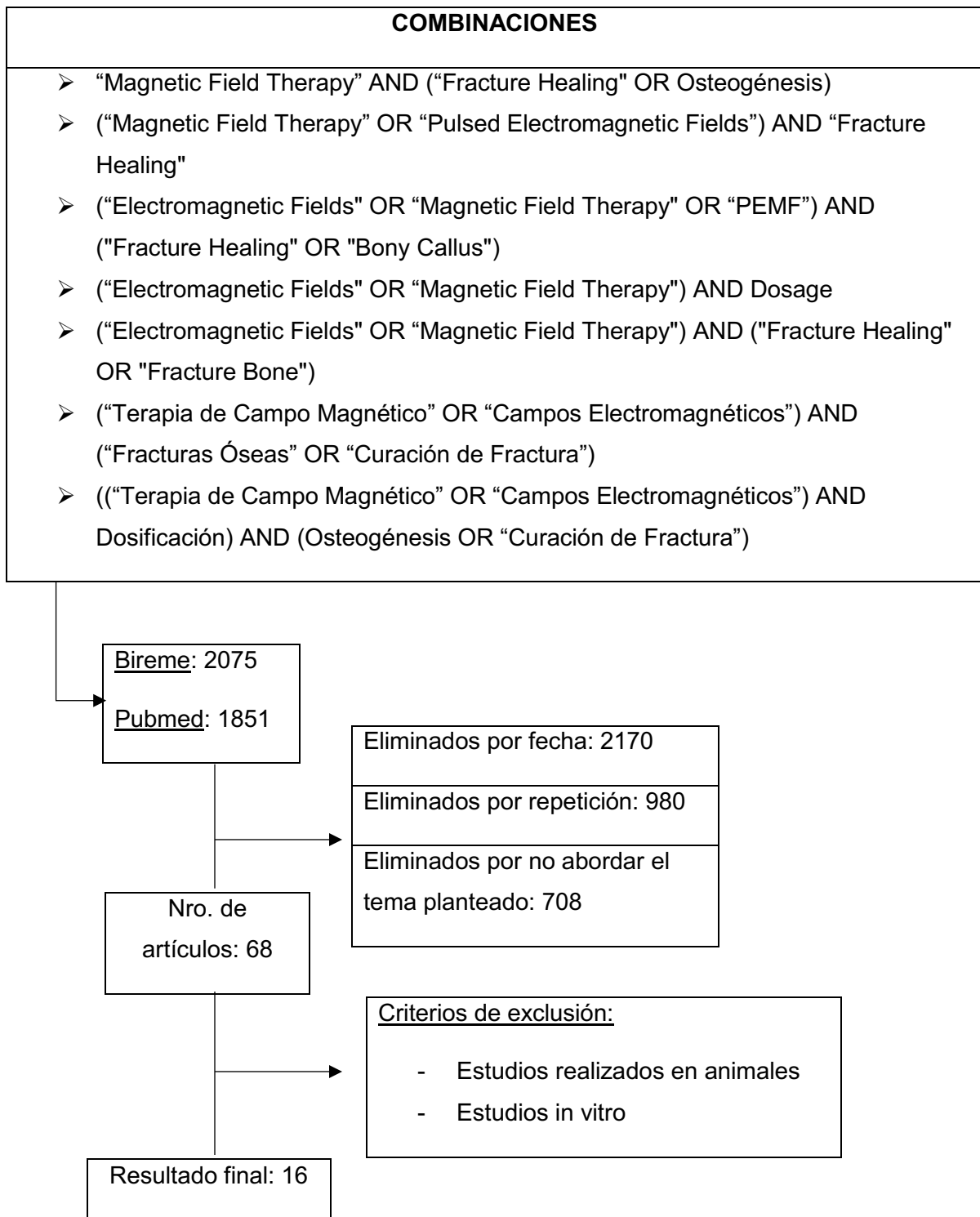
- “Magnetic Field Therapy”
- “Electromagnetic Fields”
- “Fracture Bone”
- “Fracture Healing”
- “Bony Callus”
- Osteogénesis
- Dosage

Términos libres:

- “Pulsed Electromagnetic Fields”
- “PEMF”

VI. RESULTADOS

Diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda:



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Gutierrez y col. (32) realizaron, en el año 2008, un ensayo clínico en fase II, abierto, secuencial y descriptivo, en los hospitales de Camagüey “Dr. Octavio de la Concepción y de la Pedraja” y “Manuel Ascunce Domenech” durante el período comprendido desde el 1ro de enero de 1994 al 31 de diciembre de 2006 con un grupo de 268 pacientes. se realizó una revisión de historias clínicas en un grupo de cohorte histórico constituido por pacientes tratados con este método desde 1994 al 1999 y de los pacientes ingresados con estas fracturas en el periodo del 2000 al 2006, midiendo iguales parámetros en ambos y se registraron en una planilla El sexo masculino predominó en una relación 4.1.1 sobre el femenino y el grupo de edades que prevaleció fue de 26 a 35 años con 106 pacientes. El trazo de fractura más frecuente fue el conminuta con un 29,47%. La localización anatómica que predominó fue el tercio medio con 181 lesionados y la de más rápida consolidación fue en el tercio proximal. El grado de fractura predominante fue el tipo II y el de más rápida consolidación fue el tipo I. Las complicaciones más frecuentes fueron la infección de las heridas con 59 lesionados, las secreciones por los alambres con 34 y la pérdida de sustancia ósea con ocho pacientes. Los pacientes que tenían fracturas de tibias abiertas, fueron tratados con fijadores externos y estímulos electromagnéticos pulsátiles. Se colocan las bobinas paralelas entre sí y en centradas en el foco de fractura. El equipo se conecta a la red de 110 V y se aplica durante 10h diarias como mínimo, generalmente de forma continua. Se mantiene al paciente en reposo durante la aplicación del tratamiento. Se entrena al paciente y familiares en el empleo del equipo. Los criterios de valoración del estado final del miembro fueron la movilidad articular de la rodilla y el tobillo, la musculatura, la circulación y el estado del hueso. La valoración del estado final se dividió en excelente, con consolidación ósea sin complicaciones; buena, con consolidación ósea y parámetros finales buenos; regular, con consolidación ósea, con complicaciones, y parámetros finales regulares; y malos, sin consolidación ósea, con complicaciones y parámetros finales malos. Primaron los resultados finales excelentes con 104 pacientes, buenos 81, regulares 83 y no se obtuvieron malos resultados. La validez de todo tratamiento es respaldada por los resultados finales obtenidos sobre la base de los objetivos propuestos. Así, el objetivo principal y final se logró en el 100 % de los pacientes tratados. Concluyen que son obvias las grandes ventajas del empleo de los pulsos electromagnéticos y que no existen riesgos del tratamiento en sí.

Massari y col. (33) realizaron, en el año 2009, una revisión sistemática y de la literatura. En la literatura, los hallazgos de muchos estudios clínicos coinciden en confirmar que los estímulos biofísicos pueden conducir a la curación en el 75-85% de los pacientes sin unión.

Los estudios prospectivos, aleatorizados y doble ciego muestran que, al emplear estímulos biofísicos, el tiempo necesario para que una fractura nueva cicatrice se puede reducir "en promedio" en un 25-38%. Varios autores coinciden en el hecho de que la membrana celular desempeña un papel fundamental en el reconocimiento y la transferencia del estímulo físico a las diversas vías metabólicas de la célula; por este mecanismo de acción, una célula reconoce un estímulo físico y, por lo tanto, modifica sus funciones. La estimulación con PEMF causa la liberación de iones de calcio (Ca^{++}) desde el retículo del endoplasma. El aumento intracelular del Ca^{++} determina una serie de respuestas enzimáticas con la transcripción del gen resultante [varias proteínas morfogenéticas óseas (BMP), factor de crecimiento transformante beta ($\text{TGF-}\beta 1$) y colágeno] y proliferación celular. La estimulación biofísica, en comparación con la administración de fármacos, puede producir una concentración local de la síntesis del factor de crecimiento, sin ningún efecto secundario sistémico.

Cebrián y col. (34) en el año 2009, realizaron un estudio comparativo, retrospectivo, de cohorte de pacientes con pseudoartrosis de tibia tratadas mediante enclavado intramedular. Se dividieron a los pacientes en dos grupos: un grupo fue tratado mediante enclavado intramedular solamente (grupo de control) y el otro con el enclavado intramedular combinado con PEMF. El estudio incluyó a 57 casos de pseudoartrosis tibial a partir de febrero de 1987 a febrero de 2002. La pseudoartrosis fue tratada quirúrgicamente en todos los casos. La edad media fue de 38,3 años (rango de 14 a 89 años) y la duración media de seguimiento fue de 27,2 meses (rango de 12 a 48 meses). Veintidós pacientes utilizaron el estimulador electromagnético Howmedica en su casa durante un mínimo de ocho horas diarias, coincidiendo con su descanso nocturno; la dosificación utilizada fue: frecuencia de 75 Hz, intensidad 10-20 A/cm, tiempo de pulso de 1,3 microsegundos, y voltaje de 180 a 220 V. Los pacientes se sometieron mensualmente a un seguimiento clínico y radiológico (dos proyecciones: anteroposterior y lateral). Los resultados fueron clasificados como excelente (retorno a la actividad anterior sin secuelas clínicas o radiológicas), bueno (retorno a la actividad anterior, pero con algún tipo de secuela clínica o radiológica) y pobre (no pudo regresar a la actividad anterior; requirió cirugía). El análisis de los resultados indica que la relación entre la unión de la fractura, la clasificación Gustillo y el tiempo, fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$); la relación entre la unión y el uso de PEMF no fue estadísticamente significativa, pero sí lo fue clínicamente. La relación entre el porcentaje de unión y la edad, el sexo, la etiología de la fractura, la ubicación y el tratamiento previo no fue estadísticamente significativa. Los resultados obtenidos demuestran que PEMF ejerce un

efecto beneficioso en los trastornos de la consolidación y complementan otros enfoques terapéuticos, en este caso el enclavado intramedular. Por lo tanto, concluyen que la estimulación electromagnética es una técnica útil, sin riesgos para el tratamiento de la pseudoartrosis de tibia.

Moncada y col. (3) realizaron un ensayo clínico en el año 2011. Sesenta y cuatro pacientes fueron incluidos en este estudio. Ingresaron seis semanas después de la fractura, se dividieron aleatoriamente en dos grupos: grupo A que recibían estimulación, y grupo B como grupo control. Cada grupo estaba formado por treinta y dos pacientes. El tiempo de seguimiento fue de 8 semanas con 1 hora de estimulación al día. Las bobinas se colocaron en el muslo para generar un campo magnético paralelo al eje del hueso, asegurándose de que el área del campo magnético uniforme coincidiera con la zona de fractura. Las señales fueron sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y los campos magnéticos de 0.5 - 2mT. Se realizaron llamadas diarias para recordar al paciente y el personal del estudio realizó visitas semanales para capturar los datos de estimulación almacenados y evaluar la adherencia al tratamiento. Cada seis semanas, el paciente asistió a una consulta especializada que evaluó el dolor, caminar con o sin apoyo externo, la longitud de las extremidades, la atrofia muscular, la movilidad de la rodilla, la deformidad y la presencia de infección. Igualmente, se evaluó el consumo de cigarrillos, la ingesta de licor, la adherencia al tratamiento o la aparición de un evento adverso. Se tomaron radiografías de seguimiento cada seis semanas hasta 24 semanas y se evaluó el estado de consolidación de la fractura según la clasificación de Winquist. En la semana 24, el estado de la fractura se estableció radiológica y clínicamente en términos de consolidación total, no consolidada, parcialmente consolidada. Los resultados de la consolidación de los pacientes que recibieron estimulación fueron superiores en tiempo y número, pero no fueron estadísticamente significativos.

Chalidis y col. (35) realizaron una revisión de la literatura en el año 2011. Se centraron principalmente en el efecto celular y molecular de PEMF y la eficacia general del método para mejorar la curación de fracturas y promover la formación de hueso nuevo. Particularmente en términos de la práctica clínica, se ha informado que la eficacia en el tratamiento de las no-uniones de huesos largos oscila entre el 64% y el 87%. Su eficacia parece variar significativamente entre los diferentes informes, mientras que las variables relacionadas con el paciente o las fracturas no podrían asociarse claramente con el éxito del método. Se requieren más ensayos controlados aleatorios con un alto número de pacientes para aclarar la relación costo-efectividad del método para el tratamiento de uniones y no uniones retrasadas.

Adie y col. (7) realizaron, en el año 2011, un ensayo aleatorizado, doble ciego. Se reclutaron 218 participantes con fracturas del eje tibial agudo (AO / OTA tipo 42) y se asignaron al azar, por medio de una asignación externa, a dispositivos de campo electromagnético pulsado externamente idénticos, activos e inactivos. Ciento seis pacientes fueron asignados al grupo de dispositivos activos y 112 fueron asignados al grupo de placebo. Los participantes recibieron instrucciones de usar el dispositivo durante diez horas diarias durante doce semanas. El cumplimiento fue moderado, con 6.2 horas de uso diario promedio. Se evaluaron dos resultados, uno primario, teniendo en cuenta la proporción de pacientes que requirieron una intervención quirúrgica secundaria debido a la falta de unión dentro de los doce meses posteriores a la lesión; y los resultados secundarios, que incluyeron la intervención quirúrgica por cualquier motivo, unión radiográfica a los seis meses, escala RS-36 y escalas funcionales de las extremidades inferiores a los doce meses. De acuerdo con el análisis por protocolo, hubo seis eventos primarios (12.2%) en el grupo activo y veintiseis eventos primarios (15.1%) en el grupo combinado con placebo (índice de riesgo, 0.97; 95% de confianza intervalo, 0.86 a 1.10; $p = 0.61$). No se encontraron diferencias entre los grupos con respecto a la intervención quirúrgica por ningún motivo, unión radiográfica o medidas funcionales. Concluyeron que la estimulación del campo electromagnético pulsante adyuvante no previene las intervenciones quirúrgicas secundarias para la unión tardía y no mejora la unión radiográfica ni los resultados funcionales informados por el paciente en pacientes con fracturas agudas del eje tibial.

Abdelrahim y col. (36) realizaron un ensayo clínico con 12 pacientes con fracturas mandibulares. Los dividieron en grupo A (pacientes A1 a A6) y grupo B (pacientes B1 a B6). Cada paciente se trató mediante reducción cerrada utilizando la fijación máxilo-mandibular y se asignó en un grupo. Los sitios de fractura del grupo A solo se expusieron a campos electromagnéticos pulsados (PEMF) 2 horas diarias durante 12 días, después de 2 semanas después de la operación se eliminó el MMF. Para el grupo B (grupo de control), el MMF se eliminó a las 4 semanas después de la operación. La efectividad de las 2 modalidades de tratamiento se evaluó clínica y radiográficamente mediante densitometría computarizada. Los datos fueron analizados estadísticamente. Después de liberar el MMF, una prueba de movilidad bimanual de los segmentos fracturados mostró estabilidad de los segmentos en todos los casos. Se encontró una diferencia insignificante entre los valores medios de densidad ósea de los 2 grupos en todos los intervalos de estudio. En contraste, el porcentaje de cambios en la densidad ósea de los 2 grupos reveló que el grupo A tuvo disminuciones insignificantes en el día 15 postoperatorio y un aumento significativo 30 días después de la

operación en comparación con el grupo B. Concluyeron que la estimulación con PEMF podría tener un efecto beneficioso en la curación de las fracturas mandibulares tratadas con reducción cerrada. Sin embargo, se debe realizar una investigación adicional, utilizando ensayos controlados aleatorios, para determinar su efectividad en comparación con otras modalidades de tratamiento.

Assiotis y col. (37) en el año 2012, realizaron un estudio clínico prospectivo y revisión de la literatura para evaluar la eficacia global del tratamiento para retardo de consolidación y pseudoartrosis tibiales e identificar los factores que podrían afectar el resultado final. El estudio cuenta con 44 pacientes (27 hombres) con una edad media de $49,6 \pm 18,4$ años que recibieron la terapia PEMF. En todos los casos, el espacio de la fractura fue menor a 1 cm y la infección o defectos de tejidos blandos estaban ausentes. Los pacientes fueron evaluados mensualmente con radiografía hasta que se produjo la unión de la fractura o se llevaron a cabo más operaciones. Las radiografías simples se revisaron con el fin de evaluar el tipo de fractura inicial y el progreso de curación de las fracturas. La ausencia de callo de fractura en un período mínimo de 9 meses o progresión hacia la curación durante 3 meses consecutivos fue definida como pseudoartrosis. El retardo de consolidación se asumió cuando no se logró la consolidación a las 20-26 semanas después de la operación. La fractura fue considerada curada cuando se observó una evidencia radiográfica de la formación del callo en al menos tres capas corticales. Observaron que la consolidación de la fractura se logró en 34 de los 44 casos (77,3%), y se produjeron 10 pseudoartrosis: 2 en fracturas simples cerradas (un fumador), 3 en fracturas conminutas cerradas (un fumador), 2 en fracturas grado I (un fumador), 2 en fracturas abiertas de grado III A (un fumador) y, 1 en fractura abierta grado III B (un diabético). No encontraron relación estadísticamente significativa entre la tasa de consolidación y la edad ($p=0,819$), el tabaquismo ($p=0,245$), la diabetes ($p=0,681$), el lado de la fractura (izquierda o derecha; $p=0,734$), el tipo de fractura (simple o conminuta, abierta o cerrada; $p=0,111$) y el método de tratamiento inicial aplicado ($p=0,395$). La mediana de duración de la aplicación de PEMF fue de 29,5 semanas (8-36 semanas). Los períodos más largos de aplicación de PEMF se asociaron con una tendencia de aumento de la probabilidad de la unión, pero no se logró un resultado estadísticamente significativo.

Shi y col. (8) realizaron un estudio aleatorizado, prospectivo y controlado, sobre la aplicación temprana de PEMF para el tratamiento postoperatorio en retraso de unión de fracturas de huesos largos. Se reclutaron cincuenta y ocho pacientes con fractura de huesos largos, que presentaron retardo de consolidación entre 16 semanas y 6 meses. Se dividieron al azar en dos grupos, uno de ellos fue sometido a una aplicación temprana de PEMF y el otro, a

tratamiento placebo. Realizaron evaluaciones clínicas y radiológicas para evaluar el estado de curación cada tres meses. Al final del estudio, el tratamiento PEMF llevado a cabo durante un promedio de 4,8 meses condujo a una tasa de éxito del 77,4%. Esto fue significativamente más alto que el resultado en el grupo control, que tenía una duración media de 4,4 meses y una tasa de éxito de 48,1%. Obtuvieron como conclusión que la aplicación temprana de PEMF promueve la curación de fracturas y conduce a un aumento significativo del porcentaje de unión en comparación con el tratamiento placebo, y que, el mayor beneficio se debe a la reducción del tiempo que tarda en consolidar.

Refai y col. (38) realizaron un ensayo clínico en el año 2012. Dieciocho pacientes con fracturas mandibulares en el área portadora de los dientes participaron en este estudio prospectivo. Se trataron mediante reducción cerrada utilizando la fijación maxilo-mandibular (MMF) y se asignaron consecutivamente en 1 de 3 grupos. En el grupo A, los sitios de fractura se expusieron a PEMF durante 2 h diarias durante 12 días. En el grupo B, los sitios de fractura se expusieron a láser (LILI) en el décimo y duodécimo día postoperatorio (2 sesiones de 6 minutos por día con 2 h de diferencia). Los sitios de fractura en el grupo C actuaron como controles. El MMF se mantuvo durante 2 semanas en el grupo A y 4 semanas en los grupos B y C. La curación de la fractura ósea se evaluó clínicamente investigando la unión de los segmentos fracturados y radiográficamente utilizando densitometría computarizada. La unión de los segmentos fracturados se probó mediante manipulación manual y la oclusión se evaluó al extirpar el MMF. Se realizaron radiografías panorámicas digitales estandarizadas para cada paciente, inmediatamente después de la operación, así como a las 2 y 4 semanas. Las imágenes digitales fueron manipuladas utilizando el software IDRISI. Los datos recopilados se tabularon y se analizaron estadísticamente. Después de liberar el MMF, la prueba de movilidad bimanual de los segmentos fracturados en todos los pacientes mostró estabilidad de los segmentos. La oclusión previa a la lesión se mantuvo en todos los pacientes. Las radiografías postoperatorias de todos los pacientes revelaron una buena alineación ósea de los segmentos óseos. En todos los grupos, la comparación entre los intervalos de estudio con respecto a las medias y los porcentajes de cambios de los valores de densidad ósea mostró diferencias insignificantes. En la segunda semana postoperatoria, la densidad ósea media en los sitios de fractura disminuyó en 4.74, 6.6 y 27.89% en los grupos A, B y C, respectivamente. El período de la segunda a la cuarta semana postoperatoria mostró un aumento en la densidad ósea de 1.49, 1.95 y 14.12% en los grupos A, B y C, respectivamente. Se encontró una diferencia insignificante entre las medias de las densidades óseas de los grupos A y B a lo largo de los intervalos de estudio.

Por otro lado, ambos grupos mostraron una diferencia insignificante con el grupo C inmediatamente postoperatorio y un aumento significativo en la densidad ósea en las semanas 2 y 4 postoperatorias. Como conclusión se recomienda la inmovilización de corto plazo de las fracturas mandibulares durante 2 semanas suplementadas con PEMF.

Martínez-Rondanelli y col. (9) construyeron, para su investigación, un dispositivo capaz de generar un campo electromagnético. Asignaron pacientes aleatoriamente con fractura diafisaria de fémur para recibir terapia electromagnética, o placebo. Se inició la estimulación a las seis semanas de la fractura; utilizaron 20 dispositivos, 10 reales y 10 placebo. Entre junio 2008 y octubre 2009, ingresaron 64 pacientes al estudio y fueron seguidos durante 24 semanas. El promedio de edad de los pacientes fue de 30 años (rango 18-59) y 81% eran de sexo masculino. Cada participante fue asignado a uno de los dos grupos en una relación 1:1; grupo A, estimulación electromagnética, y grupo B, dispositivo placebo. El dispositivo fue trasladado al hogar de los pacientes y se brindó la información sobre su uso, siendo éste de una hora diaria por 8 semanas. Antes de iniciar su aplicación a los pacientes, se construyó un modelo computacional 3D de la bobina de estimulación con el software Ansys. Este modelo permitió probar las señales eléctricas y magnéticas producidas. Los datos computacionales fueron comparados con los datos medidos. Este modelo fue creado para señales sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y para campos magnéticos entre 0.5–2 mT (modificado mediante programación). Se comunicaron con los participantes todos los días para preguntar si ya habían realizado la terapia, a qué hora y por cuánto tiempo, como mecanismo de evaluación y para fomentar la adherencia al tratamiento. Cada semana un técnico visitó a los pacientes para calibrar el dispositivo y tomar nota de cuánto tiempo había sido utilizado, tomando la información directamente del dispositivo. Para el desenlace primario (consolidación de la fractura), se realizó una radiografía del fémur a las semanas 6, 12, 18 y 24, y fueron evaluadas por un radiólogo que no sabía el tipo de intervención al que fue sometido el sujeto. Se clasificó la consolidación de la fractura según tres alternativas: no-unión, consolidación parcial o consolidación completa. Los resultados obtenidos indican que las características basales como la edad, el género, la raza, la etiología de la fractura, su severidad y localización, arrojaron resultados similares entre ambos grupos. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos para fumadores y tipo de reducción (abierta vs cerrada). Los pacientes cuyas radiografías evidenciaron consolidación parcial o completa se agruparon juntos y se compararon con las no-uniones. La consolidación observada fue, en la semana 12: 75% vs. 58% ($p= 0.1$), en la semana 18: 94% vs. 80% ($p= 0.15$) y en la semana 24: 94% vs. 87% ($p= 0.43$) para el grupo del dispositivo real y el grupo

del dispositivo placebo, respectivamente. Esto muestra una diferencia que no es estadísticamente significativa en el tiempo de consolidación de las fracturas en cada grupo. Concluyen que la estimulación electromagnética es una terapia segura que se puede usar como coadyuvante para la consolidación de las fracturas y que podría acelerar el proceso de consolidación de las fracturas de huesos largos.

Hannemman y col. (39) en el año 2014 realizaron un ensayo aleatorizado, multicéntrico, doble ciego y controlado, con un total de 102 pacientes (78 hombres, 24 mujeres), con una edad media de 35 años. Todos los pacientes tenían una fractura de escafoides aguda, no desplazada y unilateral. Se asignaron al azar dos grupos, uno control que utilizaba PEMF (n=51) y uno placebo, sin PEMF (n=51). Todas las fracturas se trataron con inmovilización en el antebrazo, con el primer metacarpiano y ambas falanges inmovilizadas. La estimulación electromagnética se administró de forma continua durante las 24 horas del día, utilizando un estimulador de crecimiento óseo PEMF (Ossatec, Uden, Países Bajos), que consiste en una bobina incorporada en el yeso en el lugar de la fractura para garantizar que no se pueda quitar fácilmente. Los parámetros utilizados fueron: amplitud de pulso 50 mV, ancho de pulso 5 μ s, ancho de ráfaga 5 ms, período refractario de ráfaga 62 ms, tasa de repetición de 15 Hz. Los pacientes se sometieron a un examen clínico y radiológico (incluidas tomografías computarizadas) a las 6, 9, 12, 24 y 52 semanas después del diagnóstico de la fractura. El dispositivo PEMF se retiró seis semanas después del inicio del tratamiento. El examen clínico, cegado a la asignación del tratamiento, incluyó la evaluación de la sensibilidad en la tabaquera anatómica y el dolor con compresión longitudinal del hueso escafoides; ambos signos debían estar ausentes para un diagnóstico clínico de unión por fractura. El rango de extensión activa, flexión, radial y desviación cubital se determinó usando un goniómetro de mano, y la suma se comparó con la de la muñeca opuesta, no afectada. Se consideró una disminución en el rango de movimiento > 25% significativo. La fuerza de agarre se midió utilizando un dinamómetro JAMAR (Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, Illinois) y se comparó con el lado no afectado. Una reducción en la fuerza > 10% en la mano dominante lesionada o > 20% en la mano lesionada no dominante en comparación con el lado no afectado se consideró significativo. La curación radiológica se evaluó mediante tomografías computarizadas multiplanares (MRCT). La extensión de la unión se juzgó de forma independiente por un radiólogo y un cirujano ortopédico, que estaban cegados a la asignación del tratamiento. Las apariencias en todas las exploraciones se clasificaron como sin unión (0% a 24% de la continuidad del patrón trabecular (puente trabecular) en todo el ancho del escafoides), unión parcial (25% a 74% de puente trabecular) o unión (75 % a

100% de puente trabecular). El tiempo hasta la unión clínica, basado en la proporción de pacientes de cada grupo que alcanzaron los criterios para la unión clínica, fue una mediana de seis semanas (6 a 24, IQR 6 a 9) en el grupo A (PEMF activo), en comparación con una mediana de seis semanas (6 a 52, IQR 6 a 9) en el grupo B (placebo). No se observaron diferencias significativas en la evidencia clínica de unión. El rango de movimiento de la muñeca volvió a la normalidad a las 12 semanas en ambos grupos. No se observaron diferencias significativas con respecto al movimiento de la muñeca. A las 12 semanas, la fuerza de agarre fue significativamente mejor en el grupo A que en el grupo B. La consolidación radiológica se evaluó en tres etapas diferentes, lo que reveló que no hubo diferencias significativas entre la intervención y el grupo de placebo en ninguno de los puntos temporales seleccionados. El análisis de log-rank post hoc reveló un tiempo significativamente más corto para la unión en el grupo de PEMF activo para las fracturas transversales no desplazadas de la cintura del escafoides. La estimulación del crecimiento óseo de PEMF parece tener un efecto acelerador en la unión en las fracturas estables de la cintura escafoides. La estabilidad del patrón de fractura puede jugar un papel crucial en la predicción del efecto de la estimulación del crecimiento óseo por PEMF en las fracturas de la cintura escafoides. Debido a que estos análisis de subgrupos no fueron el enfoque principal de este estudio, estos resultados deben interpretarse con cautela. Por lo tanto, llegaron a la conclusión de que la adición de la estimulación del crecimiento óseo por PEMF al tratamiento conservador de las fracturas de escafoides agudas no acelera la curación ósea.

Cook y col. (40) han realizado una revisión de la literatura en el año 2015. Exponen que los dispositivos PEMF crean señales electromagnéticas de bajo nivel que se cree que imitan los procesos fisiológicos para ayudar en la curación ósea. Las ventajas de PEMF incluyen su diseño no invasivo y la capacidad de usar estos dispositivos sobre los apósitos o moldes. Existen datos variables y una variedad significativa de calidad en las investigaciones y publicaciones actuales sobre el uso de la estimulación ósea eléctrica en el tratamiento del pie y el tobillo. Por lo tanto, existe una necesidad definitiva de investigación adicional y diseños de estudios de alta calidad para determinar las modalidades de tratamiento y las patologías más eficaces que se utilizan mejor con la estimulación ósea. La estimulación ósea debe considerarse como un procedimiento complementario siempre que sea posible. Cuando se usa apropiadamente, la estimulación ósea tiene el potencial de influir en los resultados y ayudar en la curación ósea.

Streit y col. (41), en el año 2016, realizaron un ensayo clínico prospectivo, aleatorizado, doble ciego. Ocho pacientes cumplieron con los criterios de inclusión y fueron aleatorizados

en 2 grupos de forma doble ciego. La edad media de los pacientes fue de 47 años (rango 24.63). De los dos grupos, uno fue control (PEMF activo), uno placebo (PEMF inactivo). A cada paciente se lo sometió a una biopsia abierta del sitio de la fractura y se le ajustó un dispositivo PEMF de acuerdo con el protocolo de asignación al azar. Usaron el dispositivo durante las 10 horas diarias. El grupo 1 fue tratado con un dispositivo de PEMF inactivo y cirugía, y el grupo 2 fue tratado con un dispositivo PEMF activo y cirugía. Cada paciente en ambos grupos siguió el mismo orden de actividad postoperatoria, que consistió en una falta de peso en la extremidad operatoria y una bota de pierna o andador de pierna corta durante un mínimo de 3 meses. Cada paciente también se evaluó radiográficamente a las 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20 y 24 semanas o hasta que los signos radiográficos de curación eran evidentes. El tiempo hasta la unión radiográfica fue de 14.7 (rango 6 a 21) semanas y 8.9 (rango 6 a 16) semanas para los grupos 1 y 2, respectivamente. Los autores encontraron un aumento significativo en el nivel de factor de crecimiento placentario (PIGF) después del tratamiento con PEMF activo ($p=0.043$). Se demostró mediante otros factores una tendencia mayor después del tratamiento con PEMF activo, incluida la proteína morfogenética ósea (BMP). PEMF también produjo tendencias hacia niveles más altos de otros factores y un tiempo promedio más rápido para la unión radiográfica en comparación con los controles no estimulados. Pese a ello, no se encontraron diferencias significativas en el grupo de tratamiento inactivo con PEMF.

Yuan y col. (42) realizaron una revisión sistemática, publicada en el año 2018, y establecieron que varias vías de señalización clave involucradas en la reparación ósea son inducidas por PEMF. La revisión abordó las aplicaciones terapéuticas recientes de los PEMF en la reparación ósea y evaluó el efecto de su tratamiento clínico. A pesar de la relativa escasez de ensayos controlados aleatorios bien organizados, muchos estudios destacan la utilidad práctica de los PEMF en el tratamiento de uniones o no uniones tibiales retrasadas, con una eficacia de hasta el 87%. Se deben realizar más estudios para determinar los parámetros unitivos y de alta eficiencia. En resumen, como la estimulación con PEMF ofrece efectos no invasivos, efectivos, seguros y convenientes, abre una nueva vía para la reparación ósea. Sin embargo, queda mucho trabajo por hacer para extender su aplicación clínica en el futuro.

Daish y col. (43) realizaron una revisión sistemática, en el año 2018, con el objetivo de proporcionar un amplio recuento de las aplicaciones de PEMF en la reparación de fracturas óseas y luego demostrar lo que se necesita para mejorar los resultados terapéuticos.

Si bien se ha demostrado que la estimulación del campo electromagnético pulsado desempeña un papel ventajoso en la reparación de fracturas, a través de estudios in vivo e in vitro, y en ensayos clínicos, no existe un conjunto de parámetros definidos con los cuales se pueda aplicar un tratamiento óptimo.

AÑO	AUTOR	DISEÑO DE ESTUDIO	SUJETOS	MÉTODOS	INTERVENCIÓN	RESULTADOS
2016	Streit y col. (41)	Ensayo clínico, prospectivo, aleatorizado, doble ciego	Ocho pacientes cumplieron con los criterios de inclusión y fueron aleatorizados en 2 grupos de forma doble ciego. Edad media 47 años (rango 24 63)	Dos grupos, uno control (PEMF activo), uno placebo (PEMF inactivo). Cada paciente se sometió a una biopsia abierta del sitio de la fractura y se le ajustó un dispositivo PEMF de acuerdo con el protocolo de asignación al azar	Usaron el dispositivo durante las 10 horas diarias. El grupo 1 fue tratado con un dispositivo de PEMF inactivo y cirugía. El grupo 2 fue tratado con un dispositivo PEMF activo y cirugía	Se encontró un aumento significativo en el nivel de factor de crecimiento placentario (PIGF) después del tratamiento con PEMF activo (P = .043). Otros factores mostraron una tendencia mayor después del tratamiento con PEMF activo, incluido el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) y la proteína morfogenética ósea (BMP) 7 y 5. No se encontraron diferencias significativas en el grupo de tratamiento inactivo con PEMF
2014	Hannemman y col. (39)	Ensayo clínico aleatorizado, multicéntrico,	Un total de 102 pacientes (78 hombres, 24 mujeres; edad	Se asignaron al azar a PEMF (n = 51) o placebo (n = 51)	Todas las fracturas se trataron con inmovilización en	La adición de la estimulación del crecimiento óseo por PEMF al tratamiento conservador

		<p>doble ciego y controlado</p>	<p>media 35 años (18 a 77)) de cinco centros médicos diferentes con una fractura de escafoides agudos no desplazados unilaterales</p>		<p>un antebrazo con el primer metacarpiano y ambas falanges inmovilizadas. La estimulación electromagnética se administró de forma continua durante las 24 horas del día utilizando un estimulador de crecimiento óseo PEMF (Ossatec, Uden, Países Bajos), que consiste en una Bobina incorporada en el yeso en el lugar de la fractura para garantizar que la</p>	<p>de las fracturas de escafoides agudas no acelera la curación ósea</p>
--	--	---------------------------------	---	--	--	--

					bobina no se pueda quitar fácilmente. amplitud de pulso 50 mV, ancho de pulso 5 μ s, ancho de ráfaga 5 ms, período refractario de ráfaga 62 ms, tasa de repetición de 15 Hz	
2014	Martinez Rondanelli y col. (9)	Ensayo clínico aleatorizado	83 pacientes cumplieron los criterios; 64 firmaron el consentimiento informado y fueron incluidos en el estudio. Un participante retiró su consentimiento y quedaron 63.	Cada participante fue asignado a uno de los dos grupos. Grupo A, estimulación electromagnética, y grupo B, dispositivo placebo.	El estudio se realizó entre junio de 2008 a octubre de 2009. El dispositivo se trasladó al hogar de los pacientes y se informó sobre su uso durante una hora diaria por ocho semanas. Se	Las características basales como la edad, el género, la raza, la etiología de la fractura, su severidad y localización, arrojaron resultados similares entre ambos grupos. La consolidación observada fue, en la semana 12: 75% vs. 58% ($p=0.1$), en la semana 18: 94% vs. 80% ($p=0.15$) y en la semana

					<p>crearon 20 dispositivos: 10 placebo, y los 10 restantes reales, con baja frecuencia (5-105 Hz) y campos magnéticos entre 0,5 a 2 mT.</p>	<p>24: 94% vs. 87% ($p=0.43$) para el grupo del dispositivo real y el grupo del dispositivo placebo, respectivamente. Esto muestra una diferencia que no es estadísticamente significativa en el tiempo que se toman las fracturas en consolidar en cada grupo. La estimulación electromagnética es una terapia segura que se puede usar como coadyuvante para la consolidación de las fracturas. Podría acelerar el proceso de consolidación de las fracturas de huesos largos.</p>
2014	Refai y col. (38)	Ensayo clínico	Dieciocho pacientes con fracturas mandibulares	Se trataron mediante reducción cerrada utilizando la fijación maxilo-mandibular	En el grupo A, los sitios de fractura se expusieron a PEMF durante 2 h	Se recomienda la inmovilización de corto plazo de las fracturas mandibulares durante 2

			en el área portadora de los dientes participaron en este estudio prospectivo.	(MMF) y se asignaron consecutivamente en 1 de 3 grupos.	diarias durante 12 días. En el grupo B, los sitios de fractura se expusieron a láser (LILI) en el décimo y duodécimo día postoperatorio (2 sesiones de 6 minutos por día con 2 h de diferencia). Los sitios de fractura en el grupo C actuaron como controles	semanas suplementadas con PEMF
2013	Shi y col. (8)	Estudio control aleatorizado, prospectivo	58 pacientes con fractura de huesos largos, que presentaron retraso de consolidación	Se dividieron al azar en dos grupos y fueron sometidos a una aplicación temprana de PEMF (grupo 1) o tratamiento placebo	En el grupo 1, el tratamiento PEMF comenzó inmediatamente después de la inscripción, utilizándose	Después de tres meses de tratamiento, 12 casos logran la unión con una tasa de éxito del 38,7% en el grupo 1, mientras que, en el grupo 2, la tasa de éxito de consolidación fue

			de entre 16 semanas y 6 meses	(grupo 2)	PEMF a través de una bobina centrada sobre el sitio de la fractura 8 h/día. En el Grupo 2, se aplicó la bobina de 8 h/día con un generador de señal simulada del mismo fabricante. Por lo tanto, los pacientes fueron cegados al tratamiento.	de 22,2%, que fue ligeramente inferior a la de Grupo 1 ($p = 0,256$), pero no estadísticamente significativa. Este estudio concluye que la aplicación temprana del tratamiento PEMF promueve la curación de fracturas y conduce a un aumento significativo del porcentaje de unión en comparación con el tratamiento placebo. A pesar de que la tasa de éxito final en este estudio no fue superior al medido en otros ensayos de PEMF, se muestra que los pacientes se beneficiaron, reduciendo el tiempo en lograr la consolidación.
2012	Assiotis y col. (37)	Estudio clínico	52 pacientes con retardo de	Dos grupos: uno control, y uno	Se aplicó PEMF 3 hs por día durante	Se logró la consolidación en 34 de 44 casos (tasa de

		prospectivo	consolidación en tibia, de los cuales fueron excluidos ocho pacientes, quedando 44 para una evaluación	intervención. A este último se lo expuso a PEMF	36 semanas a los pacientes del grupo intervención y fueron evaluados mensualmente por radiografía hasta producirse la unión de la fractura	curación 77,3%), y se observaron 10 pseudoartrosis. No se encontró relación estadísticamente significativa entre la tasa de consolidación y la edad ($p=0,819$), el tabaquismo ($p=0,245$), la diabetes ($p=0,681$), el tipo de fractura ($p=0,111$) y el método de tratamiento inicial aplicado ($p=0,395$). Los periodos más largos de aplicación de PEMF se asociaron con un aumento de la probabilidad de la unión, pero no se logró significación estadística, ya que, el estudio contenía limitaciones metodológicas.
2011	Abdelrahim y col. (36)	Ensayo clínico	12 pacientes con fracturas mandibulares	grupo A (pacientes A1 a A6), los sitios de fractura se	Cada paciente se trató mediante reducción cerrada	la estimulación con PEMF podría tener un efecto beneficioso en la curación

				<p>expusieron a PEMF durante 2 horas diarias durante 12 días, después de 2 semanas después de la operación el MMF fue eliminado; y el grupo B (pacientes B1 a B6), los sitios de fractura actuaron como controles, con el MMF eliminado 4 semanas después de la operación.</p>	<p>utilizando la fijación maxilomandibular (MMF) y se asignó en 1 de 2 grupos iguales. Los sitios de fractura del grupo A solo se expusieron a campos electromagnéticos pulsados (PEMF) 2 horas diarias durante 12 días, después de 2 semanas después de la operación se eliminó el MMF. Para el grupo B (grupo de control), el MMF se eliminó a las 4 semanas después</p>	<p>de las fracturas mandibulares tratadas con reducción cerrada. Sin embargo, se debe realizar una investigación adicional, utilizando ensayos controlados aleatorios, para determinar su efectividad en comparación con otras modalidades de tratamiento.</p>
--	--	--	--	--	--	--

					de la operación.	
2011	Adie y col. (7)	Ensayo clínico aleatorizado doble ciego	259 participantes con fracturas del eje tibial agudo (AO / OTA tipo 42)	se asignaron al azar por medio de una asignación externa a dispositivos de campo electromagnético pulsado externamente idénticos activos e inactivos	Los participantes recibieron instrucciones de usar el dispositivo durante diez horas diarias durante doce semanas	La estimulación del campo electromagnético pulsante adyuvante no previene las intervenciones quirúrgicas secundarias para la unión tardía o no unida y no mejora la unión radiográfica ni los resultados funcionales informados por el paciente en pacientes con fracturas agudas del eje tibial
2011	Moncada y col. (3)	Ensayo clínico	64 pacientes fueron incluidos en el estudio	Los pacientes ingresaron al estudio seis semanas después de la fractura, se dividieron aleatoriamente en dos grupos (el grupo A consistió en pacientes estimulados y el	tiempo de seguimiento fue de 8 semanas con 1 hora de estimulación al día. señales sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y campos magnéticos de	Los resultados de la consolidación de los pacientes que recibieron estimulación fueron superiores en tiempo y número, pero no fueron estadísticamente significativos.

				grupo de control B) de treinta y dos pacientes cada uno y se inició la estimulación.	0.5 - 2mT	
2010	Cebrián y col. (34)	Estudio de cohorte comparativo	57 pacientes con pseudoartrosis de tibia tratados mediante enclavado intramedular (EIM). Edad media 38,3 años	Se dividió a los pacientes en dos grupos: uno tratado únicamente con EIC (grupo control), y el otro por EIC combinado con PEMF (22 casos)	22 pacientes utilizaron PEMF en su casa por un mínimo de ocho horas por día, con una frecuencia baja de 75 Hz, intensidad de 10 a 20 A/cm, el tiempo del pulso fue de 1,3 μ segundos, y un voltaje de 180 a 220 V	La relación entre la unión y el uso de PEMF no fue estadísticamente pero si clínicamente significativa. La relación entre el porcentaje de unión y la edad, el sexo, la etiología de la fractura, la ubicación, y el tratamiento previo de la fractura no fue estadísticamente significativa ($P \geq 0.05$).
2008	Gutierrez y col. (32)	Ensayo clínico	Se realizó ensayo clínico fase II, abierto secuencial y descriptivo en	pacientes con fracturas de tibias abiertas tratados con fijadores externos y estímulos	se aplica durante 10h diarias como mínimo, generalmente de forma continua.	La validez de todo tratamiento es respaldada por los resultados finales obtenidos sobre la base de los objetivos propuestos.

			<p>los hospitales de Camagüey Dr."Octavio de la Concepción y de la Pedraja" y "Manuel Ascunce Domenech" durante el período comprendido entre los años 1994 y 2006 en un grupo de 268 pacientes</p>	<p>electromagnéticos pulsátiles</p>	<p>Se mantiene al paciente en reposo durante la aplicación del tratamiento.</p>	<p>Así el objetivo principal y final se logró en el 100 % de los pacientes tratados. Son obvias las grandes ventajas del empleo del CEMP por no existir riesgos del tratamiento en sí.</p>
--	--	--	--	-------------------------------------	---	--

VIII. ANÁLISIS COMPARATIVO

De los 16 artículos encontrados, 11 de ellos son ensayos clínicos que tratan sobre fracturas y retardo de consolidación. De los 5 artículos restantes, 3 son revisiones sistemáticas y 2 revisiones de la literatura.

En el estudio realizado por Shi y col. (8) y en el de Cebrián y col. (34), coinciden en uno de los parámetros de dosificación: la utilización de PEMF en un tiempo determinado (8 hs/día), obteniendo como resultado una diferencia no estadísticamente significativa pero si clínicamente significativa, ya que los pacientes expuestos a PEMF lograron en mayor medida la consolidación.

Martínez-Rondanelli y col. (9) proponen la utilización de PEMF y otorgan en su investigación varios parámetros de dosificación, mostrando una consolidación en menor tiempo en aquellos pacientes que recibieron PEMF como tratamiento coadyuvante, siendo el mismo un resultado no estadísticamente significativo.

El estudio de Assiotis y col. (37), determina una relación existente entre la dosis y el efecto producido; los autores proponen que PEMF se utilice durante 3hs/día, durante 36 semanas, obteniéndose un resultado no estadísticamente significativo, aunque existe una relación entre la tasa de consolidación y el tiempo de exposición a PEMF, siendo mayor la probabilidad de consolidación en aquellos pacientes que se expusieron por un mayor tiempo a PEMF.

En el estudio realizado por Abdelrahim y col. (36), determinan la exposición a PEMF durante 2 horas al día durante 12 días para fracturas mandibulares con los siguientes parámetros: duración del pulso 200 nanosegundos, tiempo de aumento 8 nanosegundos; segmento electromagnético a 50 MHz y hasta el rango de kilohercios. El pulso fue portador modulado a 72 Hz; obtuvieron diferencias significativas en las radiografías, en el grupo que utilizaba PEMF, en relación con el placebo. En comparación, el estudio realizado por Refai y col. (38), utiliza exactamente los mismos parámetros que Abdelrahim y col. (36), estableciendo como hallazgo del presente estudio, una aceleración de la reparación ósea en el grupo de PEMF, la estabilidad clínica de los segmentos 2 semanas después de la operación y el aumento significativo de la densidad ósea en la 2ª y 4ª semana postoperatoria en comparación con el grupo control.

Gutierrez y col. (32) realizaron un estudio donde los pacientes que tenían fracturas de tibias abiertas, fueron tratados con fijadores externos y estímulos electromagnéticos pulsátiles. Se

colocaron bobinas paralelas entre sí y encitradas en el foco de fractura. El equipo se conectó a la red de 110 V y se aplicó durante 10h diarias como mínimo, generalmente de forma continua, obteniendo, según los investigadores, resultados excelentes. El artículo de Adie y col. (7) se centró, también, en pacientes con fracturas tibiales; los participantes recibieron instrucciones de usar el dispositivo durante diez horas diarias, doce semanas, estableciendo así el mismo tiempo de aplicación que Gutierrez y col. (32), pero difiriendo en los resultados, ya que determinan que no mejora la unión radiográfica ni los resultados funcionales informados por el paciente.

Streit y col. (41), realizaron un estudio (nivel de evidencia I) sobre fracturas del quinto metatarsiano. Dividieron a los pacientes en dos grupos, uno fue control (PEMF activo), uno placebo (PEMF inactivo). Usaron el dispositivo durante las 10 horas diarias. Los autores encontraron un aumento significativo en el nivel de factor de crecimiento placentario (PIGF) después del tratamiento con PEMF activo ($p=0.043$). Se demostró mediante otros factores una tendencia mayor después del tratamiento con PEMF activo, incluida la proteína morfogenética ósea (BMP). PEMF también produjo tendencias hacia niveles más altos de otros factores y un tiempo promedio más rápido para la unión radiográfica en comparación con los controles no estimulados. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Hannemman y col. (39) plantearon la hipótesis de que el uso del estímulo del crecimiento óseo en el campo electromagnético pulsado (PEMF) en las fracturas de escafoides agudas reduciría significativamente el tiempo de unión y reduciría el número de no-uniones en un ensayo multicéntrico aleatorizado, controlado con placebo. La estimulación electromagnética se administró de forma continua durante las 24 horas. Las características de la señal del dispositivo PEMF fueron: amplitud de pulso 50 mV, ancho de pulso 5 μ s, ancho de ráfaga 5 ms, período refractario de ráfaga 62 ms, tasa de repetición de 15 Hz. El dispositivo PEMF se retiró seis semanas después del inicio del tratamiento. El tiempo hasta la unión clínica, fue una mediana de seis semanas (6 a 24, IQR 6 a 9) en el grupo A (PEMF activo), en comparación con una mediana de seis semanas (6 a 52, IQR 6 a 9) en el grupo B (placebo). No se observaron diferencias significativas en la evidencia clínica de unión. Concluyen que la estabilidad del patrón de fractura puede jugar un papel crucial en la predicción del efecto de la estimulación del crecimiento óseo por PEMF en las fracturas de la cintura escafoides, por lo tanto, los resultados deben tomarse con cautela.

Moncada y col. (3) realizaron un diseño clínico aleatorizado para evaluar los campos magnéticos en la consolidación de las fracturas del eje femoral. Los pacientes del grupo

control se sometieron a señales sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y campos magnéticos de 0.5 - 2mT. Los autores sugieren que una estimulación del campo electromagnético puede recomendarse como un procedimiento seguro que parece ayudar en la curación de fracturas, aunque se necesitan más pruebas y un mayor número de pacientes. Los resultados de la consolidación de los pacientes que recibieron estimulación son mejores, en tiempo y número, pero no son estadísticamente significativos.

Según las revisiones sistemáticas de Massari y col (33), Yuan y col. (42) y Daish y col. (43) PEMF induce la activación de varias vías de señalización que son clave para la reparación ósea. La revisión realizada por Massari y col. (33) establece que la estimulación con PEMF causa la liberación de iones de calcio (Ca^{++}) desde el retículo del endoplasma. El aumento intracelular del Ca^{++} determina una serie de respuestas enzimáticas con la transcripción del gen resultante [varias proteínas morfogenéticas óseas (BMP), factor de crecimiento transformante beta ($\text{TGF-}\beta 1$) y colágeno] y proliferación celular.

Daish y col. (43) establecen que, si bien se ha demostrado que la estimulación del campo electromagnético pulsado desempeña un papel ventajoso en la reparación de fracturas, a través de estudios in vivo e in vitro, y en ensayos clínicos, no existe un conjunto de parámetros definidos con los cuales se pueda aplicar un tratamiento óptimo. Aunque varios estudios han demostrado que ciertas características de la dosis son beneficiosas a escala celular o in vitro, las mismas características han sido menos influyentes en la escala tisular u orgánica. Los campos electromagnéticos pulsados han demostrado ser efectivos en el tratamiento de fracturas al activar varios marcadores osteogénicos, lo que aumenta la proliferación y diferenciación y, por lo tanto, la osteogénesis.

Massari y col. (33) demuestra que los estudios prospectivos, aleatorizados y doble ciego al emplear estímulos biofísicos, el tiempo necesario para que una fractura nueva cicatrice se puede reducir "en promedio" en un 25-38%. La experiencia clínica internacional muestra que el éxito en la terapia biofísica para la regeneración ósea depende de ciertos factores principales: indicación adecuada, eficacia del dispositivo empleado, método de estimulación y, de importancia crucial, cumplimiento del paciente. Si se tienen en cuenta estos principios, el porcentaje de éxito de la unión, obtenido con estimulación biofísica, supera el 90%.

Los autores Massari y col. (33), Chalidis y col. (35) y Cook y col. (40) han realizado revisiones de la literatura. Se centraron principalmente en el efecto celular y molecular de PEMF y la eficacia general del método para mejorar la curación de fracturas y promover la formación de hueso nuevo. Exponen que los dispositivos PEMF crean señales electromagnéticas de bajo nivel que se cree que imitan los procesos fisiológicos para ayudar

en la curación ósea. Las ventajas de PEMF incluyen su diseño no invasivo y la capacidad de usar estos dispositivos sobre los apósitos o moldes. Sin embargo, el incumplimiento puede ser un problema, y requieren largos períodos de aplicación diaria que van de 3 a 10 horas por día según las recomendaciones del fabricante y según el dispositivo.

IX. DISCUSIÓN

Cuando se usa apropiadamente, PEMF ha mostrado buenos resultados en el tratamiento de retardos de consolidación y no-uniones en la literatura publicada. Los campos electromagnéticos y sus usos en la curación ósea se han estudiado bastante bien, y la mayoría de los resultados muestran una mejora en la curación tanto del hueso como del cartílago. Se ha informado que la eficacia en el tratamiento de las no-uniones de huesos largos oscila entre el 64% y el 87%. Massari y col. (33) confirma que los estímulos biofísicos pueden conducir a la curación en el 75-85% de los pacientes sin unión. Es importante tener en cuenta la dosis de estímulo físico. Los efectos biológicos de la estimulación biofísica dependen no solo de la duración del tratamiento, sino también de las características de la señal: intensidad, forma de onda, frecuencia y longitud. La estimulación biofísica en el entorno clínico se utiliza para acelerar y finalizar el proceso de curación de una fractura nueva o una fractura en riesgo de no unión, y para mejorar la capacidad de reparación espontánea del tejido óseo, es decir, para reactivar el proceso de curación en condiciones patológicas, como la unión tardía o la pseudoartrosis.

Es importante destacar que al momento de establecer si existe una relación entre la dosis y el efecto producido, nos encontramos con una escasa cantidad de artículos que detallen los parámetros utilizados y respondan a la problemática.

Gutierrez y col. (32) obtuvieron, según sus conclusiones, resultados excelentes. El artículo de Adie y col. (7) que se centró, también, en pacientes con fracturas tibiales y utilizó los mismos parámetros (diez horas diarias, durante doce semanas); difirió en los resultados, ya que determinan que no mejora la unión radiográfica ni los resultados funcionales informados por el paciente. Esta discrepancia podría deberse, por un lado, a la falta de parámetros utilizados en ambos estudios, y por el otro, a la falta de información sobre cómo fueron medidos y evaluados los resultados.

Shi y col. (8) y en el de Cebrián y col. (34), coinciden en la utilización de PEMF durante 8 hs/día, obteniendo como resultado una diferencia no estadísticamente significativa, pero si clínicamente significativa, podríamos destacar que, en ambos estudios, no se detalla si esa mayor consolidación se basa en el tiempo de aplicación o si se relaciona con algún otro parámetro de dosificación.

La revisión de Yuan y col. (42) abordó las aplicaciones terapéuticas recientes de los PEMF en la reparación ósea y evaluó el efecto de su tratamiento clínico, demostrando que los PEMF acortaron significativamente el tiempo de la unión radiológica para las fracturas agudas que se sometieron a tratamiento no operatorio y las fracturas agudas de la

extremidad superior y aceleraron el tiempo hasta la unión clínica para las fracturas diafisarias agudas. A pesar de la relativa escasez de ensayos controlados aleatorios bien organizados, muchos estudios destacan la utilidad práctica de los PEMF en el tratamiento de uniones o no uniones tibiales retrasadas, con una eficacia de hasta el 87%. A pesar de que los efectos positivos de la estimulación con PEMF para la reparación ósea sola o como complemento de otros tratamientos fueron definitivos en las clínicas, en algún momento, la efectividad es discrepante para la misma enfermedad en diferentes estudios. Esto se debe principalmente a la falta de una intensidad, frecuencia y curso terapéutico y tiempo estandarizados de los PEMF y se deberían realizar más estudios para determinar los parámetros unitivos y de alta eficiencia. La estimulación con PEMF ofrece efectos no invasivos, efectivos, seguros y convenientes, abre una nueva vía para la reparación ósea. Sin embargo, queda mucho trabajo por hacer para extender su aplicación clínica en el futuro.

Daish y col (43) aseguran que hasta la fecha existen numerosos estudios a varias escalas biológicas que detallan los efectos de la exposición a PEMF en las fracturas. Aunque estos estudios muestran una variación significativa en las propiedades ambientales y las condiciones de exposición, a partir de ellos se podría establecer una ventana de parámetros para optimizar la reparación de la fractura. La evidencia clínica disponible es ineficaz para sugerir de manera concluyente un beneficio clínico del método en el tratamiento de las fracturas. Sin embargo, lo que es claramente evidente a partir de la literatura existente, es que PEMF ejerce su efecto beneficioso sobre la biología de la fractura a través de una impresionante riqueza de mecanismos y vías, algunas de las cuales dependen de las características de la longitud de onda aplicada y de la duración del tratamiento.

Existen datos variables y una variedad significativa de calidad en las investigaciones y publicaciones actuales. Por lo tanto, definitivamente hay una necesidad de investigación adicional y diseños de estudios de alta calidad para determinar las modalidades de tratamiento más eficaces de PEMF para las diversas patologías. Se requieren más ensayos controlados aleatorios con un alto número de pacientes para aclarar la relación costo-efectividad del método para el tratamiento de uniones y no uniones retrasadas. La estimulación ósea debe considerarse como un procedimiento complementario siempre que sea posible.

X. CONCLUSIÓN

Las dosificaciones planteadas en los estudios analizados presentaron una gran variabilidad, evitando poder establecer una unificación de criterios. Los parámetros de los estudios variaron entre 5 Hz a los 50 MHz (frecuencia), 1 hs/día a 24 hs/día (tiempo de aplicación) y 0,5 mT a 2 mT (intensidad). Algunos estudios informaron sobre el tipo de bobinas utilizadas y el equipo utilizado con sus características particulares.

Los campos electromagnéticos pulsados podrían considerarse como un tratamiento coadyuvante para el tratamiento de la consolidación de fracturas, debido a los cambios que produce tanto en el proceso de consolidación, como en los osteoblastos, en las células mesenquimales y en las vías de señalización. Hoy en día, no hay evidencia suficiente para afirmar que su utilización genere un efecto dependiente de la dosificación.

A pesar de que los resultados obtenidos no sean estadísticamente significativos, se aprecian cambios que sí son clínicamente significativos con las dosis aplicadas, pero, debido a la variabilidad en los parámetros utilizados, no es posible elaborar una única recomendación sobre una dosificación adecuada.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez Martín JM. Electroterapia en Fisioterapia. 3rd ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2014.
2. Martínez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. Manual de medicina física Madrid: Harcourt; 1998.
3. Moncada ME, Sarmiento C, Martínez C, Martínez A. Magnetic Stimulation for Fracture Consolidation. Clinical Study Boston, Massachusetts. 2011.
4. Walker NA, Denegar CR, Preische J. Low-Intensity Pulsed Ultrasound and Pulsed Electromagnetic Field in the Treatment of Tibial Fractures: A Systematic Review. Journal of Athletic Training. 2007;(530-535).
5. Boyette MYM, Herrera-Soto JAM. Treatment of delayed and nonunited fractures and osteotomies with pulsed electromagnetic field in children and adolescents. Orthopedics. 2012;(1051-1055).
6. Androjna C, Fort B, Zborowski M, Midura RJ. Pulsed electromagnetic field treatment enhances healing callus biomechanical properties in an animal model of osteoporotic fracture. Bio Electro Magnetics. 2014;(396-405).
7. Adie S, Harris IA. Pulsed electromagnetic field stimulation for acute tibial shaft fractures. The journal of bone and joint surgery. 2011;(1569-1576).
8. Shi HF, Xiong J, Chen YX, Wang JF, Qui XS, Wang YH, et al. Early application of pulsed electromagnetic field in the treatment of postoperative delayed union of long-bone fractures: a prospective randomized controlled study. BMC-Musculoskeletal Disorder. 2013.
9. Martínez Rondanelli A, Martínez JP, Moncada ME, Manzi E, Pinedo CR, Cadavid H. Electromagnetic stimulation as coadjuvant in the healing of diaphyseal femoral fractures. Colombia Médica. 2014;(67-71).
10. Brinker M, O`connor D. Ciencias básicas: hueso. En Miller M. Ortopedia y Traumatología. Quinta ed. Barcelona: Elsevier; 2009. p. 3-6.
11. Ferrández Portal L, Gómez-Castresana Bachiller F. El hueso y el cartílago de crecimiento. En Forriol Campos F. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Segunda ed. Madrid: Panamericana; 2010. p. 74.

12. Eynard A, Carda Batalla C. Las actividades de defensa y reparación del cuerpo. En Eynard , Valentich , Rovasio. Histología y embriología del ser humano. Cuarta ed. Buenos Aires: Panamericana; 2008. p. 213-218.
13. Geneser F. Tejido esquelético. En Geneser F. Histología sobre bases biomoleculares. Tercera ed. Buenos Aires: Panamericana; 2000. p. 268-273.
14. Weilsch U. Tejidos. En Welsch U. Histología. Segunda ed. Buenos Aires: Panamericana; 2010. p. 131.
15. Buckwalter J, Einhorn T, Marsh. Curación del hueso y de la articulación. En Bucholz RW. Fracturas en el adulto. Quinta ed.: Marban; 2007. p. 245-247.
16. Curve EoSS. Civil Engineering Smart Study Zone. [Online]; 2017. Disponible en: <https://cesmartstudyzone.blogspot.com/2017/09/explanation-of-stress-strain-curve.html>.
17. Tratamiento de fracturas. [Online]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-03%20Tratamiento%20de%20Fracturas.pdf>.
18. Pascua R, Sandoval GA. Lesiones óseas: fracturas. En SECOT. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Segunda ed. Barcelona: Panamericana; 2010. p. 107.
19. Curto Gamallo JM, Ramos Pascua LR. Fracturas: síntomas y diagnóstico. En SECOT. Manual de cirugía ortopédica y traumatología. Primera ed. Madrid: Panamericana; 2004. p. 238-246.
20. Camacho ED. SlidePlayer. [Online]; 2017. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/10435112/>.
21. Vaquero H, Suárez. Principios de tratamiento de las fracturas cerradas. En SECOT. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Segunda ed. Madrid: Panamericana; 2010. p. 111-112.
22. Quilis N, López C. Bases científicas de la consolidación de las fracturas. En SECOT. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Segunda ed. Madrid: Panamericana; 2010. p. 132-139.
23. Pretell Mazzini JA, Ruiz Semba C, Rodriguez MJ. SciELO. [Online].; 2009. Acceso 1 de Septiembre de 2016. Disponible en: http://dev.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2009000100007&lng=en&nrm=iso.
24. J. E, diafisarias Fdrpladpef. Revista Cubana Ortopedia y Traumatologia. [Online].; 2007.. Disponible en: http://scielo.sld.cuscielo.php?script=sci_arttex&pid=S0864-215X1995000100018&lng=es&nrm=iso.
25. R B, I K. Calcification in callus formation and fracture repair. ,(1931:93:1009-16).

26. Fortune J, Paulos J, Liendo C. Manual de Ortopedia y Traumatología. Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. 2007.
27. Barreiro C, Rocha E. "Campos electromagnéticos en retardo de consolidación de huesos largos. Relación entre dosis y efectos" ..
28. Blog de Física. [Online]. Disponible en: <https://www.blogdefisica.com/lineas-de-campo-electrico.html>.
29. Cromer A. Electricidad y magnetismo. En Cromer A. Física para las ciencias de la vida. Segunda ed. Buenos Aires: Reverté; 2007. p. 390-393.
30. Función de Jota. [Online]. Disponible en: <https://xabierjota.wordpress.com/2013/02/13/hagase-la-luz-y-la-luz-se-hizo-onda-electromagnetica-ii/>.
31. Seakit. [Online]. Disponible en: <https://www.seakit.com.ar/productos/magnetoterapia-de-500-gauss-micro-5-platinum-con-2-bobinas-planas-y-1-cilindro/>.
32. Blanco DMOG, Fernández DAM, López DAÁ. Tratamiento con campo electromagnético pulsátil en las fracturas abiertas de tibia. 2008.
33. Massari L, Caruso G, Sollazzo V, Setti S. Pulsed electromagnetic fields and low intensity pulsed ultrasound in bone tissue. 2009.
34. Cebrián , Gallego , Francés , Sánchez , Manrique , Marco , et al. PubMed. [Online].; 2010. Acceso 1 de Agosto de 2016. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19462169>.
35. Chalidis B, Sachinis N, Assiotis A, Maccauro G. STIMULATION OF BONE FORMATION AND FRACTURE HEALING WITH PULSED ELECTROMAGNETIC FIELDS: BIOLOGIC RESPONSES AND CLINICAL IMPLICATIONS. 2011; Vol. 24, no. I (S2)(17-20).
36. Abdelrahim A, Refai H, Dababa M. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Healing of Mandibular Fracture: A Preliminary Clinical Study. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. 2011; 69(1708-1717).
37. Assiotis , Sachinis , Chalidis. PubMed. [Online].; 2012. Acceso 30 de Agosto de 2016. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22681718>.
38. Refai H, Radwan D, Hassanien N. Radiodensitometric Assessment of the Effect of Pulsed Electromagnetic Field Stimulation Versus Low Intensity Laser Irradiation on Mandibular Fracture Repair: A Preliminary Clinical Trial. Association of Oral and Maxillofacial Surgeons of India. 2013.
39. Hannemann PFW, van Wezenbeek MR, Kolkman KA, Twiss ELL, Berghmans CHJ, Dirven P, et al. CT

scan-evaluated outcome of pulsed electromagnetic fields in the treatment of acute scaphoid fractures. *Bone Joint Journal*. 2014;(014;96-B:1070–6.).

40. Cook J, Jake Summers N, Cook E. Healing in the New Millennium: Bone Stimulators. *Clin Podiatr Med Surg*. 2015; 32(45-49).
41. Streit A, Watson C, Granata J, Philbin T, Lin H, O'connor P. Effect on Clinical Outcome and Growth Factor Synthesis With Adjunctive Use of Pulsed Electromagnetic Fields for Use of Pulsed Electromagnetic Fields for: A Double-Blind Randomized Study. *American Orthopedic Foot & Ankle Society*. 2016; Vol. 37(9)(919–923).
42. Yuan J, Xin F, Jiang W. Underlying Signaling Pathways and Therapeutic Applications of Pulsed Electromagnetic Fields in Bone Repair. *Cell Physiol Biochem*. 2018; 46(1581-1594).
43. Daish C, Blanchard R, Fox K, Pivonka P, Pirogova E. The Application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for Bone Fracture Repair: Past and Perspective Findings. *Annals of Biomedical Engineering*. 2018.